

3D water excitation fast field echo 法による 関節軟骨 MRI の試み

加藤 広士¹, 大谷 紀夫¹, 泊 一秀², 上田 真也¹,
近藤 やよい¹, 宮崎 美津恵³, 喜種 慎一³

¹新別府病院放射線科 ²同整形外科 ³東芝メディカルシステムズ(株)MRI 開発部

はじめに

関節軟骨の MR (magnetic resonance) 画像として、様々な撮像法が提唱されているが^{1)~11)}、代表的な撮像法として、脂肪抑制併用 3D GRE (three dimensions-gradient recalled echo) の T₁強調像 (3D 脂肪抑制 T₁強調 field echo (FS-FE) 法) がある^{1),2),5)~11)}。この手法は関節軟骨を高信号、関節液を低信号に描出する撮像法であり、3D データ収集により、薄いスライスで詳細な画像を得ることができる。しかし、関節軟骨は MTC (magnetization transfer contrast) 効果を非常に受けやすい組織であるため、脂肪抑制パルスによる MTC 効果により関節軟骨の信号が低下しているものと考えられる¹⁾。そこで我々は抑制パルスを用いた脂肪抑制法ではなく binomial パルスを用いた水選択励起型脂肪抑制法である 3D water-excitation fast field echo (WE-FFE) 法での関節軟骨の描出を試み、その有用性について検討を行った。

対象および方法

対象は実験 1 では健常ボランティア 7 名 [男性 3 名, 女性 4 名; 20 歳~53 歳 (平均年齢 34.3 歳)]。実験 2 では健常ボランティア 7

名 [男性 4 名, 女性 3 名; 20 歳~51 歳 (平均年齢 33.1 歳)] であった。すべての健常ボランティアに対しインフォームド・コンセントを得て撮像を行った。使用 MR 装置は、1.5T EXCELART pianissimo XGS (東芝メディカルシステムズ株式会社製) で、実験 1 では 3D WE-FFE 法と 3D FS-FE 法で膝関節の撮像を行い、関節軟骨、関節液、骨髄内脂肪の信号強度を測定し、同一スライスのバックグラウンドノイズの標準偏差を測定し、関節軟骨、関節液、骨髄内脂肪の SNR (signal to noise ratio)、関節軟骨-関節液間および関節軟骨-骨髄内脂肪間 CNR (contrast to noise ratio) を測定した。SNR は各組織の信号強度をバックグラウンドノイズの標準偏差で割った値を用い、CNR は、関節軟骨の SNR と関節液および骨髄内脂肪の SNR の差を用いた。有意検定には Wilcoxon signed-rank test を用いた。

撮像条件は 3D WE-FFE 法が TR = 38 ms, TE = 9 ms および 12 ms, フリップ角 = 20°, FOV = 200 mm, matrix = 192 × 256, スライス厚 = 2 mm, スラブ厚 = 52 mm, 撮像時間 = 2 分 51 秒で、3D FS-FE 法が TR = 38 ms, TE = 9 ms, フリップ角 = 20°, FOV = 200 mm, matrix = 192 × 256, スライス厚 = 2 mm, スラブ厚 = 52 mm, 撮像時間 = 2 分 52 秒であった。

キーワード MRI, water-excitation, magnetization transfer contrast, fat suppressed pulse, cartilage

実験2では3D WE-FFE法においてフリップ角を16°から30°まで2°ごとに変化させ膝関節の撮像を行い、関節軟骨、関節液のSNRおよび関節軟骨-関節液間CNRを測定した。撮像条件はTR=23.1 ms, TE=9 ms, フリップ角=16°~30°, FOV=200 mm, matrix=192×256, スライス厚=2 mm, スラブ厚=52 mm, 撮像時間=1分45秒であった。

臨床画像において軟骨損傷の49歳女性に対し軟骨の描出を3D FS-FE法と比較し、さらに軟骨損傷の43歳男性および変形性膝関節症の77歳男性に対し関節軟骨表面と関節液とのコントラストをMTC画像と比較した。

撮像条件は3D WE-FFE法がTR=23.1 ms, TE=9 ms, フリップ角=28°, FOV=130 mm, matrix=192×256, スライス厚=2 mm, スラブ厚=72 mm, 撮像時間=5分39秒, 3D FS-FE法はTR=38 ms, TE=9 ms, フリップ角=50°, FOV=130 mm, matrix=192×256, スライス厚=2 mm, スラブ厚=84 mm, 撮像時間=5分36秒, fine reconstruction併用. MTC

画像として脂肪抑制併用 fast spin echo (FS-FSE)法 TR=2000 ms, TE=36 ms, フリップ角=90°, FOV=120 mm, matrix=224×320, スライス厚=3.5 mm, 撮像時間=3分46秒であった。

結 果

実験1において3D WE-FFE法と3D FS-FE法共に、関節軟骨のSNRは、関節液、骨髓内脂肪に比べて高いSNRを示し、関節軟骨が高信号として描出された。3D WE-FFE法での関節軟骨、骨髓内脂肪、関節液は、すべてにおいて3D FS-FE法より有意に高いSNR (p<0.05)を示した。特に関節軟骨のSNRは15%増加し、関節液の10%よりも高い値を示した。

また3D WE-FFE法では、関節液と関節軟骨のCNRは3D FS-FE法より有意に高い値 (p<0.05)を示し、3D WE-FFE法においてTE=9 msはTE=12 msより有意に高いCNRの値 (p<0.05)を示した (Fig. 1)。

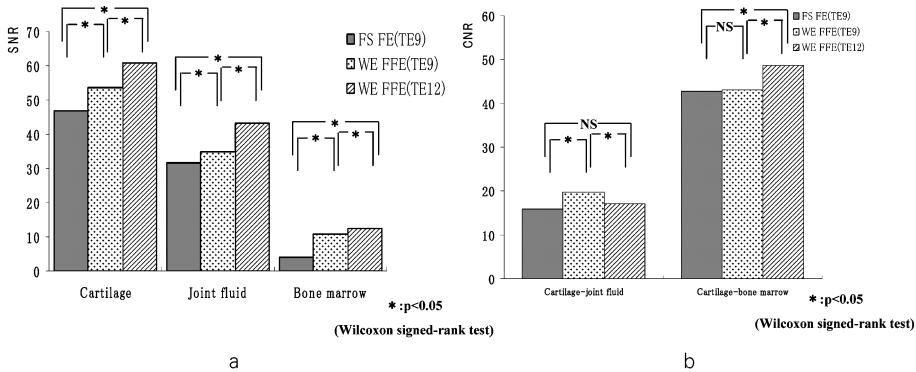


Fig. 1. a) SNR of the articular cartilage, joint fluid, and bone marrow acquired using 3D WE-FFE (TR/TE/FA=40/9 and 12/20) and 3D FS-FE (TR/TE/FA=40/9/20). b) CNR of the articular cartilage versus joint fluid on 3D WE-FFE (TR/TE/FA=40/9 and 12/20) and 3D FS-FE (TR/TE/FA=40/9/20). The 3D WE-FFE technique has shown significantly higher SNR of the articular cartilage and considerably higher CNR between the articular cartilage and joint fluid as compared to 3D FS-FE.

実験 2 において SNR の検討では、フリップ角の増加に伴い関節液と関節軟骨の SNR は共に低下した。CNR の検討では、フリップ角の増加に伴い 22° までは関節液と関節軟骨の CNR は増加するがその後 28° まではプラトーとなりそれ以上では低下した (Fig. 2)。

臨床画像においては 3D FS-FE 法に比較し

関節軟骨は明瞭に描出された (Fig. 3)。また関節軟骨表面に関しても MTC 画像と同様明瞭に描出された (Fig. 4)。しかし、血液等の不純物を含んだ関節液や半月の損傷および変性とのコントラストは MTC 画像に比較して不十分であった (Fig. 5)。

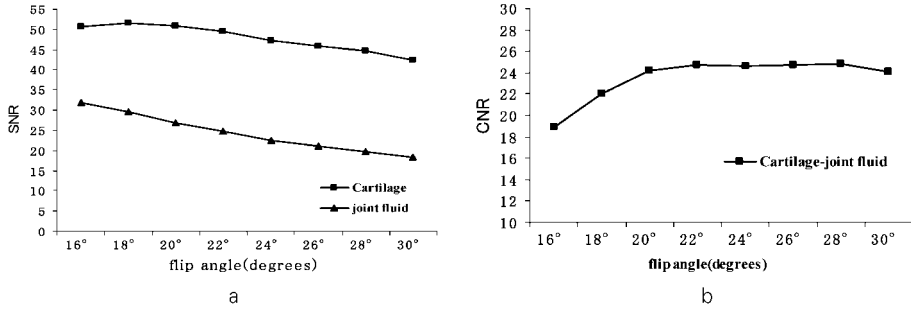


Fig. 2.

a) Relationship between SNR and flip angle on 3D WE-FFE (TR/TE/FA = 40/9/20).

b) Relationship between CNR of the articular cartilage versus joint fluid and flip angle on 3D WE-FFE (TR/TE/FA = 40/9/20). For CNR between the articular cartilage and joint fluid, the flip angle of 22 to 28 degree has shown the highest value.

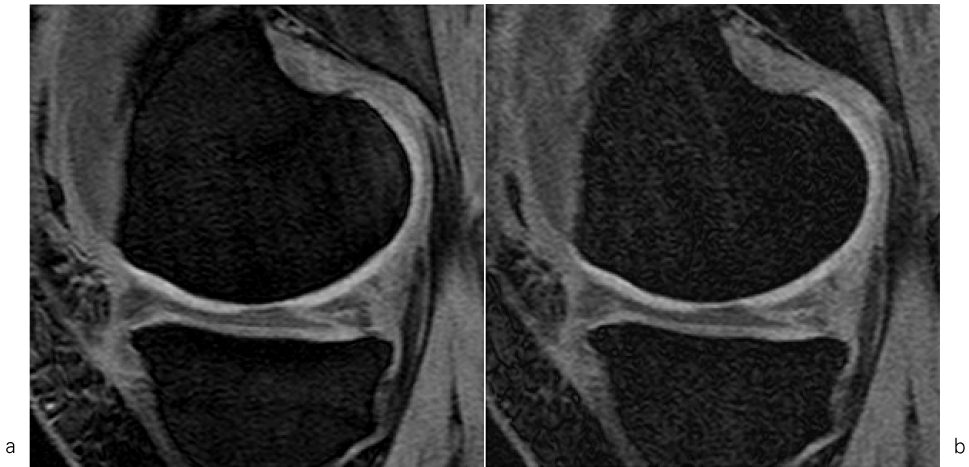


Fig. 3. A 49-year-old woman with chondral fracture

a) 3D WE-FFE (TR/TE/FA = 23.1/9/28) sagittal image of a knee joint. b) 3D FS-FE (TR/TE/FA = 40/9/50) sagittal image of the knee joint. The contrast of the articular cartilage and joint fluid is improved in a) as compared in b).

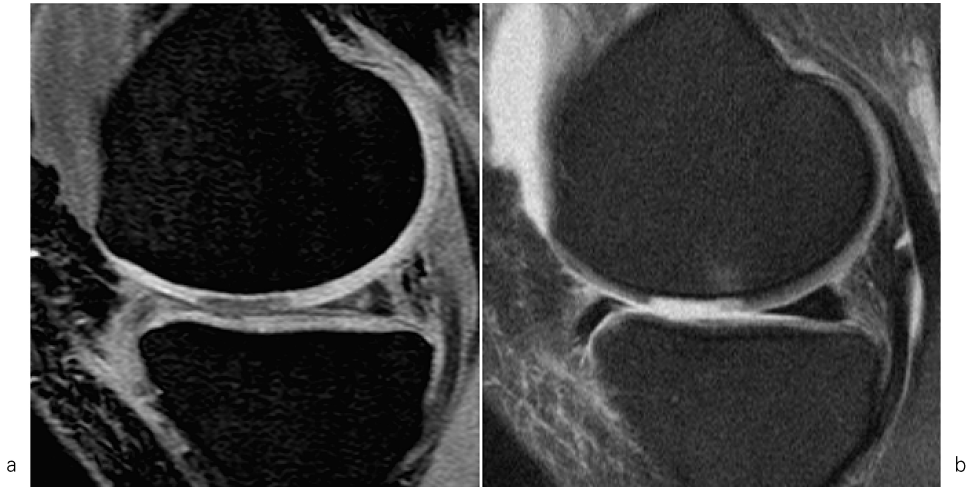


Fig. 4. A 43-year-old man with chondral fracture

a) 3D WE-FFE (TR/TE/FA=23.1/9/28) sagittal image of a knee joint. b) fat-suppressed intermediate fast spin echo (FSE) sequence (TR/TE/FA=2000/36/90) sagittal image of the knee joint. The surface of the articular cartilage in a) is better delineated as compared in b).

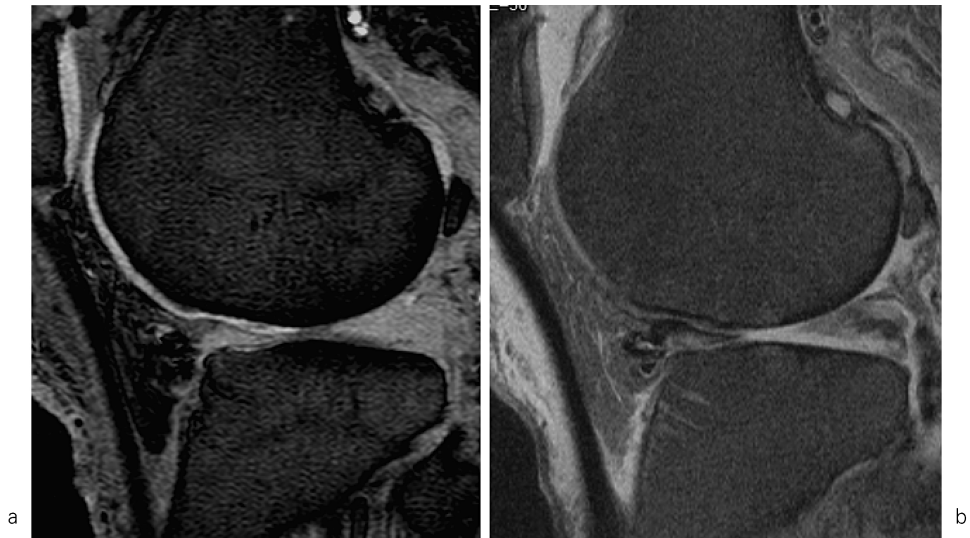


Fig. 5. A 77-year-old man with knee osteoarthritis

a) 3D WE-FFE (TR/TE/FA=23.1/9/28) sagittal image of a knee joint. b) fat-suppressed intermediate FSE sequence (TR/TE/FA=2000/36/90) sagittal image of the knee joint. Contrast in a) is insufficient for depicting the degeneration of meniscus.

考 察

関節軟骨の MR 画像として、様々な撮像法が提唱されている。この撮像法として現在大きく二つに分類される。一つは関節軟骨を中間信号、関節液を高信号に描出する撮像法であり^{1)~4),7),8)}。もう一つは関節軟骨を高信号、関節液を低信号に描出する撮像法である^{1),2),5)~11)}。前者において MTC 効果は関節軟骨と関節液のコントラストを向上させるためには非常に有用な方法であり、これまでも多くの報告がある^{1)~4),7),8)}。この撮像法では軟骨表面の凸凹不整や欠損についての描出は優れているが、関節軟骨の MTC 効果により関節軟骨の信号が低下するため軟骨下骨とのコントラストは不良であり、関節軟骨の厚みを描出するには不適である。後者は軟骨表面の凸凹不整や欠損についての描出は前者の撮像法に劣るものの関節軟骨の厚みを描出するのに適している^{5)~7),9)~11)}。後者の撮像法において脂肪抑制はケミカルシフトの軽減、関節軟骨と骨髄のコントラスト向上、ダイナミックレンジを拡大するなど関節軟骨と周囲組織の良好なコントラストを得るためには非常に重要な役割を果たしているが⁷⁾、脂肪抑制パルスの MTC 効果¹⁾により関節軟骨の信号が低下するという欠点をもつと考えられる。

我々は脂肪抑制パルスを用いた脂肪抑制法ではなく binomial パルスを用いた水選択励起型脂肪抑制法を用い関節軟骨の信号低下を抑え関節液とのコントラストの向上を試みた。結果として関節軟骨の SNR は 15% 増加し、関節液の SNR は 10% 増加した。その結果、関節軟骨と関節液の CNR は有意に増加した。SNR の測定自体が非常に誤差の多い測定法であり断定するには至らないが、今回検討した 3D WE-FFE 法と 3D FS-FE 法は binomial パルスを用いた水選択励起型脂肪抑制法と脂肪抑制パルスを用いた脂肪抑制法の違い以外はすべて同一条件であること、また関節液における MTC 効果はほとんどないことから、この関節軟骨の SNR の

増加値と関節液の増加値との差である 5% が脂肪抑制パルスによる MTC 効果であることが推測される。TE による CNR の検討では TE = 9 ms は TE = 12 ms より有意に高い CNR の値を示した。またフリップ角の検討では関節液と関節軟骨の CNR はフリップ角が 22° から 28° で最も高い値を示した。これらの結果より、3D WE-FFE 法において TE = 9 ms, フリップ角 = 22~28° が最適撮像条件であると言える。臨床画像では 3D FS-FE 法に比べコントラストの高い画像が得られた。またこれまで MTC 画像と比較して若干劣るとされていた関節軟骨表面の描出も高い SNR と CNR により明瞭に描出された。したがって、本研究に用いた 3D WE-FFE 法は、MTC 効果による関節軟骨の信号低下を抑えた有用な方法であると考えられる。

しかし、関節軟骨と純粋な関節液とのコントラストは従来の 3D FS-FE 法に比べ向上したが、血液等の不純物を含んだ関節液や半月の損傷および変性とのコントラストに関しては MTC 画像に比較すると十分とは言えず (Fig. 5)、今後さらなる改善が必要であると考えられる。

結 論

3D WE-FFE 法は関節軟骨の MTC 効果を抑えることにより関節軟骨-関節液間の高いコントラストを得ることができ、関節軟骨の撮像法として有用な方法であると考えられる。

文 献

- 1) 吉岡 大, 新津 守, 板井悠二, Lang P, 池田耕太郎: 関節軟骨への 3D water-excitation magnetization transfer contrast MR 画像の試み. 日医放会誌 2001; 61: 545-547
- 2) 吉岡 大, 越後純子, 新津 守, 阿武 泉, 板井悠二, 中井敏晴, 佐藤博司, 塚元鉄二: 3 Tesla MR 装置を用いた膝関節 MTC 画像の初期検討. 日磁医誌 1998; 18: 410-417

- 3) 吉岡 大, 新津 守, 福林 徹: Magnetization transfer contrast (MTC) MR 画像による膝関節軟骨の評価. 臨床スポーツ医学 1994; 11: 823-827
- 4) 高嶋 理, 和田 真, 津向伸哉, 井村慎一: Magnetization transfer contrast を用いての膝関節軟骨の MRI 評価. 中部日本整形外科災害外科学会雑誌 1995; 38: 1661-1662
- 5) 渡辺吾一, 名越 智, 河村正朋, 山本宣幸, 森末博之, 玉川光春, 山下敏彦: 変形性膝関節症における関節軟骨の MRI 所見関節鏡所見との比較. 臨床整形外科 2002; 37: 1401-1406
- 6) 小林正明, 大塚隆信: 変形性関節症の長期自然経過関節軟骨の MRI. 関節外科 2003; 22: 40-47
- 7) 川原康弘, 上谷雅孝: 骨軟部 MRI のトピック 膝内障診断のための適正な撮像法. 映像情報 Medical 2002; 34: 964-969
- 8) 橋本あず真, 塚本 浩: 脊椎脊髄疾患と四肢関節疾患の MRI. 医学検査 1997; 46: 1319-1326
- 9) 和田佑一, 渡辺淳也, 山下剛司: 欠損軟骨修復法の臨床培養軟骨細胞移植による修復組織像, MRI 評価. 整形・災害外科 2003; 46: 137-140
- 10) Wada Y, Watanabe A, Yamashita T, Isobe T, Moriya H: Evaluation of articular cartilage with 3D-SPGR MRI after autologous chondrocyte implantation. J Orthopaedic Science 2003; 8: 514-517
- 11) 齋藤知行, 高橋 晃: 膝関節変形疾患の画像診断. Orthopaedics 2004; 17: 51-59

Three-Dimensional Water-Excitation Fast Field Echo for Articular Cartilage : Preliminary Study

Hiroshi KATO¹, Norio OOTANI¹, Kazuhide TOMARI²,
Shinya UEDA¹, Yayoi KONDOU¹, Mitsue MIYAZAKI³,
Shinichi KITANE³

¹Department of Radiology, ²Orthopedics, Shimbeppu Hospital
3898 Tsurumi, Beppu-shi, Oita 874-0833

³MR Systems Design Group, Toshiba Medical R&D Center

Magnetic resonance (MR) imaging of articular cartilage was evaluated using three-dimensional (3D) water-excitation fast field echo (WE-FFE) and 3D fat-suppressed field echo (FS-FE). Compared to 3D FS-FE images, 3D WE-FFE images showed significantly higher signal-to-noise ratio (SNR) of the articular cartilage and considerably higher contrast-to-noise ratio (CNR) between the articular cartilage and joint fluid. In patients with chondral fracture, 3D WE-FFE provides higher signal intensity and contrast, enabling better delineation of the articular cartilage. The 3D WE-FFE technique is useful in depicting the articular cartilage, providing less signal suppression from the MTC effect.