

総説

膝関節のMRI：前十字靭帯を中心にして

大和 実

独協医科大学 放射線科

MRI of the knee with emphasis on ACL

Minoru Yamato

Department of Radiology Dokkyo University School of Medicine

Abstract

MRI of the knee was reviewed with emphasis on the anterior cruciate ligament (ACL). The ACL is an intra-articular and extra-synovial structure which is composed of collagen fibers, originating from the medial aspect of the lateral femoral condyle and attaching to the anterior aspect of the tibial plateau. The ACL prevents anterior and medial translocation, and internal rotation of the tibia against the femur. The most common mechanism of ACL tear is valgus stress with internal rotation of the tibia followed by hyperextension of the knee. The direct signs of ACL tear on MRI include discontinuity, wavy contour and increased signal intensity of the ligament. The ancillary signs of ACL tear include buckling of PCL and bone bruise. The ACL tear is frequently associated with the meniscal tear, medial collateral ligament tear, and Segond fracture. The criteria of the ACL tear for the original ligament can not be applied to reconstructed ligaments.

抄録

前十字靭帯を中心として膝関節のMRIについて概説した。前十字靭帯は関節内滑膜外の構造でコラーゲン繊維の束である。大腿骨の外顆内側後部脛骨側から前方、内側、遠位へむかい、顆間隆起の前外側に付着する。脛骨の大腿骨に対する前方、内側への移動、および内旋を阻止する働きがある。ACL tearのメカニズムの内、最も多いのは外反ストレスと脛骨内旋で、直接所見は靭帯の連続性の消失、走行異常、信号強度の上昇である。ACL tearの間接所見にはPCLのbuckling、bone bruise、合併損傷には半月板損傷、内側側副靭帯断裂 (MCL tear)、セゴン (Segond) 骨折がある。十字靭帯の再建材料はさまざまであるが、元の靭帯に対する断裂の診断基準を再建靭帯にそのまま適用することはできない。

はじめに

関節の内では膝関節は股関節に続いて早くからMRの適応とされ、すでに多くの成書においても取り上げられてきた。関節疾患すべてについて限られた時間、スペースで網羅するのは困難であるので、今回は前十字靭帯に注目し、その解剖から再建靭帯の評価までを概説してみたいと思う。

1. 前十字靭帯 (ACL) の解剖、働き

ACLは関節内、滑膜外の構造である。長さは 3.5 ± 1 cm、巾、 1.1 ± 0.1 cmのコラーゲン繊維の束である。大腿骨の外顆内側面後部脛骨側から前方、内側、遠位へむかい、顆間隆起の前外側に付着する。大腿骨側の付着部は半径ほぼ1cmの半円形であるのに対し、脛骨側の付着部は前後径約3cmと細い¹⁾ (図1A、B)。靭帯の繊維は同時に螺旋状に回旋している。ACLは前内側束 (AMB) と後外側束 (PLB) の2つのコンポーネントからなる。膝伸展位ではAMBがゆるみ、PLBが緊張する。屈曲位ではその逆となり、靭帯のどこかは常に緊張している。

ACLには脛骨の大腿骨に対する前方、内側への移動、および内旋を阻止する働きがある。一方半月板は関節包、側副靭帯、腸脛靭帯、骨格の形状とともに脛骨の前方亜脱臼の二次的抑制機構となっているので、後述するようにACLに断裂がおこると、半月板後角にかかる負荷が増大し、断裂することが多くなる。

2. ACL tearのメカニズム、徒手検査

ACL tearの原因のほとんどはスポーツ外傷である。冬期はスキー外傷が多く、それ以外の季節ではサツ

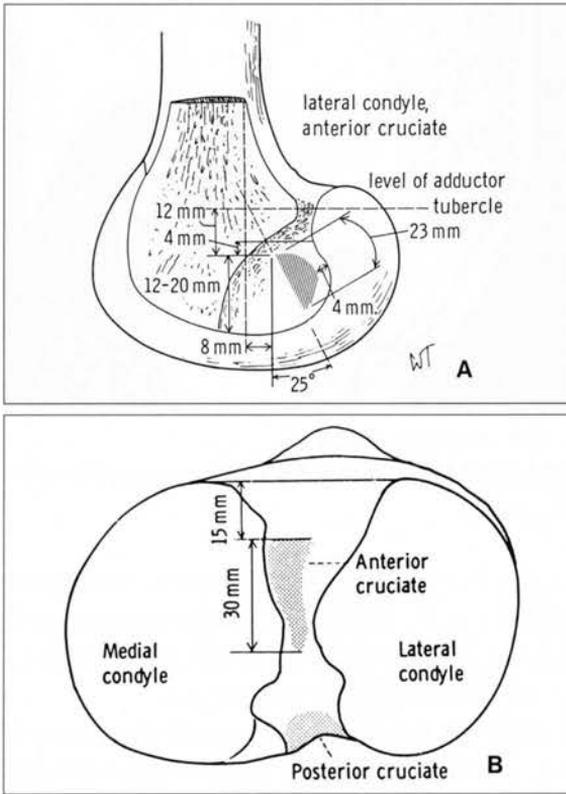


図1 前十字靭帯付着部の解剖 (文献1より引用)
 A: 大腿骨外顆を顆間窩よりみた図。前十字靭帯の付着部 (斜線で示す) は半月形である。
 B: 脛骨高原を大腿骨側から見た図。前十字靭帯の付着部 (斜線で示す) は前後に細長い。

カーやバスケットボールなどの身体の接触、衝突を伴うスポーツの頻度が高くなる。ACL tearのメカニズムの内、最も多いのは外反ストレスと脛骨内旋で、過伸展がそれに次いで多い²⁾。過進展の場合その70%はACLの単独損傷である。内反ストレスと脛骨内旋は最も少ないが、セゴン骨折 (Segond fracture) と呼ばれる脛骨外側部の剥離骨折を伴う。

問診や関節液の採取もさることながら、徒手検査がACL tearの診断上重要な役割を果たしており、放射線科医もその名前程度は知っておく必要がある。徒手検査の正診率は全身麻酔下では100%であるが、麻酔なしでは85%といわれている³⁾。

Lachman testはもっとも信頼性の高い徒手検査といわれており、膝30度屈曲位で大腿骨を固定し、脛骨を前方へ引き出す手技である⁴⁾。前方引きだしテストは膝90度屈曲位で大腿骨を固定し、脛骨を前方へ引き出す。新鮮例では痛みの為行なえないという欠点がある。

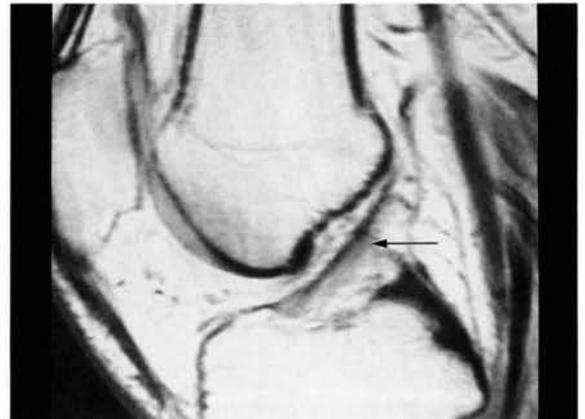


図2 正常のACLのMR像 (SE TR2000/TE20, 斜矢状断像) 正常のACLは低信号の構造で走行はほぼ直線的である (矢印)

ある。Pivot shift現象は脛骨を内旋し、外反ストレス下での外側脛骨関節面の大腿骨に対する前方亜脱臼あるいは整復を指し、この現象を発現させる為の手技が多く報告されている⁵⁾。Jerk検査、ALRI検査、Slocum検査、N(Nakajima) testなど様々なバリエーションがある。

3. ACL tearのMRI

1) 撮像法

我々は次の撮像法を最低限の検査としている。

- プロトン密度、T2強調像
(SE,TR2000/20,80,斜矢状断)
- T1 and/or T2*強調像
(SE,TR500/20 or GRE,TR400/TE16,FA15,前額断)
- FOV: 14-16cm
- スライス厚: 5mm
- ギャップ: 1mm,
- マトリックス: 192-256×256

斜矢状断は大腿骨外顆の内側面に平行な断面で、通常内外顆の後面を結んだ線に直行する面に対して10-15度の角度をなす。ACLは4-5mm厚スライスでは1スライスでしかみえない。矢状断像でよくみえないときは前額断あるいは横断像をみるか、前額断像をもとにして矢状断像を切る。3DFTをおこなってもよい。

写真をとる時は必ず拡大することが大切である。またウィンドウ巾がひろくウィンドウレベルの低い

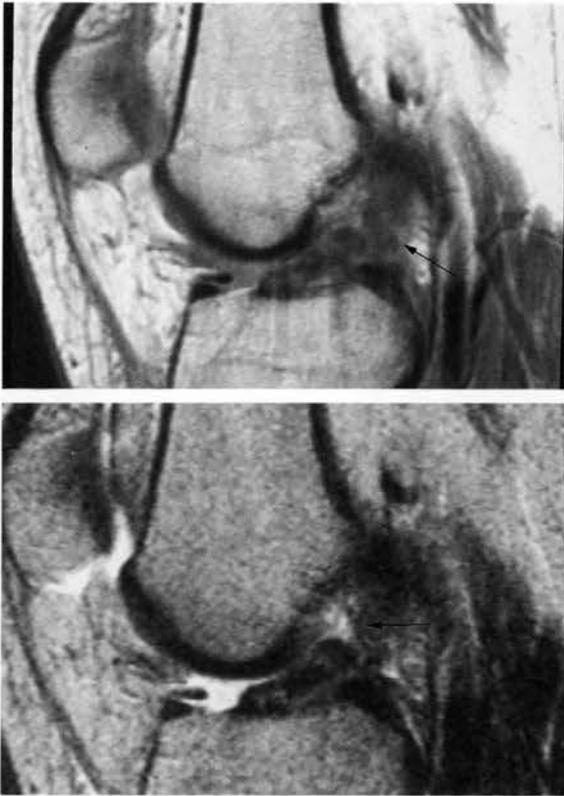


図3 前十字靭帯断裂急性期

(A: SE法, TR2000/TE20, B: SE法, TR2000/TE80, 斜矢状断像)

(上) A: 前十字靭帯の大腿骨側は不連続で、シグナルの上昇もみられる (矢印)。

(下) B: 靭帯断裂部に一致して液体の貯留がみられる (矢印)。

(すなわち白っぽい) 写真のほうが診断しやすい。

2) 正常のACL

正常のACLはスピンエコー法では低信号の帯状の構造だが、1本のひもではなく複数のコラーゲン線維の束のあつまりである (図2)。特に脛骨付着部付近では線維束が前後に広がるのでよく観察できる。

3) ACL tearの直接所見

ACL tearの直接所見は靭帯の連続性の消失、走行異常、信号強度の上昇である⁶⁾ (図3A,B)。斜矢状断のみで診断できることもあるが、自信がもてない時は、前額断や横断像も参考にするとよい。受傷後1ヶ月までを急性期と呼んでいるが、この時期には断裂部に出血と浮腫による腫瘤が形成される。

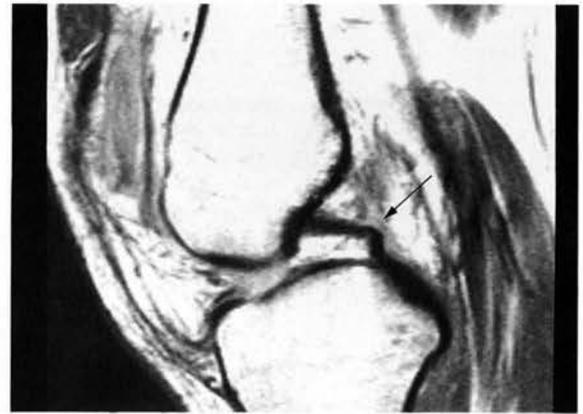


図4 buckling of PCL

脛骨の前方移動により後十字靭帯のbucklingがみられる (矢印)。

これはプロトン密度強調像では中信号、T2強調像で高信号となる。外顆のpartial volume averagingをACL tearによる断裂部の腫瘤形成と間違えることがある。ただし前者はT2強調像で低信号である。

断裂後1ヶ月以上経過すると慢性期のACL tearと呼ぶ。浮腫や出血は消退しているが、靭帯の走行が直線的でなく後方に向って凸になったり、靭帯の一部 (多くは脛骨側) だけが同定できるなどの所見がみられる。

4) ACL tearの間接所見

buckling of PCL

正常の後十字靭帯 (PCL) は後方に向って凸のゆるやかな弧を描くが、ACLが断裂すると脛骨が大腿骨に対して前方に移動するためにPCLが折れ曲がったようになることがある。これをPCLのbucklingと呼んでいる³⁾ (図4)。ACLがintactの場合でもおこりうるため、この所見だけを根拠にACL tearの診断はくたせない。

bone bruise

外傷によって生ずる骨髄内の地図状の異常信号で、T1、プロトン密度強調像で低信号、T2強調像で高信号である⁷⁾。骨髄内の出血、浮腫を反映するものと考えられている。受傷のメカニズムにより好発部位がある²⁾。

外反ストレスによる場合は大腿骨外顆の中1/3、脛骨外側顆の後ろ1/3にみられ (図5)、過伸展による場合は大腿骨遠位端、脛骨近位端の前方に生ずる (図6)。

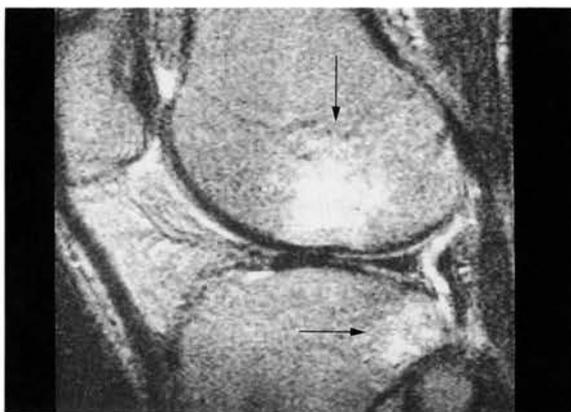


図5 前十字靭帯損傷に合併した外反ストレスによるbone bruise (SE法, TR2000/80, 斜矢状断像) 大腿骨外顆中1/3、脛骨外側顆中1/3に高信号領域がみられる (矢印)。



図6 前十字靭帯損傷に合併した過伸展によるbone bruise (SE法, TR2000/80, 斜矢状断像) 脛骨近位端の前1/3に高信号領域がみられる (矢印)。

bone bruiseがないからといってACL tearを否定することはできないが、それがあつた時はACL tearのある可能性はかなり高いのでACLの走行、連続性に充分注意する必要がある⁸⁾。

4. 合併損傷

ACL tearの70%に合併損傷がみられる³⁾。

半月板断裂

先にも述べたように、半月板は脛骨の前方亜脱臼の二次的抑制機構となっているので、ACLに断裂が



図7 前十字靭帯断裂に合併した内側半月板のバケツ柄断裂

(上) A: SE法, TR2000/20, 斜矢状断

(下) B: SE法, TR500/15, 前額断像

斜矢状断像 (A) では顆間窩に偏位した半月板の一部が後十字靭帯 (△) と同一のスライスで見られる (矢印)。この為後十字靭帯が二つあるように見える。前額断では顆間窩に偏位した半月板の一部 (矢印) があきらかで、半月板外側部 (△) は正常よりも小さい。

おこると、脛骨が前方に亜脱臼する時に半月板は脛骨、大腿骨の顆部の間に挟まれ、その結果生ずる剪断力によって半月板後角に断裂を生ずる。

半月板断裂の基準は関節面に達する線状の異常信号であるが、関節面に達しているか否かの判断が容易でないこともある。ACL tearに合併する半月板損傷は外傷性なので縦断裂のことが多い。Acute ACL tearには外側半月板の後角の断裂が合併しやすいのに

対し、chronic ACL tearでは内側半月板の断裂、特にバケツ柄断裂が多い。バケツ柄断裂は半月の長軸に沿った縦断裂で顆間窩寄りの半月板片が顆間窩に向って偏位すると丁度バケツとバケツの柄のようにみえることからこの名がある。バケツ柄断裂のほとんどはACL tearに合併する。(図7A,B)

内側側副靭帯断裂 (MCL tear)

ACL tearは外反ストレスによることが多いので、内側側副靭帯断裂の合併頻度は高い。前十字靭帯断裂、半月板損傷、内側側副靭帯損傷の合併を不幸な三徴(unhappy triad)あるいはO'Donoghue's triadと呼んでいる。MR所見は基本的にはACL tearと同様で、靭帯の不連続化、信号強度の上昇がみられる。

セゴン(Segond) 骨折(lateral capsular sign)

脛骨の外側関節包付着部の剥離骨折のことで、比較的稀な骨折である。原因はスキー、バスケットボールなどのスポーツ外傷で、受傷機転は内旋、内反ストレスといわれている。前十字靭帯の断裂を高率(75-100%)に合併する^{9,10)}。半月板損傷や他の膝靭帯損傷の合併も稀ではない。

5. ACL再建術後のMRI

ACLの再建材料は様々で、自家組織(膝蓋腱、腸脛靭帯、半腱様筋腱、薄筋腱)、人工材料(Dacron, Gore-tex, Leeds-Keio)等が使われている。再建材料の種類が多いのはいずれも一長一短でこれぞといった材料のないことの表れであるが、そのなかでいわゆるgold standardとされているのが、膝蓋腱中1/3を使った再建術である。

米国の報告では、膝蓋腱で靭帯再建をおこなった場合、再建靭帯はMRIで低信号帯となるとされている¹¹⁾。

Howellらは再建靭帯の遠位2/3に信号強度の上昇がみられた例を報告し、これは脛骨側の骨孔の位置が理想的な位置よりも前方にあるので顆間窩の天井に靭帯が当たる(impingement)為と述べている¹²⁾。

我々の経験(膝蓋腱)では、全く低信号帯を認めない例は術後成績が不良なことが多かったが、成績の良好な群にも再建靭帯の一部分のみが低信号である症例もあった。したがって、オリジナル十字靭帯に対する断裂の診断基準を再建靭帯にそのまま適用することはできないと考えている¹³⁾。

本論文の要旨は第22回断層映像研究会において教育講演として発表した

参考文献

- 1) JA Feagin, Jr, The Cruciate Ligaments. Diagnosis and Treatment of Ligamentous Injuries about the Knee. Churchill Livingstone, New York, pp179-195, 1988
- 2) EM Remer, SW Fitzgerald, H Friedman et al. Anterior Cruciate Ligament Injury: MR Imaging diagnosis and Patterns of Injury. Radiographics 12:901-915, 1992
- 3) JH Mink, MA Reicher, JC Cruess III, Magnetic Resonance Imaging of the Knee, Raven Press, New York, pp93-111, 1987
- 4) M Strobel, H Stedtfeld, Diagnostic Evaluation of the Knee. Springer-Verlag Berlin, pp99-165, 1990
- 5) 広谷 速人、田中 清介、監訳 整形外科シラバス 自己研修のための最新知識 南江堂 東京、pp321-328, 1987
- 6) TH Berquist, MRI of the Musculoskeletal System, 2nd Ed. Raven Press, New York pp195-251, 1990
- 7) Mink JH, Deutch AL: Occult cartilage and bone injuries of the knee: Detection, classification, and assessment with MR imaging. Radiology 182:221-224, 1989
- 8) 大和 実、山岸 恒雄、小林 剛: 前十字靭帯断裂に伴う bone bruise の MR imaging. 日医放会誌53 (1), 23-27, 1993
- 9) Dietz GW, Wilcox MW, Montgomery JB: Segond tibial condyle fracture: Lateral capsular ligament avulsion. Radiology 159: 467-469, 1986
- 10) Goldman AB, Pavlov H, Rubenstein D: The Segond fracture of the proximal tibia: A small avulsion that reflects major ligamentous damage. Am J Roent 151: 1163-1167, 1988
- 11) KM Rak, SD Gillogly RA Schaefer, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Evaluation with MR Imaging. Radiology; 178: 553-6, 1991
- 12) SM Howell, GS Berns, TE Farley. Unimpinged and Impinged Anterior Cruciate Ligament Grafts: MR signal Intensity Measurements. Radiology; 179: 639-43, 1991
- 13) M. Yamato, T Yamagishi. MRI of patellar Tendon Anterior Cruciate Ligament Autografts. JCAT; 16: 604-607, 1992

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（社）学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619