MRI T2 マッピングを用いた膝前十字靭帯損傷 における関節軟骨の評価

石原 康平* 王 寺 享 弘* 松 田 秀 策*

Evaluation Using MRI T2 Mapping of the Articular Cartilage after Anterior Cruciate Ligament Injury in Young Athletes

Kohei Ishihara*, Toshihiro Ohdera*, and Shusaku Matsuda*

【はじめに】アスリートにおける膝前十字靭帯（以下 ACL）損傷は軟骨障害を合併していることも稀でない。今回若年アスリートの ACL 損傷に対し MRI T2 マッピングを用いた軟骨の評価を行ったので報告する。【対象及び方法】2010 年 6 月～8 月の 3 ヶ月間に当院で ACL 再建術を行った 31 例 31 膝のうち 20 代までのアスリート 17 例 17 膝（男性 11 例，女性 6 例），手術時平均 19.1 歳（15～26 歳）を対象とした。プロ 1 例，社会人リーグ 2 例，大学 1 例，高校 6 例，中学 2 例。残り 5 例は就職後もスポーツ継続している症例であった。術前に MRI T2 マッピングを施行し，関節鏡による軟骨所見と比較検討を行った。【結果及び考察】T2 マッピングにて T2 高値を認めた 10 例中，鏡視で 6 例に軟骨損傷を認めた。一方 T2 マッピングにて T2 正常の 7 例中，鏡視で軟骨損傷を認めたのは 1 例のみであった。T2 マッピングは非侵襲的に軟骨の質的評価が可能で，アスリートにおいても有用な検査となると思われる。

Articular cartilage damage coexisting in the anterior cruciate ligament (ACL) injury in young athletes is not rare. We evaluated the conditions of the articular cartilage using MRI T2 mapping method and compared the results with the findings of arthroscopy. From June to August in 2010, we performed ACL reconstruction in 31 patients. We selected 17 cases (eleven men and six women, mean age 19.1 years old), all of whom were athletes and the under 29 years old. Articular cartilage damage was observed in six out of 10 cases, and their T2 values were high on MRI T2 mapping. On the other hand, damage was observed only in one out of seven cases, and T2 values were in the normal level of the mapping. Using MRI T2 mapping, we can evaluate the articular cartilage at an early phase noninvasively. MRI T2 mapping is useful and effective for athletes.

Key words : MRI T2 mapping (MRI T2 マッピング), anterior cruciate ligament (前十字靭帯), articular cartilage injury (関節軟骨損傷)

はじめに

変形性膝関節症や膝前十字靭帯（以下 ACL）損傷などに合併した軟骨損傷を従来は脂肪抑制法を併用したプロトン密度強調像や T2 強調像にて評価していたが¹⁾，主に剥離した軟骨と骨髄の間に介在する関節液を捉えたり，形態学的異常を捉えたりする方法のため，早期の質的評価は困難であった。ACL 損傷に軟骨損傷が合併することは稀でなく，急性期で 14～23%，

慢性期では 37.8～54% などと報告されている²⁾³⁾⁹⁾。変性早期の軟骨は水分含有量の増加やコラーゲン配列の不規則化により T2 値が延長するという特徴を持つ。MRI T2 マッピングはそのような特徴を生かし，定量された T2 値をもとにカラーコーティングを行うことで変性軟骨部位を可視的に評価することの出来る撮像法である¹¹⁻¹³⁾。若年アスリートの ACL 損傷例に対し，再建術前の MRI T2 マッピングと再建術時の関節鏡所見の比較検討を行い，T2 マッピングの有用性

* 福岡整形外科病院 Fukuoka Orthopaedic Hospital, Fukuoka, Japan

について報告する。

対 象

2010年6月から8月の3ヶ月間に施行したACL再建術は31例31膝であった。そのうち30歳未満のアスリート17例17膝（男性11例11膝、女性6例6膝）を対象とした。手術時平均年齢は19.1歳（15～26歳）であった。

レベル別ではプロスポーツ選手1例、社会人リーグ2例、大学生1例、高校生6例、中学生2例であり、残りの5例は学生時代行っていたスポーツをレクリエーションレベルではあるが継続している症例であった。

競技別ではサッカー5例、バスケットボール5例、ラグビー2例、柔道1例、クラシックバレエ1例、バドミントン1例、マリンスポーツ1例、バトントワリング1例であった。バトントワリングの症例のみ登山中の受傷で、その他は競技中の受傷であった。

方 法

MRIはGEメディカルシステム社のSigna HDx (1.5T)を用いた。マッピングには付属ソフトのCartigramを使用し、スライス厚は6mm、撮像時間は約4分である。

ACL再建術前にT2マッピングを施行し、関節鏡による軟骨所見と比較検討を行った。T2マッピングは冠状断像を用い、大腿骨内外顆、脛骨内外顆に関心領域（region of interest, 以下ROI）を設定し、T2値の定量を行った。ROIの設定に関しては軟骨下骨を含まないよう留意した。以前の報告に準じ、今回の

撮像法によるT2値の正常値は30～55msecと設定した⁴⁾。

また、関節鏡による軟骨の評価はOuterbridgeの分類を用いた⁷⁾。grade Iで早期変性を示すsofteningは、プローブを用いた徒手的な圧迫で1mm以上関節面が陥凹することと定義した。

結 果

受傷からT2マッピング撮像までの期間は平均6.5ヶ月（3日～72ヶ月）であった。内訳は、6週以内8例、6週以降3ヶ月以内4例、3ヶ月以降6ヶ月以内2例、6ヶ月以降1年以内2例、1年以降1例である。また、T2マッピング撮像からACL再建術までの日数は平均6.4日であった。

17例中10例でT2高値を示した。そのうち関節鏡で6例に軟骨損傷を認めた（Table 1）。そのうちOuterbridgeの分類ではgrade Iが1例、grade IIが5例であった。残りの4例には軟骨損傷は認められなかった。

一方T2値が基準値内であった7例のうち、1例に軟骨損傷を認めた。Outerbridgeの分類ではgrade Iのsofteningであった。残りの6例には軟骨損傷は認められなかった。

代表的症例供覧

症例1：15歳女性、右ACL、外側半月板損傷。バスケットボール中の受傷で、受傷からマッピングまで9日、鏡視まで17日であった。T2マッピングでは大腿骨内側顆の荷重部にT2高値を示している（Fig. 1）。

Table 1 T2マッピングにてT2高値を示した症例

年齢、性別	診断名	T2高値部位	AS Grade 分類	AS 所見
13歳女性	ACL+LM 損傷	MFC, LFC	II	erosion
15歳女性	ACL+LM 損傷	MFC	II	fissuring
16歳男性	ACL 損傷	MFC	II	fissuring
19歳女性	ACL 損傷	MFC	II	fissuring
23歳男性	ACL+MCL 損傷	MFC	II	fissuring
18歳男性	ACL+LM 損傷	LFC	I	fibrillation
16歳男性	ACL 損傷	LFC	0	normal
19歳男性	ACL+LM+MCL 損傷	MFC, LFC	0	normal
26歳男性	ACL+MCL 損傷	LFC	0	normal
26歳女性	ACL 損傷	MFC	0	normal

(MM：内側半月板，LM：外側半月板，MCL：内側側副靱帯，MFC：大腿骨内側顆，LFC：大腿骨外側顆)

Fig. 1 15歳女性, 右ACL, 外側半月板損傷. T2 マッピングにて内側顆に高値を認める.

Fig. 3 26歳男性, 右ACL, 内側半月板損傷. T2 マッ

Fig. 2 ACL 再建時の鏡視所見. grade II の fissuring を呈している.

Fig. 4 ACL 再建時の鏡視所見. grade I の softening を呈している.

脂肪抑制では明らかな軟骨損傷は指摘できなかった。鏡視では Outerbridge 分類 grade II の fissuring を呈していた (Fig. 2)。

症例 2: 26 歳男性, 右 ACL, 内側半月板損傷。マリンスポーツ中の受傷で, 受傷からマッピングおよび鏡視まで 3 ケ月であった。T2 マッピングでは T2 高値は認めなかったが, 鏡視にて Outerbridge 分類 grade I の softening を呈していた (Fig. 3, 4)。

考 察

近年進歩してきた関節軟骨の評価法として, 今回使用した MRI T2 マッピングの他に遅延相軟骨造影 MRI, MRI T1rho マッピングなどが挙げられる。遅延相軟骨造影 MRI はガドリニウム造影剤を用いて, MRI T1rho マッピングは造影剤を用いることなくスピン格子緩和データを測定することで, どちらも関節

軟骨中の glycosaminoglycan (GAG) 濃度を定量的に評価する方法である⁸⁾。一方 MRI T2 マッピングは造影剤を用いることなく、増加した水分含有量や不規則となったコラーゲン配列により延長した T2 値を測定し、軟骨の変性を評価する方法である¹¹⁻¹³⁾。

MRI T2 マッピングなど T2 値を計測して評価する方法には問題点も存在する。今回 T2 高値を示しながらも関節鏡にて明らかな所見が無かった 4 例であるが、2 例が外顆顆間寄り、1 例が内顆顆間寄りで高値を示し、残りの 1 例が両顆の顆間寄りで高値を示した症例であった。早期変性を捉えた可能性も考えられるが、Magic Angle Effect により高値を示した可能性も否定できないと思われる。Magic Angle Effect とはコラーゲン配列が静磁場方向に対して 54.7 度傾いて位置するときに T2 値が大きく延長して測定される効果のことである。膝関節軟骨の矢状断での報告はされているが⁶⁾、今回用いた冠状断での同効果の検討は渉猟し得た範囲ではなされておらず、今後の検討課題と思われた。

また T2 値は正常ながら関節鏡にて softening を認めた 1 例 (Fig. 3, 4) であるが、プローブを用いた徒手的な圧迫で 1 mm 以上関節面が陥凹することを softening としているものの、各術者により手技のばらつきがある可能性がある。また、受傷と関係なく生理的に柔らかい軟骨であった可能性も考えられる。

今回対象とした 17 症例のうち、鏡視で 7 例に軟骨損傷が認められたが、どの症例に対しても術中軟骨に対する処置は行っていない。軟骨下骨が露出した軟骨損傷に対しては一期的、あるいは二期的に骨穿孔術、microfracture、自家骨軟骨移植術 (mosaic plasty) など行うこともあるが¹¹⁾¹⁰⁾、軟骨下骨まで露出していない症例や露出の程度が軽度の症例ではその限りではない。ACL 再建術後の再鏡視で軟骨損傷の修復が認められたという報告も見られ¹⁴⁾、ACL 損傷に合併した軟骨損傷に対して処置の有無を問わず T2 マッピングで経過を追うことが出来ると思われた。

また今回対象としたようなアスリートにおいて、ACL 再建後のスポーツ復帰時期が問題となってくる。現時点で再建後の復帰時期については施設間でコンセンサスが得られているわけではなく、伸展筋力の回復を評価するなどして行っている。今後 T2 マッピングでの検討を重ねることで、非侵襲的に軟骨の状態を評

価し、特に再建術時に軟骨損傷を認めた症例において、復帰時期を決定する 1 つの要素として利用出来るようになる可能性があると思われた。

結 語

若年アスリートの ACL 損傷例 17 膝において、MRI T2 マッピングと鏡視所見の比較検討を行った。T2 マッピングは非侵襲的に軟骨の質の評価が可能で、アスリートにおいても有用な検査であると思われた。

参 考 文 献

- 1) Bittberg, M., et al.: Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N. Engl. J. Med.*, 331 : 889-895, 1994.
- 2) Indelicato, P. A., Bittar, E. S.: A perspective of lesions associated with ACL insufficiency of the knee: a review of 100 cases. *Clin. Orthop.*, 198 : 77-80, 1985.
- 3) 金沢博明ほか：前十字靱帯再建時における関節内（半月板および関節軟骨）損傷の傾向と臨床成績への影響。膝, 31 (2) : 258-262, 2006.
- 4) 松田秀策, 王寺享弘：MRI T2 mapping を用いた膝関節軟骨の評価。JOSKAS, 35 : 383-388, 2010.
- 5) Matsusue, Y., Yamamoto, T., Hama, H.: Arthroscopic multiple osteochondral transplantation to the chondral defect in the knee associated with anterior cruciate ligament disruption: Case report. *Arthroscopy*, 9 : 318, 1993.
- 6) Mosher, T. J., et al.: MR imaging and T2 mapping of femoral cartilage; in vivo determination of the magic angle effect. *AJR*, 177 : 665-669, 2001.
- 7) Outerbridge, R. E.: The etiology of chondromalacia patellae. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 43B : 752-757, 1961.
- 8) Potter, H. G., Black, B. R., Chong le, R.: New techniques in articular cartilage imaging. *Clin. Sports Med.*, 28 (1) : 77-94, 2009.
- 9) Shelbourne, K. D., Jari, S., Gray, T.: Outcome of untreated traumatic articular cartilage defects of the knee: a natural history study. *J. Bone Joint Surg.*, 85-A (Suppl 2) : 8-16, 2003.
- 10) Steadman, J. R., Rodkey, W. G., Rodrigo, J. J.: Microfracture: surgical technique and rehabilitation to treat chondral defects. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 391-S : 362-369, 2001.
- 11) 和田佑一ほか：変形性関節症における MR 像による軟骨の評価法。整・災外, 51 : 1697-1700, 2008.
- 12) 渡辺淳也ほか：最新の MRI 撮像法を用いた変形性関節症の早期診断—遅延軟骨造影 MRI と T2 マッピング

- を用いた評価. 別冊整形外科, 53: 67-70, 2008.
- 13) 渡辺淳也ほか: 遅延相軟骨造影 MRI および T2 マッピングによる変性軟骨の質的評価. 関節外科, 27(10): 116-124, 2008.
- 14) 吉本栄治, 王寺享弘: 膝前十字靱帯再建術後の再鏡視で関節軟骨損傷の修復がみられた 2 症例. 膝, 31(2): 329-331, 2006.
- ~~~~~