

撮像と読影のポイント：膝関節

新津 守

首都大学東京健康福祉学部放射線学科

はじめに

膝は加齢や変性、外傷で最も傷害されやすく、かつ検査頻度の高い関節の一つである。変形性膝関節症などに代表される膝の加齢、変性による損傷は、超高齢化社会に急速に突入しつつある我が国にとって、高齢者の QOL を維持する上で、緊急の課題である。また膝の外傷は心血管障害のようにその診断・治療に一刻を争うものではないものの、受傷時の的確な診断がその後の治療方針決定、早期回復に直結する。本稿は限られた紙面ではあるが、膝の MRI の撮像方法、および前十字靭帯と内側側副靭帯の読影のポイントについて概説する。

膝 MRI の撮像方法のキーポイント

① コイル内で膝を少しでも曲げる

膝 MRI で最大のターゲットは前十字靭帯 (ACL) である。ACL は後十字靭帯 (PCL) に比べて線維自体の細さやその小さな附着部などの解剖的脆弱性に起因して受傷頻度が高い¹⁾。ACL 断裂は初期診断に失敗するとその後半月板、軟骨損傷、そして変形性膝関節症へと進行し、スポーツのみならず日常生活にも多大な支障を来し、その臨床的重要性は高い。更に ACL は靭帯自体が細くかつ若干のねじれを伴い、大腿骨顆間部を斜走するため PCL に比べてその MRI 描出能は極めて悪い²⁾。したがって膝の MRI 検査では ACL の描出に最大限の

努力を払うべきである。

臨床用 MR 機に付属する膝コイルは円筒形の場合が多い。これにメーカーのマニュアルどおりにセットすると膝は伸展位、極端な場合は過伸展で保持される傾向が強い (Fig. 1a)。これに対しパット等を工夫することにより膝は最大 30 度、平均約 15 度の軽度屈曲位をとることは可能である (Fig. 1b)。完全伸展や過伸展膝の MRI 矢状断像では、①顆間窩上端の骨縁と ACL 前縁が密着して靭帯の全体像の把握が困難。特に前縁は anteromedial bundle (ACL の 2 本の主要な線維束のうちの一つ、他は posterolateral bundle) の走行部位であり、ACL 損傷の多くはこの線維束が断裂する。②ACL の大腿骨附着部の描出が、大腿骨外顆内側面との partial volume により不鮮明となる。この大腿骨附着部は脛骨附着部に比べて解剖的に脆弱であり断裂が好発する¹⁾。これに対し、膝を軽度屈曲することにより、ACL 前縁は顆間窩上端の骨縁と離れ靭帯の全容が描出され、かつ大腿骨附着部がより明瞭となる³⁾ (Fig. 2)。この軽度屈曲位により、描出が困難とされる ACL の部分断裂の診断にも非常に有用となる。

② 矢状断設定での注意点

膝 MRI の矢状断の設定で注意すべきことは、顆間窩を後外側から前内側へ斜走する ACL の長軸に、必要以上にスライス面を合わせようとしないうことである。MRI 創成期にはスライス厚は 5~7 mm と厚く、前十字靭帯を 1 枚のスライスに納めようとする傾向があっ

キーワード MRI, knee joint, ligament, meniscus, cartilage

膝関節



Fig. 1. Knee coil and the positioning. After packing the knee inside the knee coil tightly, the knee tends to be fully-extended or hyper-extended position (a). With a small pad below the knee (arrow) and remove the ankle holder, knee can be flexed average 15 degrees (b).

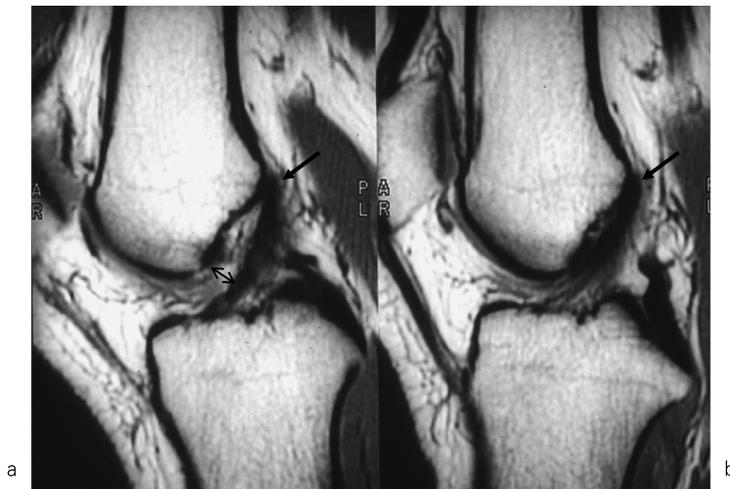


Fig. 2. Slightly-flexed knee (a) and extended knee (b). Compared to the extended position, flexed position enables the entire visualization of the ACL, including the anterior border of the ligament (dual arrow) and the femoral attachment (arrow).

た。その場合、矢状断を外側顆の内側壁に平行に設定してしまうと、出来上がった斜矢状断像では外側顆の partial imaging が強調された画像になってしまう (Fig. 3)。MRI の性能の向上した現在では前十字靭帯の全長を 1 枚ではなく数枚の矢状断スライスで確認するのが主流であり、したがって極端に「斜」矢状断になら

ないように心がけるべきである²⁾。

③ T₁強調よりもプロトンに近い中間的画像、そして水高信号画像

靭帯や半月板の描出を主目的とする膝 MRI の場合、T₁強調画像は意義が少なく、プロトンにちかい中間的画像の方が周囲の軟骨や関節液とのコントラストが付きやすい (Fig. 4)。た

2009年8月13日受理

別刷請求先 〒116-8551 東京都荒川区東尾久7-2-10

首都大学東京健康福祉学部放射線学科 新津 守

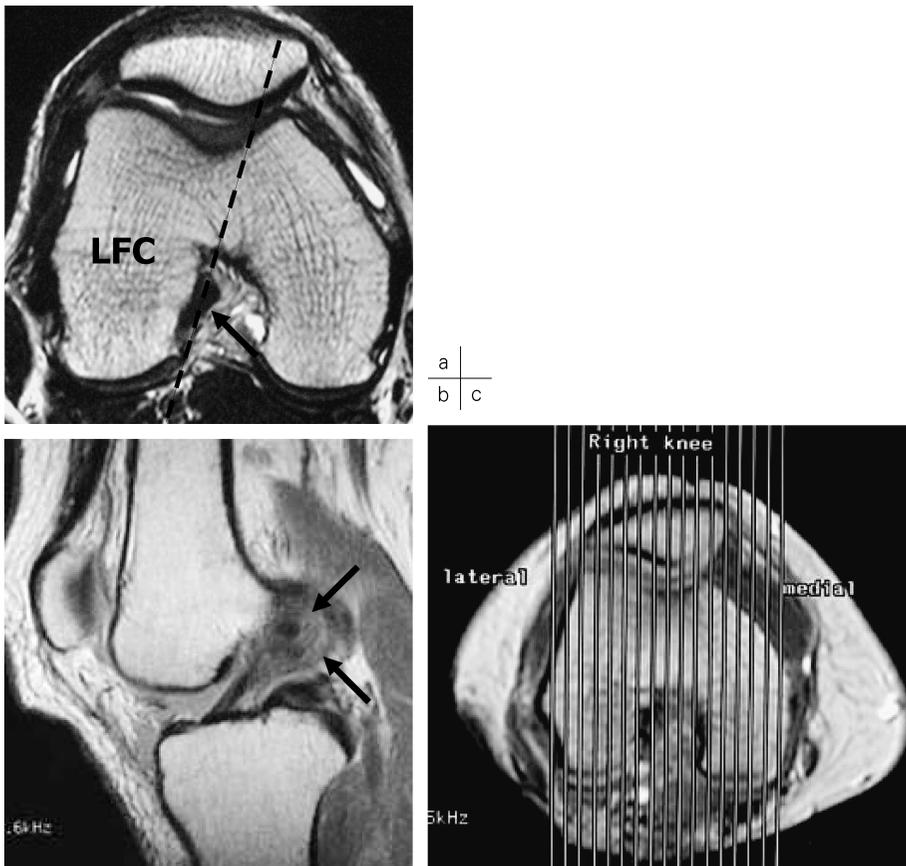


Fig. 3. Slice prescription from axial image. The ACL is attached to the medial wall of the lateral femoral condyle (LFC) (arrow, a). If sagittal images are set parallel to the medial wall of the LFC (dotted line, a), the resultant image includes partial volume artifact from the LFC (arrows, b). The sagittal images should be prescribed as like true sagittal direction as in Fig. 3c.

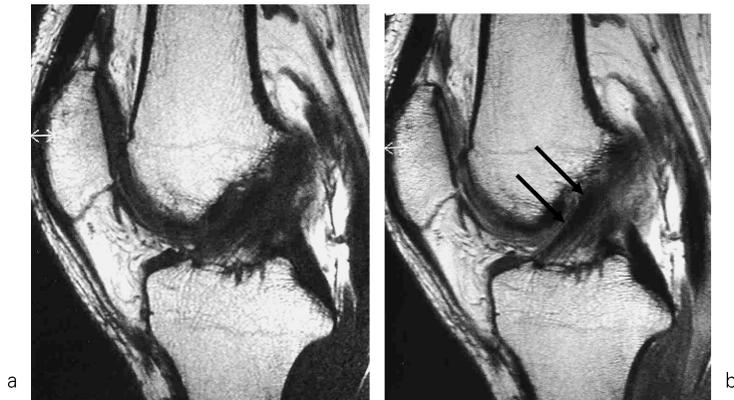


Fig. 4. T₁-weighted (a) vs. “proton-weighted like” sequence (b). ACL is more readily demonstrated in “proton-weighted like” imaging (FSE 1324/17 ET 5) (arrows, b) than in T₁-weighted imaging (SE 350/14).

だしプロトン強調画像で fast spin echo (FSE) 法を使用する場合は echo train length を最小限 (多くても 5 か 6 程度) に抑えて blurring を回避するべきである。

さらに FSE 法による「プロトン強調画像」で、エコートレインの最後に -90 度パルスを加えて縦磁化を強制的に回復する手法 (DRIVE (Philips), FRFSE (GE), RESTORE (Siemens), T₂ Plus (東芝) など) を用いると、比較的短い TR でも T₂ 強調のコントラストを強調できる。関節液を高信号とすることにより (これはもはや「プロトン強調」とは呼べないが)、軟骨や靭帯、半月板の描出能が向上する (Fig. 5)。

前十字靭帯 (ACL)

1. ACL 完全断裂

ACL 完全断裂は靭帯線維の完全な途絶で、その約 7 割が ACL の中央部での断裂 (Fig. 6)、次いで大腿骨付着部が約 2 割 (Fig. 7) で、脛骨付着部の完全断裂は少ない。これは脛骨付着部に比べて大腿骨付着部は靭帯線維の接地面積が小さく、解剖的に脆弱である点に起因する¹⁾。MRI で ACL 完全断裂は靭帯線維の不連

続を示し、急性期の場合は浮腫性腫張を伴う。ACL 完全断裂の診断は比較的容易であり正診率は 90%以上とされる。

2. ACL 部分断裂

ACL 部分断裂は、諸家によりその定義が異なるが、anteromedial bundle と posterolateral



Fig. 6. ACL complete tear, mid portion (arrow), 24 years-old male, proton-weighted image.



Fig. 5. “proton-weighted like” imaging with (a) and without (b) water-enhancement. Multiple cartilage defects are demarcated in Fig. 5a.

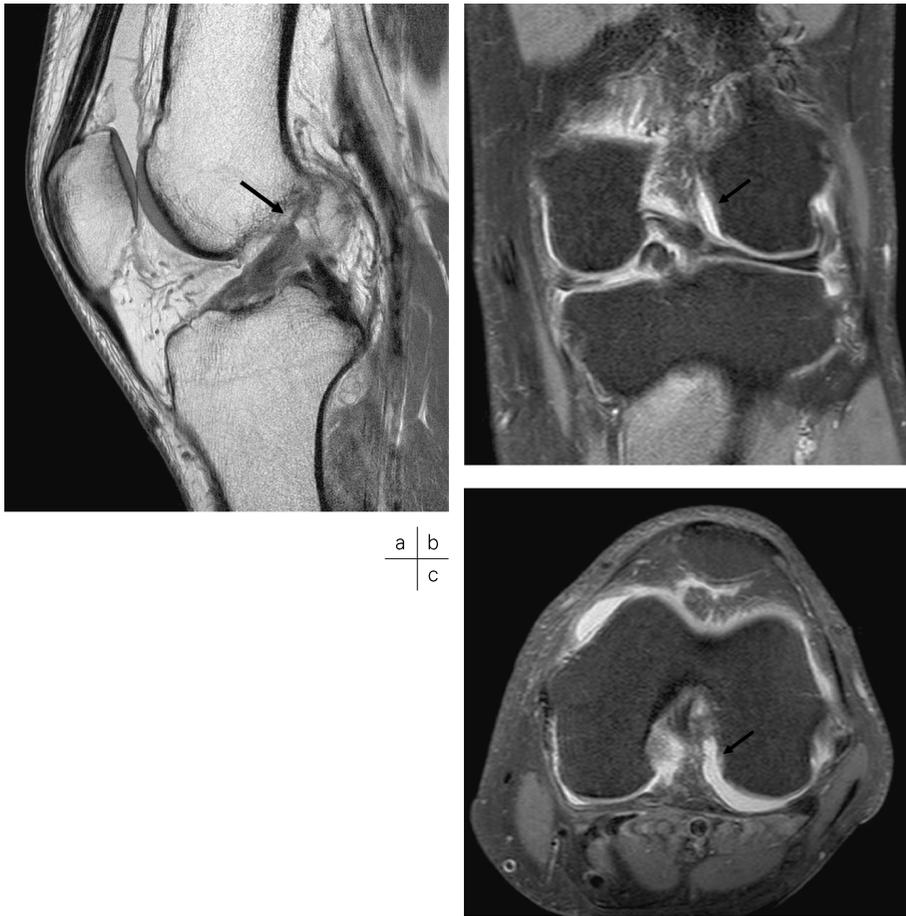


Fig. 7. ACL complete tear, femoral attachment, 30 years-old male. In sagittal section, the femoral attachment seems to be ruptured (arrow, a), however, not deterministic. In coronal (b) and axial (c) images, the site of femoral attachment is replaced by fluid retention, which concludes complete tear of the ligament.

bundle の一方, またはさらにそれらの一部分の断裂とされる. その MRI 診断は非常に難しいと言われる⁴⁾. 靭帯内部の限局的高信号や靭帯の不自然な屈曲などが唯一の所見であることが多い. いずれも微細な所見であり, 特に急性期で浮腫や出血, 反応性滑膜増殖等を伴う場合は完全断裂との識別は困難なことが多い. ACL 部分断裂の診断能を向上するためには, 前述のように膝を軽度曲げ, ACL 前縁をうまく描出するとともに, 横断像などを活用して多

断面で総合診断すると診断能は向上する (Fig. 8).

内側側副靭帯 (MCL)

1. 膝内側の3層の支持構造

膝内側の支持構造は3層に分けられる⁵⁾. 第1層: 縫工筋筋膜を主体とした筋膜層. 第2層: MCLの表層. これがいわゆるMCLの本体となり, 関節裂隙の5cm上方の大腿骨内顆



Fig. 8. ACL partial tear, 51 years-old male. In sagittal T_2^* -weighted image, the entire length of the ACL appears bright and swollen, and is indicative of ligamentous tear (arrow, a). In axial T_2 -weighted image, partial tear with ligamentous discontinuity is identified near the femoral attachment (arrow, b). A large medial synovial fold is also demonstrated (dotted arrow, b).

から、下方は7~8 cm 下方の脛骨骨幹端内側部に付着する。第3層：MCL 深層。MCL 深層は内側半月板に付着し、半月板と大腿骨、脛骨を連絡するため、各々、menisiofemoral, menisotibial ligament と呼ばれる。MCL の浅層と深層の間は線維脂肪織があり、小さな滑液包も含まれる。第2層のMCL 浅層以外は極めて微細な構造であり、通常のFOVが150 mm 程度の画像では描出されないことが多い。マイクロスコープコイルを用いた1.6 mm 厚、50 mm FOV の高分解能画像では明瞭に描出される (Fig. 9)。しかし MCL とその周囲に損傷があり、関節液や浸出液が貯留すると通常の画像でも描出されるようになる。

2. MCL 損傷

MCL 損傷は膝の靭帯損傷の中では最も頻度が高く、多くは下腿の外反により生じる。MCL 断裂は臨床的に以下の三つの grade に分類される。grade 1：微細断裂（靭帯の elongation が主体で、MCL 自体の連続性は保たれ、機能的な障害にはほとんど至らない) (Fig. 10), grade 2：部分断裂 (Fig. 11), grade 3：完全断裂。MCL 損傷 grade 2 と 3 の区別、部分断

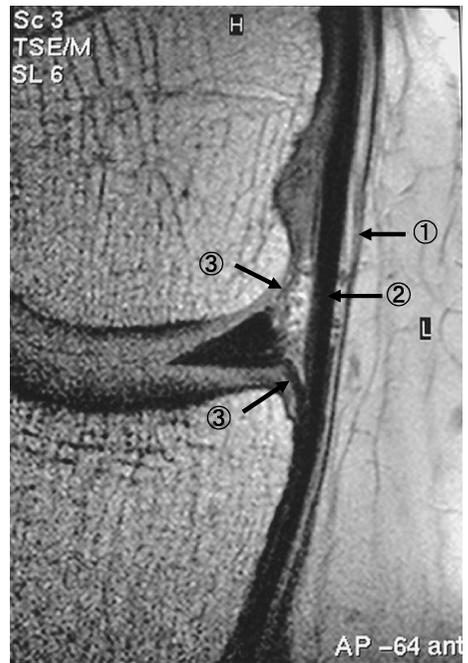


Fig. 9. Three-layers structure of the medial aspect of the knee. In high-resolution proton-weighted image by using microscopy coil (1.6 mm slice thickness, 50 mm FOV), ①fascial layer, ②superficial layer of the MCL, ③deep layer of the MCL are identified.



Fig. 10. MCL injury (grade 1), 26 years-old male. In T_2^* -weighted coronal image, edematous change is spread along the superficial layer of the MCL (arrows).



Fig. 11. MCL injury (grade 2), 25 years-old male. In fat-suppressed proton-weighted coronal image, partial tear is revealed with ligamentous irregularity (2), as well as injury to the deep layer of the MCL (3). Disruption of the fascial layer is also demarcated (1).

裂と完全断裂の鑑別はMRI上困難な場合も多く、また臨床上也それを必要としない場合も多い。

MCL 損傷は膝への外反強制による靭帯損傷であり、画像診断では「いわゆる MCL」と呼ばれる MCL 浅層の損傷の程度をまず評価する。より薄いスライス、高分解能画像を用いると MCL 深層の損傷も描出され、すなわち関節包の合併損傷もチェックするようにする。さらに筋膜層の評価も行う。このように膝内側には MCL 浅層以外にも多層構造が存在することを認識し、半月板の診断と同様にこれらの描出と診断に努めるべきである。

文 献

1) Girgis FG, Marshall JL, Monajam A : The cruciate ligaments of the knee joint. *Anatomical, func-*

tional and experimental analysis. *Clin Orthoped Relat Res* 1975 ; 106 : 216-231

- 2) 新津 守 : 膝 MRI 第 2 版. 東京 : 医学書院, 2009
- 3) Niitsu M, Ikeda K, Fukubayashi T, et al. : Knee extension and flexion : MR delineation of normal and torn anterior cruciate ligaments. *J Comput Assist Tomogr* 1996 ; 20 : 322-327
- 4) Yamato M, Yamagishi T : Can MRI distinguish between acute partial and complete anterior cruciate ligament tear? *Nippon ACTA Radiologica* 1996 ; 56 : 385-389
- 5) Warren LF, Marshall JL : The supporting structures and layers of the medial side of the knee. *J Bone Joint Surg* 1979 ; 61A : 56-62

MR Imaging of the Knee Joint

Mamoru NIITSU

*Tokyo Metropolitan University Faculty of Health Sciences
7-2-10 Higashi-Ogu, Arakawa-ku, Tokyo 116-8551*

The knee joint, one of the most frequently examined joints in clinical MR surveys, is often injured by traumatic abuse and aging degeneration. Osteoarthritis of the knee is one of the most imperative problems now confronting our rapidly aging society. Although traumatic knee injuries are not life-threatening, like heart attack, disorders of the knee certainly degrade quality of life. Early and precise diagnosis lead to early and precise treatment and, thus, good prognosis.

For MR examination, the knee should be slightly flexed to facilitate visualization of the entire length of the anterior cruciate ligament with the anterior border and femoral attachment. To demonstrate the ligament, meniscus, and articular cartilage, T₁-weighted imaging should be replaced by “proton-weighted like” sequence with moderate repetition time (TR)/short echo time (TE).