

膝関節半月板におけるmagic angleの基礎的検討

Fundamental Study of magic angle in the meniscus of knee joint

釘宮 慎次郎¹⁾(32848) 香月 伸介¹⁾(38648) 川崎 久充¹⁾(42817) 金子 景子¹⁾(47579)
辻 英雄¹⁾(53999) 清田 綾¹⁾(54683) 三浦 悠輔¹⁾(62885)

1) 医療法人 同心会 福岡整形外科病院 放射線科 診療放射線技師

Key words: MRI, magic angle, meniscus, short TE

【Abstract】

The tendon and the ligament must be careful about magic angle phenomenon in MRI. This is the about magic angle phenomenon that a tendon and ligament is to be high signal at about 55 degrees for static magnetic field. In addition, the meniscus is an object of the magic angle phenomenon, but rarely watches a clear image. This time, examined the magic angle phenomenon of the meniscus. It was recognized that magic angle phenomenon happened in the meniscus. As a rule out of the magic angle phenomenon, it is necessary image it by a sequence having a long TE or change the angle of tissue.

【要旨】

MRI撮像において、腱や靭帯などはmagic angle現象に注意しなければならない。これは、静磁場に対して腱や靭帯などが約55度になったときに高信号になる現象である。半月板もmagic angle現象の対象だが、明らかな偽像を見ることは少ない。今回、半月板のmagic angle現象の検討を行い、半月板でもmagic angle現象が起きることが分かった。magic angle現象の除外診断として、TEの長いシーケンスで撮像するか、組織の角度を変えて撮像する必要がある。

緒 言

magnetic resonance imaging (MRI) 撮像において腱や靭帯などの線維組織を撮像する際、magic angleの影響が問題になる。特にmagic angleの影響は、肩関節における腱板や膝関節における前十字靭帯などで見られることが多い¹⁻³⁾。膝関節半月板も組織構造的には線維軟骨であり、撮像シーケンスはecho time (TE) が短いT₂*強調画像、プロトン強調画像、T₁強調画像などが用いられる⁴⁻⁵⁾。そのため半月板ではmagic angleの影響が十分に考えられる⁶⁾。しかし、臨床において明らかな偽像を見ることは少なく、文献でも半月板後角の高信号部分はmagic angleの影響ではなく、半月板の変性や断裂が原因とされている⁷⁾。今回、静磁場に対して半月板がmagic angleになった場合にmagic angle phenomenonが起こるかの評価について、ファントムを使用して基礎的検討をした。

Shinjiro Kugimiya¹⁾(32848),
Shinsuke Katsuki¹⁾(38648),
Hisamitsu Kawasaki¹⁾(42817),
Keiko Kaneko¹⁾(47579), Hideo Tsuji¹⁾(53999),
Aya Kiyota¹⁾(54683), Yuusuke Miura¹⁾(62885)

1) Iryouhoujin Doushinkai Fukuoka Orthopedic Hospital Radiological technologist

1. magic angle phenomenonについて

TEが短いシーケンスで撮像した際に、腱や靭帯がある角度になった時、組織の一部が高信号になり変性や出血などの病態様画像になることがある¹⁾。この角度がmagic angleであり、静磁場のZ軸方向に対して約55度となる。この角度の計算式を次式に示す^{8, 9)}。

$$B_z = \mu_0 \mu (3 \cos^2 \theta - 1) / 4 \pi r^3$$

ここで、B_z: 静磁場方向成分、μ: 原子核磁気モーメント、θ: Z軸との角度、r: 原子核間距離である。原子核磁気モーメントが形成する磁場のZ成分をB_z=0にするには、3cos²θ-1=0、cosθ=1/√3、θ=54.7° or 125.2°になる。

静磁場に対するこの角度の領域をFig.1に示す。腱や靭帯は基本的に膠原線維(蛋白質)から構成され、膠原線維の近傍にある水分子は束縛されたまま線維方向に並ぶ性質があり¹⁰⁾、θの角度になるとmagic angle現象が見られる。

2. 方 法

半月板ファントムを、静磁場に対して約55度になるように配置した状態からTEを変化させて撮像することで、TEの違いによる半月板ファントムの信号変

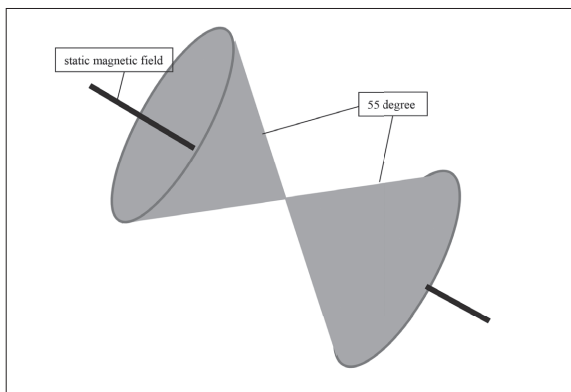


Fig.1 Area of 55 degree for the static magnetic field.

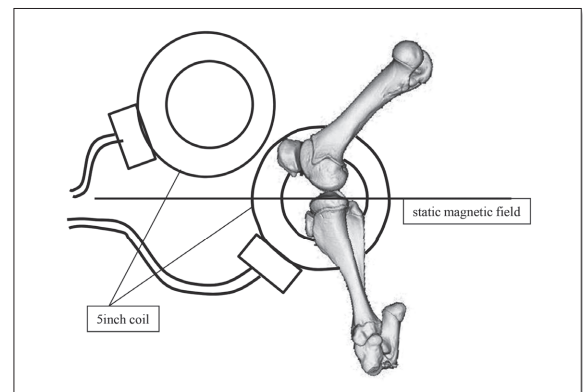


Fig.3 The imaging position

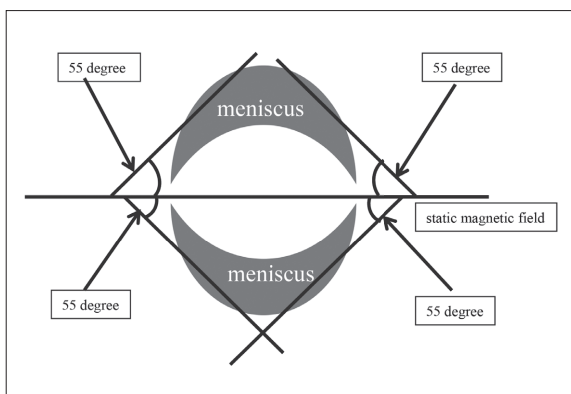


Fig.2 A part of 55 degree for the static magnetic field in the meniscus.



Fig.4 Direction of the static magnetic field in the meniscus.

化を計測した。

2-1. 使用機器およびコイル

使用したMRI装置はGE製1.5T Signa HDx ver 14であり、ファントム画像評価では5inch surface coilを2枚使用し dual coilとして用いた。

2-2. 3D撮像パラメーター

使用したシーケンスの撮像パラメーターを示す。
 repetition time (TR) : 4000ms, TE : 13.8 ~ 111.2ms, フリップ角: 90度, MATRIX: 256 × 256, FOV : 15 × 15cm, NEX : 2, スライス厚 : 1mm, 脂肪抑制法 : なし, 感度補正法 : なし, band width (BW) : 13.16kHz, スライス枚数 : 25枚, 撮像時間 : 264Sec

2-3. 使用ファントムについて

ファントムは、組織が人体に近い¹¹⁾豚の半月板を関節包に包まれた状態で使用した。静磁場に対して半

月板がFig.2のような方向になることで、いずれかの場所がmagic angleの約55度になると考えた。ポジショニングは脛骨関節面をsurface coilの中心に配置し、タオルなどを使用してsurface coil 2枚で挟み込むように固定した (Fig.3)。数回位置決め画像を撮像して、脛骨関節面が静磁場の方向と一致するように微調整した (Fig.4)。ファントムを使用する本研究については、本院倫理委員会の承認を受けている。なお、ファントムに使用した半月板は、実験後、整形外科医1人、診療放射線技師6人で関節内を直接検証し、半月板が正常であることを確認している。

2-4. ファントム画像における検討方法

短いTEのシーケンスから長いTEのシーケンスで、半月板が十分に含まれた部分を3Dデータで撮像する。元画像から再構成を行い半月板が識別できる画像を作り、それぞれのシーケンスで信号値を比較評価する。シーケンスはFSE法を用いTRおよびBWを調

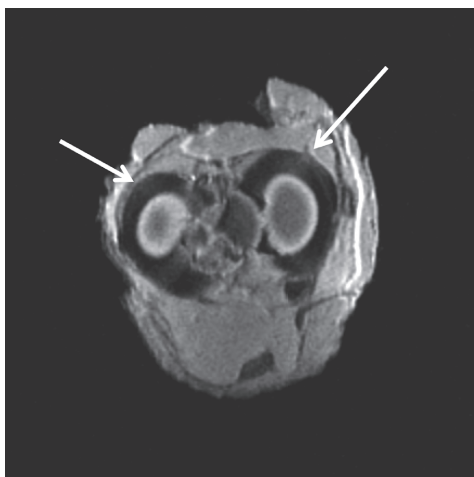


Fig.5 a Meniscus image in short TE sequence.
 (←) : High signal part in the meniscus.

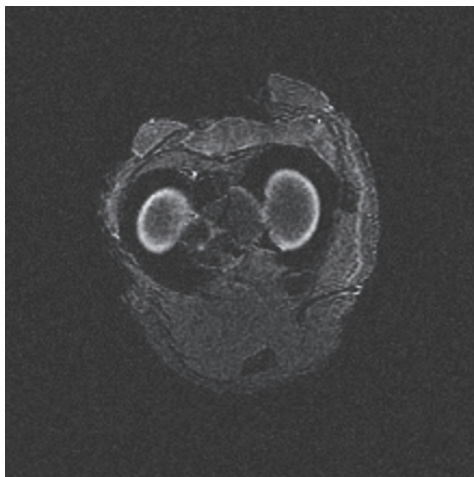


Fig.5 b Meniscus image in long TE sequence.

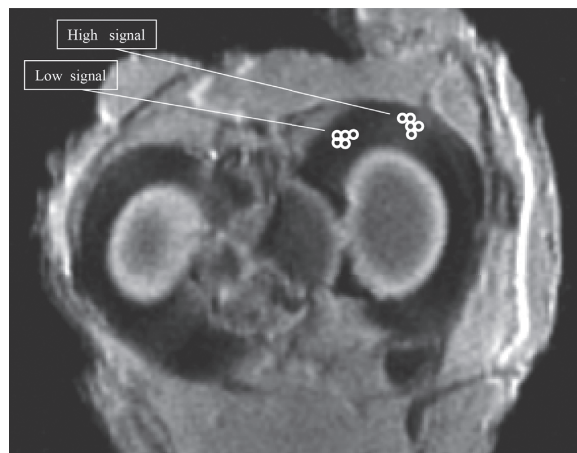


Fig.5 c ROI setting of high and low signal area.

3. 結果

最短TEのシーケンスで、半月板における低い信号値のROIの平均は361.2, 高い信号値の平均は923.2でコントラスト比は2.56, 最長TEのシーケンスにおける同部位での信号値は193.6に対して188となり、コントラスト比は0.97となった。各TEにおける半月板での低い信号値に対する高い信号値のコントラスト比: TE (B/A) は13.8 (2.56), 27.8 (1.67), 41.7 (1.32), 55.6 (1.21), 69.5 (1.21), 83.4 (1.08), 97.3 (0.96), 111.2 (0.97) となった。

4. 考察

半月板の診断にはMRI画像が用いられ、TEの短いシーケンスで撮像することが多いため、高信号を示した部分がmagic angleの影響であるならば、MRI画像を用いた診断自体に問題が生じる。今回の検討は、半月板組織にmagic angle phenomenonが起こるかについて検討するため、半月板の配置を工夫して静磁場に対して約55度の角度で検証をした。結果から、TEが短いシーケンス画像で明らかなmagic angle phenomenonを認めた。半月板における低信号部分に対する高信号部分の信号値は2倍以上となり、コントラスト比は2.56となった。これに対して、TEが長いシーケンス画像の同一部位の信号コントラスト比は0.97で、限りなく1に近い値となった。すなわち半月板組織においてTEが短いシーケンスでは、静磁場に対して半月板のコラーゲン繊維が約55度の角度になった部分の信号上昇があったと考えられ

整することで、TEを短いものから長いものまで変化できるシーケンスで撮像した。撮像したTE (msec) 値は13.8, 27.8, 41.7, 55.6, 69.5, 83.4, 97.3, 111.2である。比較評価方法はそれぞれのTEにおけるシーケンスで、半月板内の信号値の低い部分(A)と信号値の高い部分(B)に5個のregion of interest (ROI) を取り信号値の平均値を算出し、コントラスト比B/Aを測定した。ここでのROIはビューワーの計測ソフトを使用して、大きさは $1 \pm 0.1\text{mm}^2$ とした。最短TEにおけるコントラスト比と最長TEにおけるコントラスト比に違いがあるかについて検討した。またコントラスト比が1に近づくTEを調べることで、どの程度のTEでmagic angleの影響を受けなくなるか検討した。Fig.5 abcに、評価した画像の一例を示す。

る。また位置決め画像による静磁場に対して55度の角度になる位置と今回の信号上昇部位はほぼ一致している。今回検討した半月板は、コラーゲン繊維の配列が表層は放射状繊維、深層は環状繊維、周縁から放射状繊維が環状繊維に混じる構造をしているため¹²⁾、高信号であった部分は深層の環状繊維を捉えるものであると思われる。各TEのコントラスト比の検討については、83.4msec以上のTEでコントラスト比が1.00に近づき、magic angle phenomenonを評価することができない結果となった。シーケンスによってmagic angle phenomenonを除外するTEの値は異なることが予想されるが、1つの指標として考えることができる。magic angle phenomenonは静磁場に対して約55度の角度にある腱や靭帯などが短いTEの撮像シーケンスで信号上昇を示すものである。一定の走行を取る腱や靭帯などは、プロトン同士の位置関係が恒常的で双極子間相互作用によるT₂緩和の促進が起こる。magic angleになったとき、双極子間相互作用の影響を逃れるためT₂の延長が起こり、TEが短いシーケンスで組織の信号を捉えることができる。ただし、腱や靭帯などの中に含まれる高分子に結合した水分子のT₂は<200μsecといわれている¹³⁾。そのために腱や靭帯などにT₂緩和の延長が起きても非常に短いものであり、TEが長いシーケンスでは信号取得前に減衰してしまうので信号強度にほとんど影響しない。magic angle

phenomenonにより高信号になった部分は、もともと腱や靭帯などにおける本来の信号であり特別な異常信号ではないため、緩和時間と共に減衰し¹⁴⁾、その他の組織同様コントラスト差を表現できなくなる。

5. 結 語

半月板におけるmagic angle phenomenonの検討をしたが、TEが短いシーケンスでは静磁場に対して約55度の角度になった部分の信号上昇が見られ、半月板がmagic angleの影響を受けることが明らかになった。垂直磁場では、半月板が今回のような方向になることが考えられるため注意する必要がある。水平磁場において仰臥位では、半月板がmagic angleに近づくことは少ない。すなわち水平磁場において半月板撮像は角度的にmagic angleの影響を受けないため、従来使用されているTEが短いT₂*強調画像、プロトン強調画像、T₁強調画像などを使い評価することが可能である。ただし、半月板断裂が起こり転位や変形が大きな場合は、特異的にmagic angle phenomenonが見られることもある¹⁵⁾。magic angle phenomenonの対策としては、線維方向が静磁場に対して55度に近づかないような体位とするか¹⁾、T₂強調画像などのTEが長いシーケンスで撮像する必要がある。

図の説明

- Fig.1 静磁場に対する55度の領域
 Fig.2 半月板の静磁場に対する55度の位置
 Fig.3 撮像体位
 Fig.4 半月板における静磁場の方向
 Fig.5 a Short TEにおける半月板画像
 矢印：半月板の高信号部分
 Fig.5 b Long TEにおける半月板画像
 Fig.5 c 高信号、低信号領域におけるROI設定

参考文献

- 西谷 衛：関節のMRI—撮像法と読影ポイント—。日放技学誌, 62 (7), 924-937, 2006.
- 末廣昌嗣 他：腱板断裂におけるMRI Gradient Echo法T₂*強調画像とFast Spin Echo法T₂強調画像の比較。整形外科と災害外科, 48 (3), 904-907, 1999.
- 新津 守：膝関節：十字靭帯。画像診断, 19 (12), 1405-1413, 1999.
- 金森勇雄 他：MRの実践。医療科学社, 312-320, 2011.
- 松本満臣 他：考えるMRI撮像技術。文光堂, 138-160, 2008.
- 亀井豪器 他：半月板の構造と機能。MB Orthop, 26 (13), 1-8, 2013.
- Peterfy CG et al.: Magic angle phenomenon a cause of increased signal in the normal lateral meniscus on short-TE MR images of the knee. AJR, 163, 149-154, 1994.
- Erickson SJ et al.: The "Magic Angle" Effect: Background Physics and Clinical Relevance. Radiology, 188 (1), 23-25, 1993.
- Karyn E Chappell et al.: Magic Angle Effects in MR Neurography. AJNR, 25, 431-440, 2004.
- Jiang Du et al.: Magic angle effect in magnetic resonance imaging of the Achilles tendon and entheses. Magnetic Resonance Imaging, 27, 557-564, 2009.
- 高橋応明：ボディエリアネットワークにおけるアンテナ技術。電子情報通信学会論文誌, J96-B (9), 907-915, 2013.
- 井原秀俊：考える膝。全日本病院出版会, 42-59, 2002.
- 荒木 力：決定版MRI完全解説。秀潤社, 281-325, 2008.
- 松田 豪：MR現象—緩和—。日放技学誌, 58 (7), 895-903, 2002.
- 濱田英敏 他：前十字靭帯の後方に転位した外側半月パケツ柄断裂の1例。スポーツ障害, 12 : 36-38, 2007.