

足関節MRI撮像におけるポジショニングによる脂肪抑制効果の検討

Evaluation of effect fat suppression of ankle MRI: Trial for improvement of image quality by posture

薄井 裕美¹⁾, 中井 雄一²⁾, 野田 主税^{2), 3)}, 佐藤 久弥^{1), 3)}, 加藤 京一^{3), 4)}

1) 昭和大学病院 放射線技術部 2) 昭和大学横浜市北部病院 放射線技術部
3) 昭和大学大学院 保健医療学研究科 4) 学校法人昭和大学 統括放射線技術部

Key words: fat suppression, Positioning method, Ankle

【Abstract】

Fat suppression images are one of the useful factors for image diagnosis. The chemical shift selective saturation (CHESS) is susceptible to magnetic field inhomogeneities and often can be insufficient for feet and necks, which are especially irregular shapes. It is possible to improve the fat suppression effect by placing a Sat pad to correct irregular shapes. However, there are many images of sprains and fractures in feet, placing a heavy Sat pad on the injured part will put a burden on the injured part, which may interfere with healing. The aim of this study was to compare the use of Sat Pad and the method of changing the angle of the feet devised in this study, and to evaluate the improvement effect of fat saturation defect.

【要旨】

脂肪抑制画像は画像診断に有用な因子の一つである。周波数選択的脂肪抑制撮像法（Chemical shift selective saturation : CHESS法）は、磁場の不均一に伴い、特に不整な形状である足部や頸部において脂肪抑制効果が不十分になることがある。以前より、不整な形状を補正するようにSat Padを配置することで、脂肪抑制効果が改善することが報告されている。しかし、足部は捻挫・骨折などの整形領域の撮像が多く、その受傷部に重量のあるSat Padを配置することは受傷部の負担になり、治癒の妨げになりかねない。本論文は、自作Sat Padを用いた方法と、今回新しく考案した足部の角度を変化させる方法を比較し、どちらが足部の脂肪抑制効果不良の改善に有用かを評価することを目的とした。

緒 言

スポーツ障害として最も頻度の高い障害は足関節の捻挫である¹⁾。捻挫は、足関節に複雑に走行した靭帯や腱を損傷した状態をいう。この捻挫を評価する際、捻挫と同様の症状を示す第5中足骨骨折や腓骨筋腱の脱臼との鑑別が必要とされる¹⁾。また足関節の捻挫に大きく関与する因子として離断性骨軟骨炎・関節鼠・距骨下関節あるいは中足部の捻挫があり、これらに問題がないか評価する必要がある。複雑に走行した腱や靭帯の損傷や初期の離断性骨軟骨炎は、単純X線撮影だけでは診断がつけられないことが多く、また足関節は、

他にも筋肉や脂肪・脂肪髄などの軟部組織が混在するため、組織コントラストや質的診断に優れたMagnetic Resonance Imaging（以下、MRI）による画像診断が有用である²⁾。さらに脂肪組織内や脂肪髄に存在する病変の同定、病変の波及の把握、Chemical shift artifactの軽減などには、脂肪抑制画像が用いられる³⁾。脂肪抑制の方法には周波数差法・位相差法・T₁緩和時間差法などがあるが、全てのシーケンスに併用可能な周波数選択的脂肪抑制撮像Chemical shift selective saturation（以下、CHESS）法が用いられることが多い²⁾。この方法は、水と脂肪の共鳴周波数の差を利用して脂肪の信号を選択的に飽和させるため、正確に脂肪の周波数帯域の成分を抑制することが可能である⁴⁾。またCHESS法を併用した造影のT₁強調画像（以下、T₁WI）は、骨の内部や骨と接した炎症病変において骨髓脂肪の抑制に有用である⁵⁾。しかし、磁場の不均一の影響を受けやすいため脂肪抑制効果が不均一になりやすい。特に3TのMRI装置は低磁場装置に比べ磁化ベクトルが大きくなるため、静磁場不均一・局所磁場不均一による影響で足部領域での脂肪抑制効果が不均一になる傾向がある⁶⁾（Fig.1）。

MRI検査時、被検体と周囲の空気との磁化率の違い

Hiromi Usui¹⁾, Yuichi Nakai²⁾, Chikara Noda^{2), 3)}, Hisaya Sato^{1), 3)}, Kyoichi Kato^{3), 4)}

- 1) Department of Radiological Technology, Showa University Hospital
- 2) Department of Radiological Technology, Showa University Northern Yokohama Hospital
- 3) Showa University Graduate School of Health Science
- 4) Department of Unification Radiological Technology, Showa University

Received July 17, 2018; accepted January 25, 2019

による局所磁場不均一に起因するアーチファクト、すなわち磁化率アーチファクトを低減するために、被検体の周囲に人体に近い磁化率の磁気共鳴装置用PadであるSat Padを配置して、局所的な静磁場の乱れを減少させる方法がある⁷⁾。守屋らは、頸部にコメを用いたTailor-made Sat Pad(以下、自作Pad)を不整形な形状部分を補うように配置することで、市販のSat Padと同等の脂肪抑制の改善が可能であると報告している^{8,9)}。頸部と同様に不整形な形状である足関節に対しても、自作Padを応用することで磁化率を均一にする効果が得られると考えられる。しかし、臨床において捻挫により靭帯の損傷や骨折を伴う不安定な足関節に加重を与えることは、治癒の妨げや患部を悪化させる危険性がある¹⁰⁾。そのため患者に負担が少なく脂肪抑制効果が改善する因子を検討する必要があると考えた。静磁場に対し不整形な形状である足関節を配置することが磁場を乱す原因と考えられるため、磁化率を乱さないような足関節のポジショニング方法を検討することが有用と考える。そこで今回、脂肪抑制効果が改善すると考えられる自作Pad使用時とポジショニング変更時を比較し、どちらが脂肪抑制効果の改善に有用か検討したので報告する。



Fig.1 The image which has poor fat suppression by CHES in foot

1. 使用機器および症例数

使用装置はMAGNETOM Trio A Tim 3T (Siemens, Erlangen, Germany), 受信コイルとして頭部用のHead-matrix-coil (12チャンネル)を使用した。自作ファントム (Fig.2) は足関節を模したL字型に実質組織に見立てたアガロースを成型し、その周囲を脂肪組織に見立てたサラダ油を固めて作成し

た。自作Padはビニール袋にコメを入れて使用した。

対象は、当院の倫理委員会による承認を得て本研究に同意を得た健常ボランティア10人 (男性7人, 女性3人, 年齢24~35歳, 平均28歳) とした。

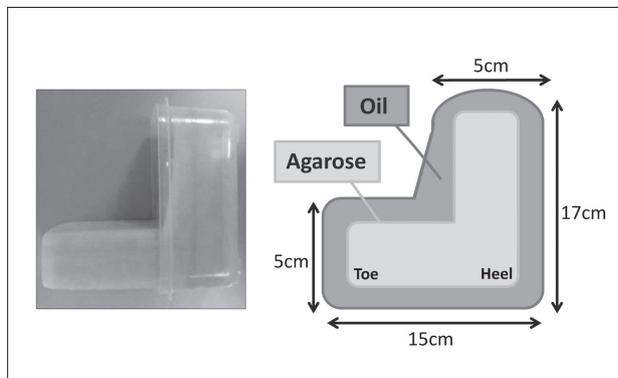


Fig.2 Appearance and composition of a phantom

2. 撮像条件

高速SE法で脂肪抑制併用のT₁WIを撮像した。撮像パラメーターは、TR : 600ms, TE : 5.8ms, band width : 454Hz/pixel, Turbo factor : 3, slice thickness : 5.0mm, matrix size : 166 × 256, FOV : 190mm, Orientation : 矢状断 (15slice) で行った。脂肪抑制方法はCHES法を使用した。

3. 方法

視覚評価は、MRI使用経験年数5年以上の診療放射線技師5人で行った。また評価方法は足部を7つに区分けし、区分けした一つ一つをそれぞれ視覚評価し、脂肪抑制効果が均一にかかっているものを2点、脂肪抑制効果不良が50%未満のものを1点、脂肪抑制効果不良が50%以上表れているものは0点とした。なお、区分け方法はFig.3に示す通りとした。

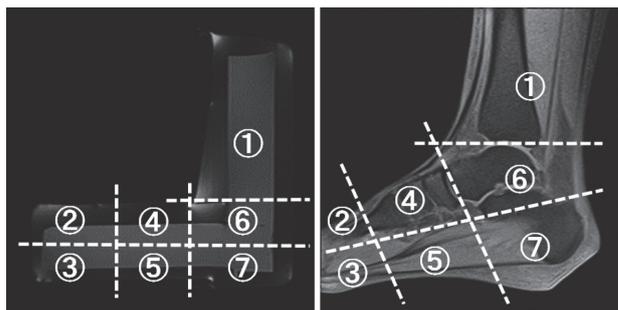


Fig.3 Segmentation of phantom and feet in visual evaluation

3-1 自作Padの最適な配置の検討

当院の足関節MRI撮像のポジショニングは、膝関節を伸展させ足関節を90°背屈させている (Fig.4)。このポジショニングと同様にL字型のファントムを作成した。このファントムに自作Padを配置し、CHESS法を併用したT₁WI画像の矢状断で撮像し、脂肪抑制効果の変化について検討した。自作Padの配置方法は、自作Padなし、足背、足底、踵の部分に単独、さらに配置を組み合わせ、計8通りとした (Fig.5)。

得られた画像を視覚評価し、最適な自作Padの配置を検討した。さらに自作Padなしと視覚評価から得られた最適自作Pad配置時の共鳴周波数を比較した。



Fig.4 Positioning of foot in MRI (conventional method) : Stretch out a knee and bend the sole

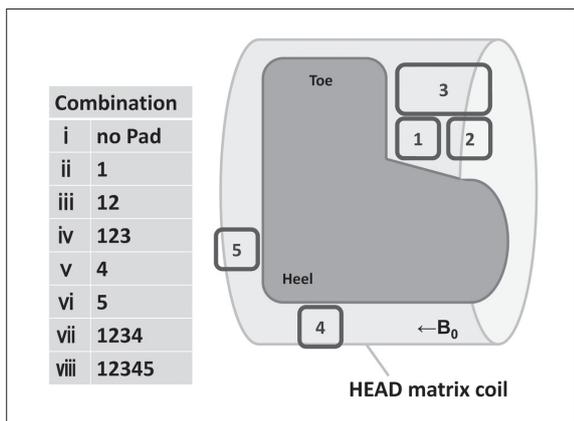


Fig.5 Combination of Pad placement

3-2 最適なポジショニングの検討

作成した自作ファントムの配置角度を変化させ、CHESS法を併用したT₁WI画像の矢状断で撮像し、脂肪抑制効果の変化について検討した。自作ファントムの配置角度は寝台と下腿とが成す角度を5°ずつ、0°～45°まで変化させた (Fig.6)。

得られた画像を視覚評価し、寝台と下腿の成す角度の最適角度を求めた。

さらに従来のポジショニングと視覚評価から得られた最適角度で撮像した時の共鳴周波数を比較した。

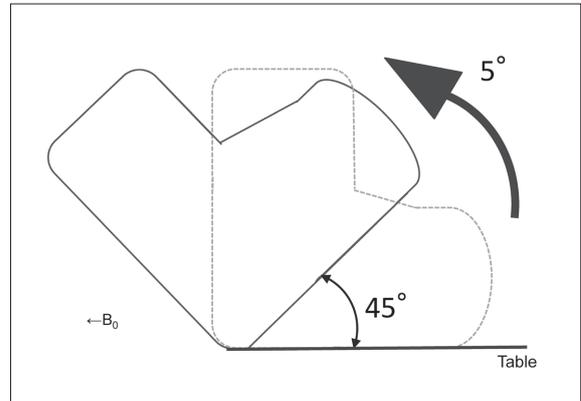


Fig.6 Change of the angle between lower-leg and table

3-3 自作Pad使用時とポジショニングを変化させた時の自作ファントム画像の比較

自作Padとポジショニングの違いによる画像の比較を行うため視覚評価を行った。

3-4 健常ボランティア撮像時の画像の比較

健常ボランティア10人において、結果より得られた最適な自作Padの配置および最適なポジショニングで撮像を行い、視覚評価を行った。

3-5 ポジショニング変更における中心周波数の変化

足の角度を変化させることで脂肪抑制効果に変化する理由を追究するため、撮像中におけるシミングの範囲設定を変化させ、その時の中心周波数を測定した。シミング範囲の設定は全体、足部、下腿、足部～踵、下腿～踵の計5通りとした (Fig.7)。

4. 結果

4-1 自作Padの最適な配置の検討

自作Padを使用しない場合、自作ファントムの足背、足底、指先に見立てた部分の脂肪抑制効果が不良となった (Table 1)。また不整形な形状である足背部を覆うように自作Padを配置した時、視覚評価は合計50点となり、最も脂肪抑制効果が改善した (Fig.8)。

また共鳴周波数は、自作Padなしでは水の信号が2つに分離したが、視覚評価から得られた最適自作Pad

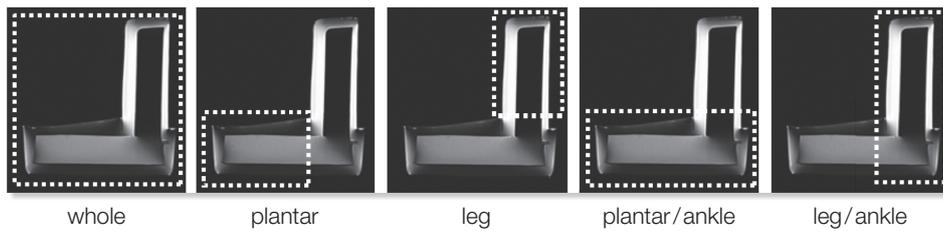


Fig.7 Setting range of shimming at center frequency measurement

Table 1 The arrangement of Pad and MR images

| | | | | |
|------------------------|--|--|--|--|
| The arrangement of Pad | | | | |
| MR images | | | | |
| The arrangement of Pad | | | | |
| The capture images | | | | |

配置時は水の信号が1つとなり、水と脂肪の信号が分離した (Fig.9).

4-2 最適なポジショニングの検討

従来のポジショニングで撮像した時、自作ファントムの足背、足底、指先の脂肪抑制効果が不良となり、下腿と寝台が成す角度を35°~45°とした時、脂肪抑制効果が改善した (Table 2).

また共鳴周波数は、従来のポジショニングでは水の信号が2つに分離したが、下腿と寝台が成す角度が35°

Evaluation points

- no irregularity 2 point
- Ratio of irregularity of the whole image less than 50% 1 point
- more than 50% 0 point
- The score is the sum of five evaluators.

| Combination of pad | Degree of fat suppression effect in each segment | | | | | | | total |
|--------------------|--|---|---|---|---|----|---|-------|
| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | |
| i no Pad | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 24 |
| ii 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 2 | 4 | 9 | 23 |
| iii 12 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | 7 | 25 |
| iv 123 | 7 | 6 | 6 | 7 | 5 | 10 | 9 | 50 |
| v 4 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 23 |
| vi 5 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 27 |
| vii 1234 | 4 | 3 | 3 | 0 | 3 | 6 | 9 | 28 |
| viii 12345 | 7 | 4 | 3 | 8 | 7 | 8 | 7 | 44 |

Fig.8 Visual evaluation by Pad arrangement

Table 2 Comparison of images when changing the angle of the phantom

| | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| The angle of phantom | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° |
| MR images | | | | | |
| The angle of phantom | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° |
| MR images | | | | | |

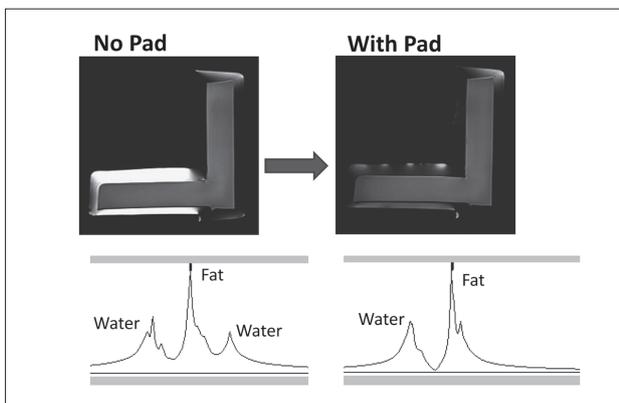


Fig.9 Comparison of capture images and resonance frequency (when Pad is placed)

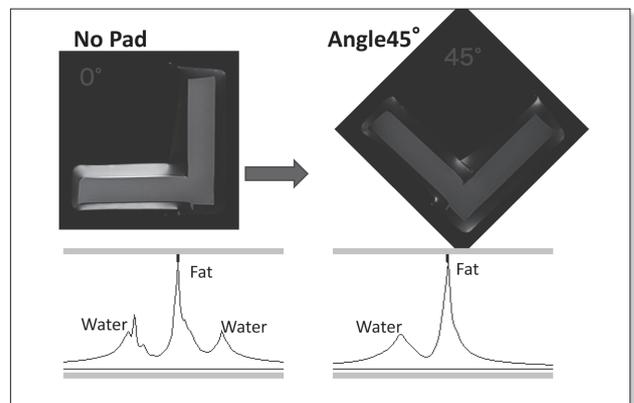


Fig.10 Comparison of capture images and resonance frequency (when changing the angle between lower-leg and table)

～45°の時は水の信号が1つとなり、水と脂肪の信号が分離した (Fig.10).

4-3 自作Pad使用時とポジショニングを変化させた時の自作ファントム画像の比較

自作Padとポジショニングを45°に変化させた時、共に足部全体の脂肪抑制効果が均一となった (Fig.11).

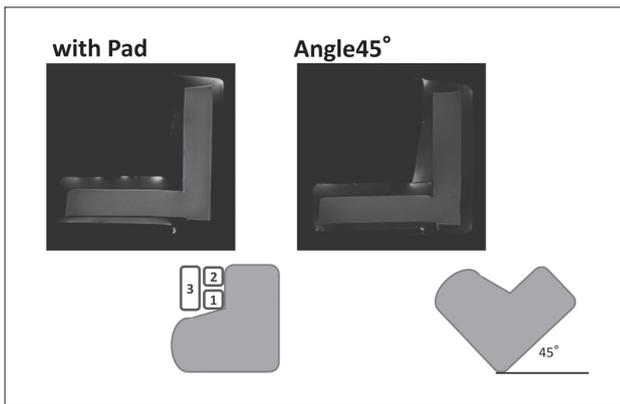


Fig.11 Comparison of capture images (Placing Pad and change in angle of foot)

4-4 健常ボランティア撮像時の画像の比較

健常ボランティアでは、ポジショニングを変化させた時、視覚評価の結果が合計33点となり1番得点が高くなった (Fig.12). ポジショニングを変化させた時は足全体に脂肪抑制が均一にかかったが、自作Padを配置した時は足先から足底部にかけて脂肪抑制効果不良が現れた (Fig.13).

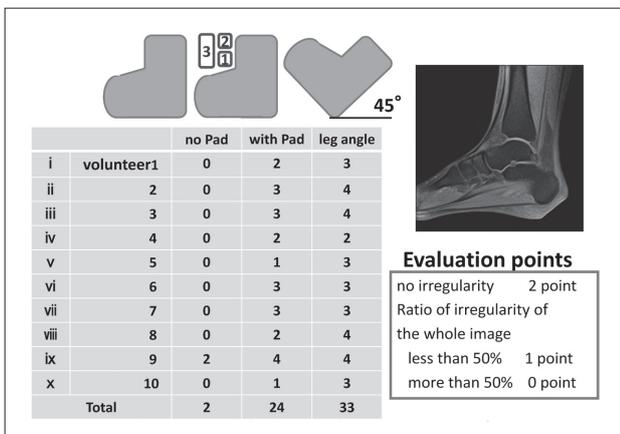


Fig.12 Visual evaluation of volunteer's capture images (no Pad, with Pad, when changing the angle between lower-leg and the bed)

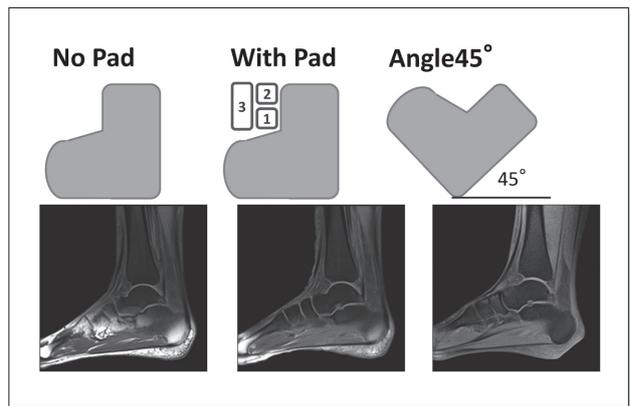


Fig.13 Comparison of volunteer's capture images (no Pad, with Pad, when changing the angle between lower-leg and the bed)

4-5 ポジショニング変更における中心周波数の変化

脂肪抑制効果が改善した35°～45°の時、シミングの範囲による中心周波数のバラツキは少なくなる結果となった (Fig.14).

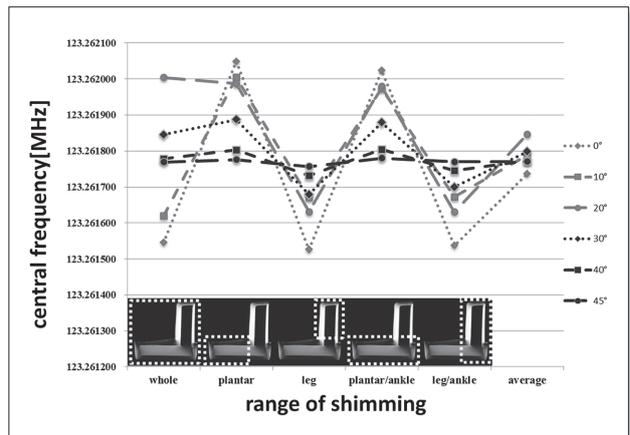


Fig.14 Transition of center frequency when shimming range is changed

5. 考察

脂肪抑制効果が不良になる原因は、不整な形状である足を静磁場内に配置することであるため、自作Padを配置し足関節の形状を補正することで脂肪抑制効果に改善が見られた。自作Padがファントム付近の磁場を均一にさせる効果をもたらしたため、水と脂肪の周波数分布が変化し、より均一な脂肪抑制画像が得られたと考えられた。しかし、健常ボランティアに自作Padを配置した際、脂肪抑制効果が不十分になることがあった。原因は、足部と自作Padの形状が異なるため、間に空気の間隙の層が生じ、その部分の磁化

率が不均一になるためと考えられた。

今回、われわれは自作Padに代わる因子として、ポジショニングを変化させることで脂肪抑制効果が改善するのではないかと考えた。下腿と寝台が成す角度を35°~45°とした時、脂肪抑制効果が改善した。これは、足部を静磁場に対して直線性を成型するように配置することによって、磁場の均一性が向上したためと考えられた。

ポジショニングを変化させることで、足部の中心周波数が安定し、脂肪抑制効果が改善したと考えられた。

ポジショニングを変化させる方法は、足部全体を変化させ撮像を行ったため、自作Padの配置のように足部の形状による個人差が関係せず、一定の改善効果が得られたと考えられた。

6. 結 語

CHESS法を併用した足関節のMRI撮像では、磁場の不均一の影響により脂肪抑制効果が不良となることがあったが、近年、推奨されている自作Pad⁷⁾を足背部に配置することで脂肪抑制効果の改善が見られた。

しかし、足部と自作Padとの間に空気の間隙の層が生じると、磁場の均一性が損なわれ脂肪抑制効果が不十分となることがあった。今回提案した、下腿と寝台との成す角度を35°~45°とする方法は、静磁場に対し足部が直線となるように配置することで、磁場の均一性が高くなり、自作Pad使用時と比較し、高い脂肪抑制効果が得られた。ポジショニングを変化させる方法は、臨床において個人の足の形状によらず、また受傷した足部に自作Padの加重を与えることなく、一定の脂肪抑制効果が期待できることが示唆された。

謝 辞

データ収集や画像評価などに協力していただき、貴重な意見を賜りました昭和大学病院放射線室技師諸兄に深謝致します。

また本論文の要旨は、日本放射線技術学会秋季学術大会(2012年10月、東京)および第99回北米学会(2013年12月、シカゴ)で発表した。

表の説明

Table 1 Sat Padの配置方法とMR画像

Table 2 足部の角度を変化させたときの画像の比較

図の説明

- Fig.1 CHESS法による足の脂肪抑制不良画像
- Fig.2 自作ファントムの外観と構成
- Fig.3 視覚評価におけるファントムおよび足部のセグメント分け
- Fig.4 MRIにおける足部のポジショニング(従来法):膝を伸展し足底を屈曲させる
- Fig.5 Pad配置方法の組み合わせ
- Fig.6 下腿と寝台の成す角度の変化
- Fig.7 中心周波数を測定する時のシミングの範囲設定
- Fig.8 Pad配置による視覚評価
- Fig.9 撮像画像と共鳴周波数の比較(Pad配置時)
- Fig.10 画像と共鳴周波数の比較(下腿と寝台の成す角度を変化させた時)
- Fig.11 画像比較(Pad使用時と下腿と寝台の成す角度を変化させた時)
- Fig.12 ボランティア撮像画像における視覚評価(Padなし, Padあり, 下腿と寝台の成す角度を変化させた時)
- Fig.13 画像比較(Padなし, Padあり, 下腿と寝台の成す角度を変化させた時)
- Fig.14 シミング範囲を変化させた時の中心周波数の推移

参考文献

- 1) 葛原, 島本: 足関節捻挫の処置法. 東邦学誌, 35(2), 1-12, 2006.
- 2) 鈴木章允: 日本放射線技術学会第25回秋季学術大会, 53(9), 1418, 1997.
- 3) 大日方研, 小澤郁生, 高橋義一, 他: 脂肪抑制. 株式会社日立メディコ技術情報誌MEDIX, Vol. 50, 41-48, 2009.
- 4) 笠井俊文, 土井 司: MR撮像技術学 改訂2版. 株式会社オーム社, 288-289, 2010.
- 5) 笠井俊文, 小川敬壽: 診療画像機器学 第1版. 株式会社オーム社, 288-289, 2008.
- 6) 金森勇雄, 藤野明俊, 丹羽政美, 他: MRの実践 基礎から読影まで 第1版. 株式会社医療科学社, 134, 2011.
- 7) 宮川忠士, 安井 清: 頸部MRIおよび頸部MR Angiographyにおける画質向上の試み Sat Padを用いた臨床的評価. INNERVISION, 9(11), 77-83, 1994.
- 8) SUSUMU MORIYA, YUKIO MIKI, TSUNEO YOKO-BAYASHI, et al.: Rice pads: Novel devices for homogeneous fat suppression in the knee. Acta Radiol, 51(2), 175-178, 2010.
- 9) 本田貴子, 新井健史, 西村文雄, 他: 頸部MRI領域における米Sat Padの有有用性. 日本放射線技術学会東京部会雑誌, 30, 2008.
- 10) 福井大学医学部附属病院救急部: 足関節の捻挫「バレーボールしていたら足首を捻挫しちゃったみたいなんです」. 治療, 90(10), 2702-2704, 2008.