
原 著

膝半月板損傷の診断における MRI再構成画像 (panoramic image) の意義

森脇 透

山口大学医学部高次統御系・整形外科学講座 宇部市南小串1丁目1-1 (〒755-8505)

Key words : 半月板損傷, 核磁気共鳴画像, Panoramic image

緒 言

膝関節の痛みや機能障害を来す原因は多様であるが, 若年者におけるスポーツ外傷や中高齢者における半月板の変性を基盤として発症する膝半月板損傷は主要な膝疾患の1つである。その歴史的報告は古くWilliam Hey¹⁾が1803に膝内障という用語を導入して半月板嵌頓に関する報告をしている。以後その診断法や治療法の報告には枚挙に暇がないが, 治療方針の確立や予後の推定を行うためにも, 事前に半月板損傷の診断とその程度を的確に把握しておくことが必須である。かつては臨床症状・所見にて膝半月板損傷が疑われ, 膝関節造影を追加して診断されていた。最終的には関節鏡にて直視下に確認する必要があるが, magnetic resonance imaging (MRI) が普及することによって, 現在は侵襲性の高い関節造影は殆ど用いられることなく, MRIによる診断が一般化した。しかもMRIの読影力が増すにつれ, 診断精度も高くなってきた。

MRI診断は, 通常spin echo法によるT1強調像, T2強調像, またはT2強調像画像を用いた矢状断及び冠状断にて行われており, その診断価値はほぼ確立されてきた^{2, 3)}。又, あらかじめ断面を設定しておくこれらの方法に対して, gradient echo法を利用した高速撮影法を用いて3D撮影を行い, それにより得られたデータをもとに任意の方向の画像を再構成する方法も報告されている^{4, 5)}。しかし, これ

らはいずれも直線的なスライスにて断層像を作成しており, 曲率を持つ構成体である半月板に対して直線的なスライスによる断層像は立体的な形態を捉えにくい欠点がある。殊に外側半月板後角においては曲率が高く, 解剖学的に膝窩筋腱が隣接しているために精密な病態の把握が困難であり^{6, 7)}, これは直線的なスライスによる診断の限界であり, この課題を克服することでMRIの実用価値がさらに高まる。すなわち, 曲率が高い半月板をうまく直線に近い状態に表現できれば診断意義は高くなる。

MRIにおける3D scan, volume scanは決して新しいものではない⁸⁾が近年ハードウェアの発達とともに高速演算が可能となり時間的にも実用的な検査となった。画像診断において任意の方向に画像再構成を行うmultiplanar reconstruction (MPR)法は3Dイメージデータをworkstation上にて直線, 曲線にかかわらず任意の方向に再構成するソフトウェアであるが, 文献にて涉猟し得る範囲では1983にKaufmanら⁹⁾がリュウマチ性頸椎に対してCTを施行して, その有用性を報告しているのが最初である。MRIにおいては1992のGayら¹⁰⁾による膝関節に対する診断が報告されている。

そこで著者は3D画像データを基に半月板に対してMPRによるcurved cutを施行して半月板の形態に沿って再構成し, 前節から後節までを同一スライスに描出したpanoramic imageを作成した。半月板に対する曲線的なスライスによるMRI画像の報告は未だなされておらず, 半月板損傷に対するpanoramic imageの臨床的意義は明らかではない。

平成16年1月19日受理

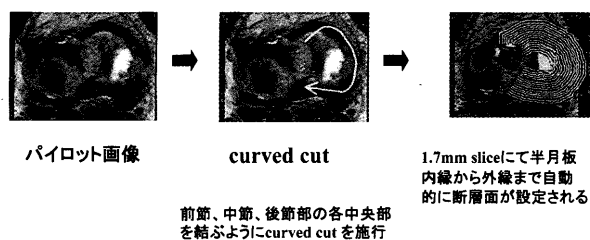


図1 panoramic imageの再構成方法

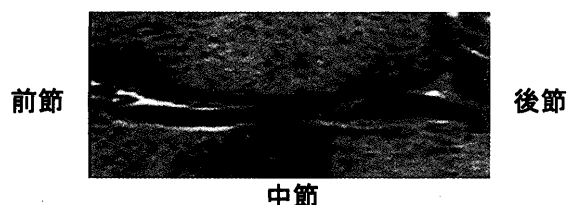


図2 panoramic image

本研究の目的はcurved cut にて作成した panoramic imageの有用性を検討し、半月板損傷におけるMPRの意義を明らかにすることである。

対象と方法

1999年7月より2003年5月までの間に山口大学医学部付属病院およびその関連施設にて膝関節障害に対してMRIを施行し、引き続き関節鏡を施行して関節内所見を得た35例35膝を対象症例とした。男性22例22膝，平均年齢43.1歳，女性13例13膝，平均年齢50.1歳であった。

MRIはSIEMENS社製Magnetom Vision 1.5 Teslaを使用した。矢状断，冠状断をT1強調画像，T2*強調画像で撮像し，panoramic imageにはgradient Echo法である3 D-double echo steady state (DESS)を用いた。撮像条件はT1 (spin echo法)においては TR 760, TE 20.0, SL 4.0, T2* (gradient echo法)においては TR 660, TE 18.0, FA 30, SL 4.0, DESSはTR 26.8, TE 9.0, FA 40, matrix 256×256, FOV 200, SL 1.5であり，DESSにおける1人当たりの撮像時間は約45分であった。

panoramic imageを再構成する際には，workstation上に元画像を呼び出し，半月板が明瞭に描出されるように横断像を再構成しこれをパイロットとする。次にcurved cut modeにて半月板上に曲率にあわせて半月板の前節，中節，後節において内縁から外縁までの各中点を結ぶようにcurved cut

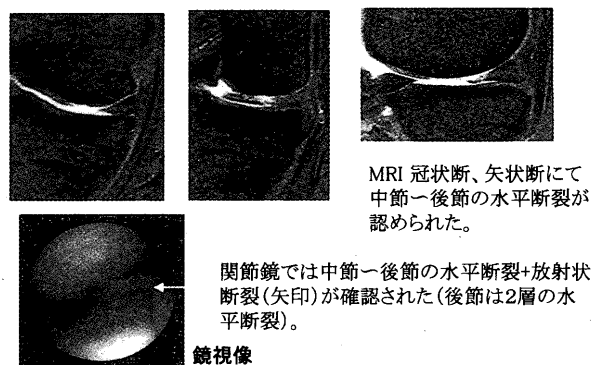


図3 症例1 (内側半月板 50歳 男性 右膝)

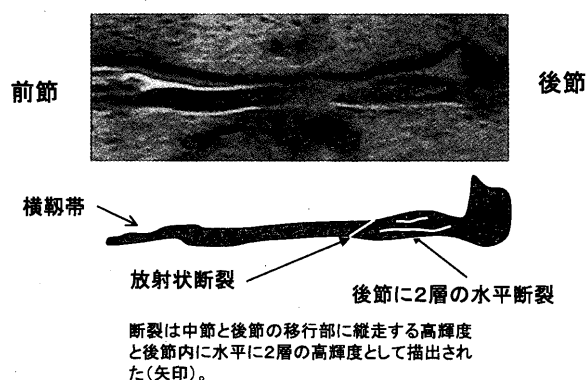


図4 panoramic image (症例1)

を入力すると，内縁から外縁まで1.7mm sliceにてMPR による断層面が設定される。(図1)。関節鏡所見を優位に従来の矢状断及び冠状断よりMRI診断の sensitivity, specificity, accuracy を求め，従来の方法にpanoramic imageを加えて診断し，求めた sensitivity, specificity, accuracyを比較し検討した。半月板断裂はMink分類⁹⁾を用いてgrade 3を断裂として診断した。読影は2人の整形外科専門医によって患者背景を知らずに行われた。また，各診断率の差異の統計学的検討はMcNemar testで行った。

結 果

内側半月板損傷は15膝で，断裂形態は水平断裂8膝 (放射状断裂を合併したもの4膝)，外側半月板損傷は15膝で水平断裂3膝，縦断裂3膝，弁状断裂2膝，放射状断裂1膝，バケツ柄断裂2膝，円板状半月4膝であった。鏡視で断裂を認めなかったものは4膝，合併損傷は前十字靭帯損傷5膝，後十字靭帯損傷2膝，内側側副靭帯損傷が1膝に認められた。全症例においてcurved cutによるpanoramic image

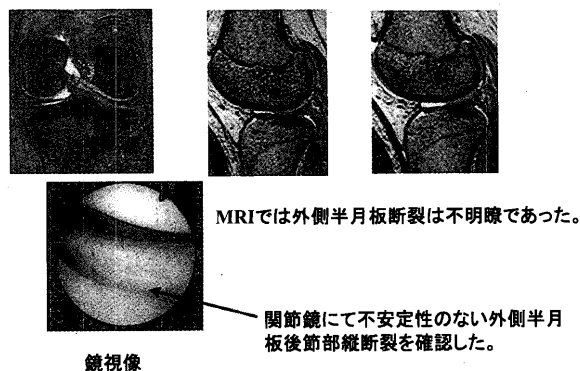


図5 症例2 外側半月板 14歳女性 左膝 (前十字靭帯損傷合併)

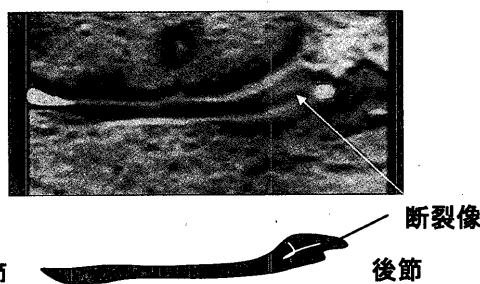


図6 panoramic image (症例2)

が得られたが、panoramic imageでは半月板の前節から後節までが同一スライス上に描出された(図2)。まず内側半月板、外側半月板それぞれにおいて、代表症例についての詳細を記述する。

【症例1】50歳、男性、右膝、内側半月板損傷例である。

術前MRIの冠状断、矢状断にて中節～後節の水平断裂が認められた。関節鏡にて中節から後節にかけての外周縁に及ぶ水平断裂、また後節部では2層の断裂が認められた(図3)。panoramic imageでは中節から後節の水平断裂はもとより、後節部における2層の水平断裂が描出された(図4)。

【症例2】14歳女性の左膝、前十字靭帯損傷合併例である。術前の矢状断、冠状断像では半月板損傷は読影されなかったが関節鏡にて外側半月板後節に脛骨側の縦断裂が認められた(図5)。panoramic imageでは後節部の断裂が線状の高信号として描出された。通常の矢状断、冠状断像にて描出不良であった後節部縦断裂がpanoramic imageにて描出された(図6)。

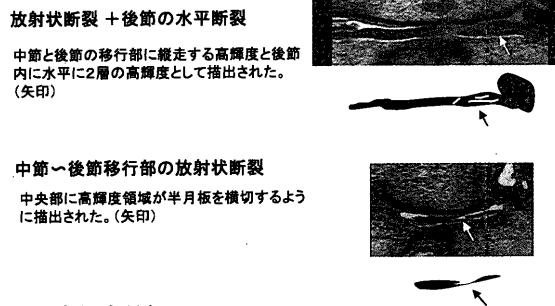


図7 内側半月板のpanoramic image

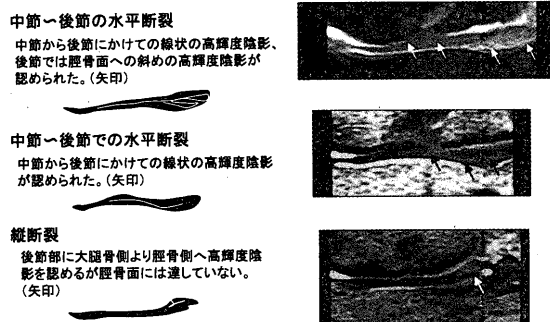


図8 外側半月板のpanoramic image

内側半月板	sensitivity	specificity	accuracy
冠状断、矢状断のみ	100% (15/15)	95 (19/20)	97 (34/35)
冠状断、矢状断+ panoramic image	100 (15/15)	95 (19/20)	97 (34/35)

外側半月板	sensitivity	specificity	accuracy
冠状断、矢状断のみ	86 (13/15)	95 (19/20)	91 (32/35)
冠状断、矢状断+ panoramic image	93 (14/15)	95 (19/20)	94 (33/35)

表1 半月板の診断率

panoramic imageについて要約すると、内側半月板において水平断裂は明瞭な線状の高信号として描出され、断裂範囲が1スライスにて把握された(図7)。放射状断裂は半月像内を横切するように描出され断裂部位の解剖学的位置が明瞭となった。外側半月板においても水平断裂は明瞭に描出され断裂範囲が捉えられた(図8)。後節の表層のみの縦断裂は図8のごとく描出され、半月・脛骨側には達していない断裂形態が読影された。後節部の描出には非常に有用である。

内側半月板においては冠状断、矢状断から得られた診断率、panoramic imageを加えた診断率はともにsensitivity 100% (15/15), specificity 95% (19/20), accuracy 97% (34/35)と同様の結果であった。外側半月板においては冠状断、矢状断からの診断率はsensitivity 86% (13/15), specificity

90% (19/20), accuracy 91% (32/35)であったが, panoramic imageを加えるとsensitivity 93% (14/15), specificity 95% (19/20), accuracy 94% (33/35)とsensitivity, accuracyは向上したが, 統計学には有意差は認められなかった(表1).

冠状断, 矢状断にて診断されずpanoramic imageにて診断可能であった症例は前十字靭帯損傷合併例の外側半月板後節部縦断裂1例であった.

考 察

MRIによる半月板損傷の診断について, Spiersら¹¹⁾は1.5Tのintermediate weighted gradient echoにてsensitivity, specificity, accuracyすべてに100%とし, また是永ら¹²⁾は3D-FISPを用いてsensitivity, specificity, accuracyが内側半月板において92%, 90%, 91%, 外側半月板で67%, 95%, 85%としており, 概ね良好な成績を報告している. しかし診断率については施設によりやや差があり, 井手ら¹³⁾は診断率低下の原因として磁場強度, スキャン方向や画像強調法などの撮影方法, 基準の曖昧さをあげている. Fisherら⁶⁾は内側に比べ外側半月板のsensitivityが低いことをあげfalse negativeが問題であるとしており, 原因として放射状断裂, 後節のカーブが急峻などの解剖学的特徴をあげている.

一方, 診断率の向上を目的とし, 松井ら¹⁴⁾は冠状断, 矢状断から任意の方向の画像を再構成できるMPRを用いて内側, 外側半月の前節, 中節, 後節各セグメントにおける診断を行っているが, 曲率を持つ構成体である半月板に対して直線的なスライスによる断層像は立体的に形態を捉えにくく, 各スライス間の3Dデータが生かされておらず, 実際には存在する断裂部が描出されない可能性が依然として残されている. すなわち直線的にスライスする場合, 断裂部にスライスが横断すれば断裂像として描出されるが, 断裂部がスライス間に存在する場合, もしくは断裂部がスライスに対して接線方向に近い角度である場合は断裂像として描出され難くなり, false negativeとなる.

そこで著者は3Dデータを十分に活用するためにpanoramic imageを考案した. 直線的なカットによる前節から後節への多数のスライスと異なり, panoramic imageでは同一スライスであり, 曲率を

持つ構成体である半月板に対してはより3Dデータが反映される. 従って提示した症例2の如くpanoramic imageにて断裂が描出されることにより, これまでsensitivityが低いとされていた外側半月板の前節, 後節部に対してsensitivityの向上が期待できる.

De Smetら¹⁵⁾は前十字靭帯正常群の内側半月板断裂のsensitivity97%及び外側半月板のsensitivity94%に対し, 前十字靭帯断裂群のsensitivityはそれぞれ88%と69%であるとしてともに有意に低下したと報告している. 前十字靭帯断裂を合併した症例2における外側半月板後節部の診断は, Fischerら⁶⁾がunderreadingによるfalse negativeと説明したが, 本研究において, ルーチンとしている冠状断, 矢状断では描出しきれなかった後節部に対して有用であり, 水平断裂においてはその断裂部位が同一スライスにて描出され, その断裂範囲の把握に有用であった.

Gayら¹⁰⁾は3D-FISPを用いた膝関節に対するMRI診断においてMPRをworkstation上にて行い, 通常のフィルムでの診断と比較し, 診断率はほぼ同等であるが読影時間が長くかかったとしている. 本研究においてDESSの撮像時間は4.5分であったが, 再構成には約5分を要した. 読影をあわせるとかなりの時間的付加を要するが, 半月板断裂のMRI診断においてその診断率はハードウェア, 撮像方法, 読影力に要約される現状において, 各施設で診断率を上げるには撮像方法を工夫するか, 読影力を向上させるしかない. 得られたデータを最大限に利用することが今後の診断率の向上に必要であると考えており, 従ってそこに時間的付加が加わることは現状では不可避である. また, 今後のハードウェアの進歩とともに所要時間は短縮されると推測している.

本方法においてはsensitivityの向上と共にfalse positiveが増加することが懸念される. MRIは半月板実質の変性変化をも描出するため半月板損傷と変性変化の鑑別が困難で¹⁶⁾変性を断裂と診断しoverreadingとなる可能性がある.

以上のことから, 現時点におけるMPRの診断的意義は, 3Dデータを有効に利用することにより, スライス方向が不適切であったためにfalse negativeとなっていた断裂の診断によるsensitivityの向上, 及び水平断裂における断裂範囲のより詳細な把握が可能となったことにあると考えている.

結 語

膝半月板に対するMRI再構成画像 (panoramic image) をMPR によるcurved cutにて作成した。

3Dデータをより有効に再構成することで後節に対して詳細に断裂を描出できsensitivity が向上した。また、前節から後節を同一スライスで描出することで水平断裂の範囲が明瞭に読影された。

通常のMRI所見と併せて、本法を用いることにより、診断精度の向上が期待できる。MRI再構成画像 (panoramic image) を得るために若干の時間を要するが、診断精度を高めるという点において有用性が大きく、それによって病態の把握が進み、今後の推測や説明が容易になる利点が多い。しかし統計学的に有意差が出るにはいたっておらず、今後も症例数を増やし継続した研究が必要である。

謝 辞

稿を終えるに臨み、終始懇切丁寧な御指導と御校閲を賜りました山口大学高次統御系整形外科講座河合伸也教授に深甚なる感謝の意をささげます。また、本研究に際し、御助言と御協力をいただいた峯孝友講師、画像作成に御協力をいただいた放射線部山内秀一技師に深謝いたします。

文 献

- 1) Hall DP. Our surgical heritage. William Hey. *Am J Surg* 1966 ; 112 (1) : 138.
- 2) Mandelbaum BR. : Magnetic resonance imaging as a tool for evaluation of traumatic knee injuries-anatomical and pathoanatomical correlations. *Am. J. Sports Med* 1986 ; 14 (5) : 361- 370.
- 3) Mink JH, Levy T, Crues JV 3rd. Tears of the anterior cruciate ligament and menisci of the knee : MR imaging evaluation. *Radiology* 1988 ; 167 : 769- 774.
- 4) Tyrrell RL, Gluckert K, Pathria M, Modic MT. Fast three-dimensional MR imaging of the knee : Comparison with arthroscopy. *Radiology* 1988 ; 166 : 865- 872.
- 5) Spitzer CE, Vogler JB, Martinez S, Garrett WE, Johnson GA, McNamara MJ, Lohnes J, Herkfen R. MR imaging of the knee: preliminary results with a 3DFT GRASS pulse sequence. *Am J Roentgenology* 1988 ; 150 : 597- 603.
- 6) Fischer SP, Fox JM, Pizzo WD, Friedman MJ, Snyder SJ, Ferkel RD. Accuracy of diagnosis from magnetic resonance imaging of the knee. *J Bone Joint Surg* 1991 ; 73-A : 2 - 10.
- 7) 中村克己, 弓削大四郎, 三村 寛, 酒井和裕, 貴船雅夫. MRI で診断できなかった膝半月板損傷例の検討. *中部整災誌* 1997 ; 40 : 705- 706.
- 8) Sutherland RJ, Hutchison JMS. Three-dimensional NMR imaging using selective excitation. *J Phys E Sci Instrum* 1978 ; 11 : 79- 83.
- 9) Kaufman RL, Glenn WV Jr. Rheumatoid cervical myelopathy : evaluation by computerized tomography with multiplanar reconstruction. *J Rheumatol* 1983 ; 10 (1) : 42 -54.
- 10) Gay SB, Chen NC, Burch JJ, Gleason TR, Sagman AM. Multiplanar reconstruction in magnetic resonance evaluation of the knee. *Invest Radiol* 1993 ; 28 : 142-5.
- 11) Spiers AS, Meagher T, Ostlere SJ, Wilson DJ, Dodd CA. Can MRI of the knee affect arthroscopic practice? *J Bone Joint Surg* 1993 ; 75-B : 49-52.
- 12) 是永建雄, 蜂屋順一, 横山健一. スポーツ医学における画像診断・下肢, 膝関節. *臨床画像* 1994 ; 10 : 42-57.
- 13) 井手康人, 野口康男, 喜名政治, 利光哲也, 坂本 央, 寺戸一成, 奥山清隆, 首藤敏秀, 宇都祐二, 劉 斯充. 膝半月および十字靭帯損傷のMRI診断. *整形外科と災害外科* 1998 ; 47 : 1229-1234.
- 14) 松井康素, 大石幸由, 小林健二, 大場満成, 三浦俊一. MRI横断像, 放射状断像を用いた膝半月板の評価. *関節外科* 1997 ; 16 : 48-56.
- 15) De Smet AA, Graf BK. Meniscal tears missed

on MR imaging : Relationship to meniscal tear patterns and anterior cruciate ligament tears.

Am J Roentgenol 1994 ; **162** : 905-951.

- 16) 野崎博之, 勝呂 徹, 磯 良則. 中高年者に於ける半月板MRI画像. 日関外誌 1995 ; **14** : 51-58.

Evaluation of Knee Meniscal Injuries Using Panoramic MR Images

Toru MORIWAKI

*Dept of Orthopedics and Human Science Yamaguchi University School of Medicine,
1-1-1, Minamikogushi, Ube, Yamaguchi, 755-8505, Japan*

SUMMARY

At many institutions, sagittal and coronal slice magnetic resonance imaging (MRI) is routinely used for knee examinations. Recently, MRI diagnosis for knee meniscal injuries has spread remarkably, and the diagnostic value of the procedure is almost established. We made panoramic images by reconstructing 3D data images along the form of the meniscus using curved cuts and multiplanar reconstruction (MPR). We assessed the usefulness of the panoramic images for evaluating meniscal injuries in 34 patients who had arthroscopic surgery after the MRI. MRI data were acquired in the axial plane using a double echo steady state (DESS). The presence of 30 meniscal tears, 5 anterior cruciate ligament tears, 2 posterior cruciate ligament tears, and 1 medial collateral ligament tear were confirmed by the arthroscopic surgery. Sensitivity, specificity and accuracy for medial meniscus was 100, 95 and 97% respectively, and for lateral meniscus was 93, 95 and 97% respectively. The meniscal tears were visible on the panoramic images, which showed the entire meniscus from the anterior to the posterior segment, so that the anatomical locations of the tear were indicated distinctly. Furthermore, the posterior segment was shown in detail on the panoramic images better than on the conventional plane images.