

シネ MRI による膝関節の動的解析

新津 守*, 秋 貞 雅 祥*, 阿 武 泉*
松 本 邦 彦*, 久 野 譜 也*, 宮 川 俊 平**
井 上 多 門***, 巨 瀬 勝 美***

*筑波大学臨床医学系放射線医学

**筑波大学臨床医学系整形外科

***筑波大学物理工学系

1. はじめに

MRI は軟部組織描出能に優れ、膝関節はその最も有用な適応の一つであり、spin echo 法を中心に多くの臨床報告がなされてきた^{1)~8)}。近年では、fast scan 及び 3 次元フーリエ変換法による高分解能イメージも報告されている^{9)~11)}。

しかし、関節の動的解析では、MRI のスキャン時間の長さにより不可能で、最近では超高速スキャンを用いた“MR fluoscopy”も発表されているが¹²⁾、臨床応用には至っていない。

また、静止画像の“dynamic display”，いわゆる「コマおくり」にて関節の動きの連続画像の報告もあるが¹³⁾、真の意味での動的解析ではない。

今回我々は、動作状態にある膝関節を cine MR 画像に撮影することに成功したので報告する。

2. 方 法

ガントリー内で、大腿を固定し、膝関節を自由に屈伸できるように、装具を作成した(Fig. 1)。更にこの装具と駆動装置を連続するために、ガントリー内外に 1 個ずつ滑車のついた支持装置を設置した。これらはすべて非磁性体を使用した。

駆動装置としては、直線往復動作をし、速度、振幅の調整可能なリバーシブルモーター（オリエンタルモーター社製 リニアヘッド 4 LB 45-3）を用いた。スキャン室内でこのモーターを運

キーワード MRI, cine acquisition, knee joint, kinematic analysis, gating for the moving joint

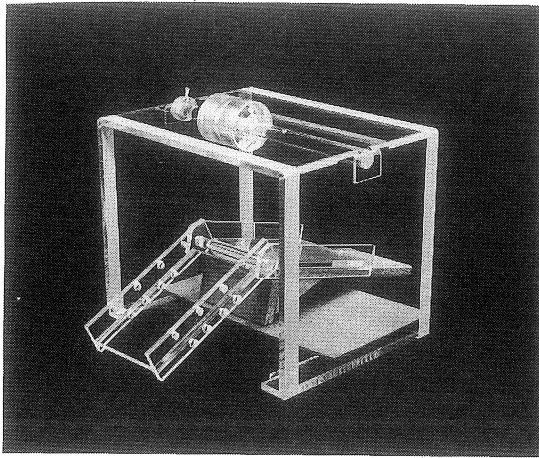


Fig. 1 A knee brace and a pulley.

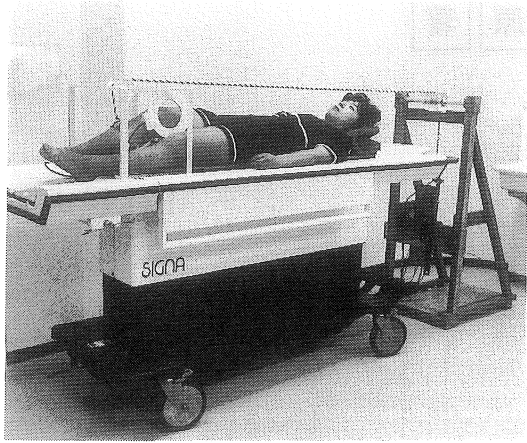


Fig. 2 Drive system of the knee: A reciprocating motor drives the knee brace regularly.

転するにあたり、被検者およびMRI 機器への安全性を確かめた。また、スイッチングによる放電を防ぐため、モーターにシールドを施し、設置位置もガントリーから約5 m 離れた。

使用MRI 装置はGE 社製 SIGNA 1.5 T の cine acquisition を用いた。パルス系列は fast scan (gradient echo) TR=66 msec, TE=15 msec, flip angle=30°, 256×128 matrix, FOV=24 cm, 1 NEX である。膝装具と駆動モーターをロープで連続し、2 秒に1 回の膝の屈伸運動を計128 回行い、スキャン時間は約4 分である。サーフェスコイルは5-inch round coil を膝内側に固定した (Fig. 2)。

ゲーティングは“periphery gating unit”である photo sensor probe を装具の横に固定し、往復運動1 周期ごとに反射光を遮る事により行った。スライス厚は5 mm で intercondylar notch 内に連続する4 スライスを得た。1 周期の間に16 枚の画像をとり、再構成後、cine display にて観察した。

3. 結 果

正常膝 (25 歳女性) の cine 画像を示す (Fig. 3)。後十字靭帯は全長にわたって低信号帯として見られる。前十字靭帯はその一部が見えているが、屈曲によりはっきり見える。patellofemoral joint の関節軟骨の滑走が観察できる。関節液はわずかにみえるが、動きによりその位置を変える。

Fig. 4 は外傷による前十字靭帯断裂の症例である (21 歳男性、アメリカンフットボール練習中に受傷、7 日め、6 日後の関節鏡にて前十字靭帯完全断裂が認められた)。前十字靭帯は4 枚の連続するスライスの中の位相にも確認できない。脛骨への付着部にも認められず、後十字靭帯も後方へ偏位している。関節包から suprapatellar bursa にかけて関節液が貯留し、関節の屈伸に連れてその位置を変えるのがよくわかる。

Fig. 5 は慢性関節リュウマチ (33 歳男性、十

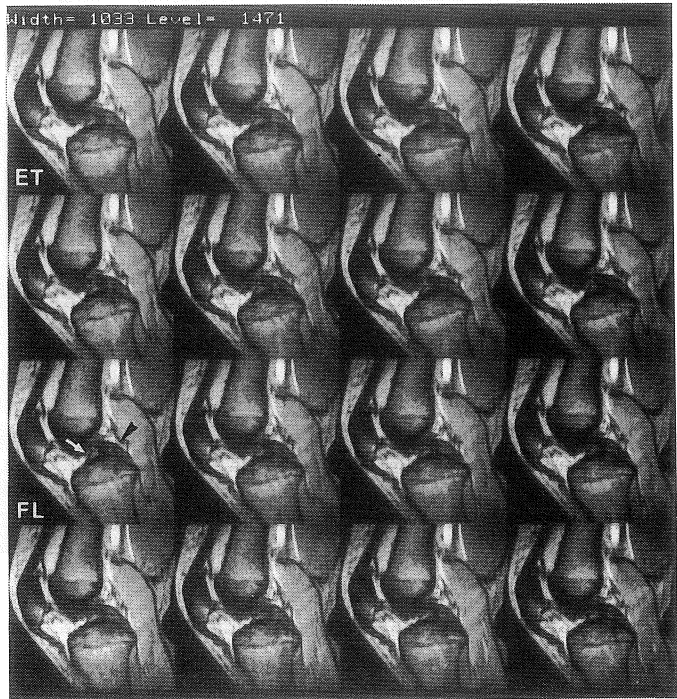


Fig. 3

Sixteen time frames per cycle sagittal sequence of a normal knee. The motion of anterior (arrow) and posterior (arrowhead) cruciate ligament can be seen. ET : extension, FL : flexion

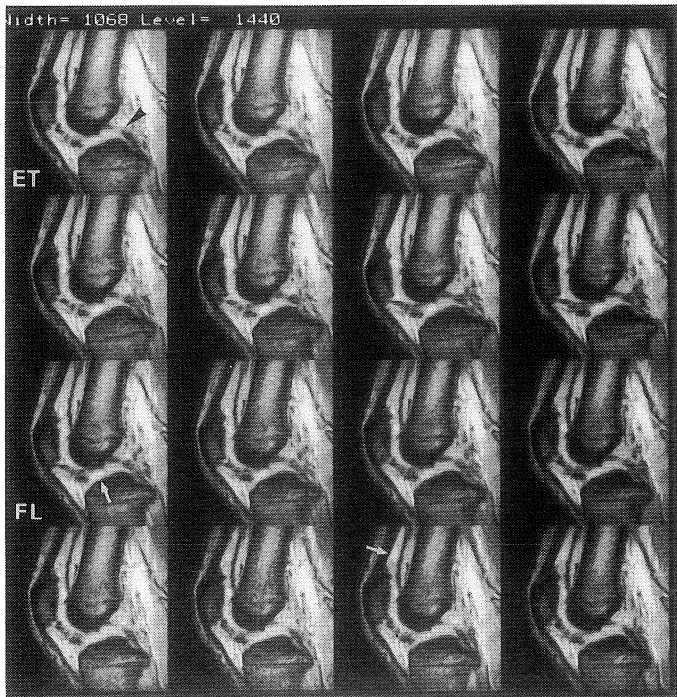


Fig. 4

Sixteen frames per cycle sagittal sequence of an injured knee. Joint fluid (arrows) moves as knee bends. Anterior cruciate ligament cannot be seen. Arrowhead: posterior cruciate ligament

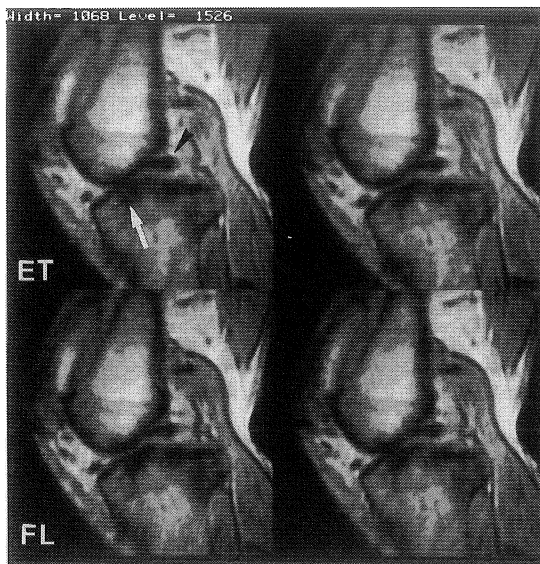


Fig. 5 Four time frames from a 16-time frame per cycle : A knee of rheumatoid arthritis with narrow joint space and articular cartilage defect. There is a irregular intensity at the tibial subchondral bone (arrow). Arrowhead : posterior cruciate ligament

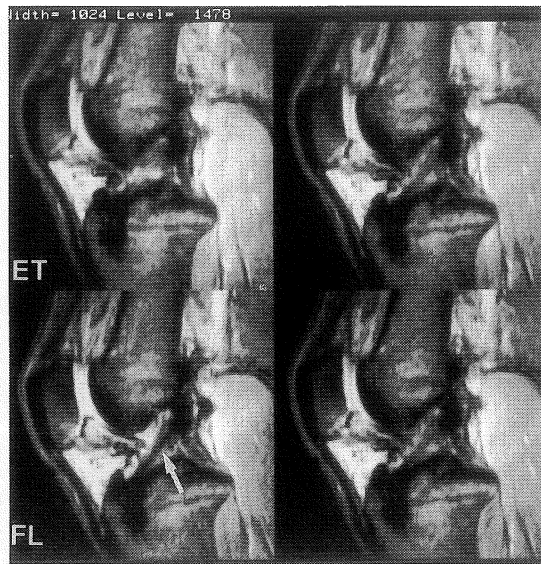


Fig. 6 Four frames from a 16-frame set per cycle : A knee after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Arrow : ligament graft

数年来関節リュウマチに罹患，現在ステロイド剤服用中)の膝であるが，関節腔狭小が著明で，運動制限がある．関節軟骨は消失し，関節液が貯留する．前十字靭帯は見えない．後十字靭帯も偏位している．膝の伸展にて大腿骨と脛骨が軟骨なしに直接に接触しており，骨皮質下に欠損が見られる．運動制限のためスキャン中，円滑な動作ができなかったため，やや不鮮明な画像となっている．

Fig. 6 は前十字靭帯再建後の膝である (22 歳男性，1 年前に前十字靭帯完全断裂に対し，靭帯移植術を施行)．関節腔が開大しており，移植靭帯は屈曲時にその太さを増す．若干の関節液の貯留がある．

4. 考 察

動作中にある関節を画像化する試みは，各々の静止画像をディスプレイ上で“dynamic”に表示させる方法があるが，膝以外では顎関節に見られる程度である¹⁴⁾．

Fig. 7 は今回我々の開発した cine 画像と，静止画像の対比を同一膝の同一スライスで比較したものである．関節鏡で確認された関節液の貯留は，cine 画像でははっきり見られるにもかかわらず，同一スライスの静止画像では見られない．これは，静止状態のために関節包に伝わる圧力が変化し，関節液の分布が変わるためであろう．しかし，歩行障害など，臨床的には，その動作時における膝内部の状態が重要なのであって，静止画像では，決して描出できない．また，静

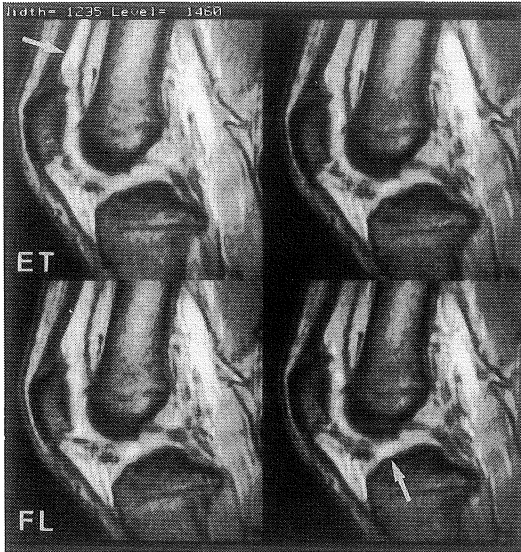


Fig. 7-A

止画像は、画像毎に若干その位置を変えており、連続的にディスプレイさせると動きにブレが生じ、cine 画像の様なスムーズな動作を示さない。

今回の試作システムでは、関節の可動域が約 15 度と狭く、膝蓋骨や、前十字靭帯、後十字靭帯にわずかな動きしか得られなかった。ガントリ内の広さの制限はあるが、さらに振幅の得られる駆動法を開発することによって、より有用な画像が得られると思われる。

現在、実際に動作中にある関節の画像化としては、X 線透視のみであるが、これは、骨と一塊の軟部組織としてしか見られない。関節液、軟骨、靭帯を描出できる MRI を用いて、初めてこれらの画像的評価が可能になる。Patellofemoral joint などの関節軟骨の接触や滑り、関節液の貯留や移動が、一目でわかる。靭帯については、膝の屈伸に伴う位置や形状の変化により、断裂や偏位が判明する。再建術後の靭帯の評価も可能である。足関節や肘関節など他の関節や、頸椎などにも応用できるとと思われる。

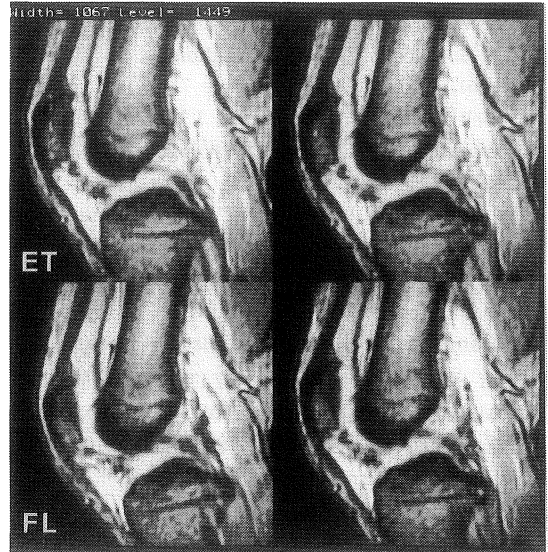


Fig. 7-B

Fig. 7-A, Four time frames from a 16-frame set : Same knee as in Fig. 4.

7-B, Four static images by GRASS sequence (TR/TE=66/15 msec, flip angle=30°) . These incremental static images at the same position as in Fig. 7-A, fails to show to-and-fro motion of the joint fluid (arrows in Fig. 7-A).

実際に動作中にある関節の cine MRI 画像が得られたことによって、関節液、軟骨、靭帯の動的解析が可能になり、これらの画像診断に寄与することが期待される。

文 献

- 1) Beltran J, Noto AM, Mosure JC, et al.: The knee: surface-coil MR imaging at 1.5T, *Radiology*, 159 : 747-751, 1986.
- 2) Burk DL, Kanal E, Brunberg JA, et al.: 1.5-T surface-coil MRI of the knee, *AJR*, 147 : 293-300, 1986.
- 3) Reicher MA, Hartzman S, Duckwiler GR, et al.: Meniscal injuries: detection using MR imaging, *Radiology*, 159 : 753-757, 1986.

- 4) Gallimore GW, Harms SE. : Knee injuries : high-resolution MR imaging, *Radiology*, 160 : 457-461, 1986.
- 5) Beltran J, Noto A, Herman LJ, et al. : Joint effusions : MR imaging, *Radiology*, 158 : 133-137, 1986.
- 6) Lee JK, Yao L, Phelps CT, et al. : Anterior cruciate ligament tears : MR imaging compared with arthroscopy and clinical tests, *Radiology*, 166 : 861-864, 1988.
- 7) Herman LJ, Beltran J. : Pitfalls in MR imaging of the knee, *Radiology*, 167 : 775-781, 1988.
- 8) Mink JH, Levy T, Crues JV. : Tears of the anterior cruciate ligament and menisci of the knee : MR imaging evaluation, *Radiology*, 167 : 769-774, 1988.
- 9) Harms SE, Muschler G. : Three-dimensional MR imaging of the knee using surface coils, *J Comput Assist Tomogr*, 10 (5) : 773-777, 1986.
- 10) Spritzer CE, Vogler JB, Martinez S, et al. : MR imaging of the knee : preliminary results with a 3DFT GRASS pulse sequence, *AJR*, 150 : 597-603, 1988.
- 11) Tyrrell RL, Gluckert K, Pathria M, et al. : Fast three-dimensional MR imaging of the knee : comparison with arthroscopy, *Radiology*, 166 : 865-872, 1988.
- 12) Riederer SJ, Tasciyan T, Farzaneh F, et al. : MR fluoroscopy : technical feasibility, *Magn Reson Med*, 8 : 1-15, 1988.
- 13) Shellock FG, Mink JH, Fox JM. : Patellofemoral joint : kinematic MR imaging to assess tracking abnormalities, *Radiology*, 168 : 551-553, 1988.
- 14) Blaser S, Lorig R, Piranio D, et al. : Pitfalls in static and motion MR imaging of the TMJ, presented at 7th Meeting of Soc. Mag. Res. Med., 1988.

Kinematic Analysis of the Knee Joint by cine MRI

MAMORU NIITSU,* MASAYOSHI AKISADA,* IZUMI ANNO*
KUNIHICO MATSUMOTO,* SHIN-YA KUNO,*
SHUNPEI MIYAKAWA**
TAMON INOUYE,*** KATSUMI KOSE***

**Department of Radiology, Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba
1-1-1 Tennohdai, Tsukuba-shi Ibaraki 305 Japan*

***Department of Orthopedics, Institute of Clinical Medicine, University of
Tsukuba*

****Institute of Applied Physics, University of Tsukuba*

In order to obtain the MR imaging of a moving knee joint, we developed a drive system of the knee. A reciprocating reversible motor with a rope and pulleys drove a knee brace with the knee bending and extending every two seconds. Using photo sensor probe for gating cine acquisition, we got 16-time frames/cycle MR images.

Such as articular cartilage, ligaments and synovial fluid, the fine components of a moving knee joint were clearly seen. In a dynamic display, these cine images demonstrated "actual" movement of the knee joint. Moving joint fluid and defect of anterior cruciate ligament were demonstrated in the case of knee injury. These findings were not seen on static images.

Cine MR imaging was also helpful for evaluating the chronic joint disease and ligament reconstruction.

Through the use of the present drive system and cine acquisition, dynamic MR imaging of a moving knee joint is clearly demonstrated and it may provide useful information in the kinematic analysis of the normal and pathologic knee.