



Title	三次元画像処理装置を用いた膝関節MRI-半月板断裂描出能の評価-
Author(s)	新津, 守
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1991, 51(10), p. 1201-1209
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20002
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

三次元画像処理装置を用いた膝関節 MRI

—半月板断裂描出能の評価—

筑波大学臨床医学系放射線医学教室（主任：板井悠二教授）

新 津 守

（平成2年12月17日受付）

（平成3年2月1日最終原稿受付）

Three-Dimensional MR Imaging of the Knee Joint —Diagnostic Value for Meniscal Tears—

Mamoru Niitsu

Department of Radiology, University of Tsukuba

Research Code No. : 505.9

Key Words : MR imaging, Knee joint, Meniscal tear,
3D display, Multiplanar reformation

The value of a three-dimensional (3D) imaging system was evaluated using a newly developed workstation. Fifteen knee joints with meniscal tears confirmed by arthroscopic examinations underwent 3D magnetic resonance (MR) imaging. These 3D data sets were processed into 3D display by multiplanar reformation (MPR) and the volume rendering technique, and the features of the meniscal tears were compared with those on conventional two-dimensional (2D) MR images.

The 3D images with MPR provided higher detectability and more descriptive delineation of the meniscal tears than the 2D images. With its powerful image processing capacity, the workstation facilitated high-speed, high-quality 3D display and provided precise views of meniscal cleavages for the planning of surgical treatment. The independent processing system permitted efficient throughput of the MR data and eliminated wasteful filming processes.

はじめに

膝関節疾患に対するMRIの有用性はすでに広く認められたものであり、現在の日常の臨床において、いかに高画質のイメージを提供できるかが、診断能向上のカギとなっている。特に複雑な走行をし、微細なものの多い半月板断裂においては、高分解能画像に対する要求は高く、サーフェスコイルを用いた高分解能画像の使用が一般化している¹⁾²⁾。高速スキャンを用いた三次元フーリエ変換法(3DFT)によるVOLUME SCANは、数十枚の連続する1mm以下の薄スライスを、1回のスキャンで撮像可能であり、半月板断裂を含む

膝関節疾患の画像診断に高い有用性を示した^{3)~5)}。

X線CTの開発により、デジタルデータを用いた三次元画像表示技術が注目され、原画像の横断面からの、矢状断面など任意の傾きを持つ二次元スライス像への再変換(multiplanar reformation: MPR)が整形外科領域で応用されるようになった⁶⁾。また、volume rendering手法を用いた立体表示法も開発され、臨床応用の報告も多い^{7)~9)}。VOLUME SCANを用いたMRIの登場は、骨組織のみならず、軟部組織の立体表示を可能にし、CTの情報と共に、脳神経、筋肉、顔面な

どの手術計画に応用されるようになった¹⁰⁾。近年では、CT、MRの画像に positron emission CTの情報を重ね合わせて、三次元的な機能解析や治療計画への応用も報告されている¹¹⁾。膝関節に対する三次元画像表示の応用は、高速スキャンを用いた3DFTによる VOLUME SCANの表示手段の一つとして紹介されている¹²⁾。

今回、従来のMR装置に付属している処理装置と異なり、任意の曲断面や放射状断面を高精度に描出できる3Dワークステーションシステムが新たに開発された¹³⁾¹⁴⁾。これを用いて三次元スキャンによる膝関節のMRIデータを再構成、画像処理し、半月板損傷の描出能を通常の二次元MR画像と比較し、その有用性を検討した。

対象と方法

対象

臨床的に半月板または十字靱帯損傷が疑われ、後日の膝関節鏡検査にて半月板断裂の認められた15名(男性9名、女性6名、平均年齢32.2歳)、15膝を対象とした。関節鏡検査は整形外科医によりMR検査実施後14日以内に行われ、後述の半月板断裂の分類に従ってその結果が報告された。ここでいう半月板断裂とは、関節鏡検査にて半月板表面に断裂の見られた、MRI分類によるところの grade 3 (3A, 3B) の症例であり、grade 2以下の所見のものは含まれない¹⁵⁾¹⁶⁾。なお、三次元または二次元のMR画像にて grade 3の半月板断裂を呈

し、膝関節鏡検査にて所見の認められなかった症例は経験しなかった。

半月板断裂の分類

MRIおよび関節鏡による半月板断裂の形態の記載は以下の基準に従った¹⁶⁾。断裂部の走行として、半月板の外縁に平行なものを longitudinal、垂直なものを transverse、および斜走するものを oblique の三者に大別し、半月板の断面内での方向として、垂直方向 vertical、水平方向 horizontal、およびその複合型 complex に分類した (Fig. 1)。断裂部の深さとしては、一方の関節面に留まるものを superficial、両関節面に達するものを fullthickness に分類した (Fig. 2)。半月板は前部、中部、後部の3つの segment に分けた。

三次元 MRI データ

MRI装置は静磁場強度0.5Tの日立製作所製超伝導MRI装置MRH-500を用い、膝専用サーフェスコイルを用いて撮像した。高速スキャンとして Gradient Echo: 40/15/15°/2 (TR/TE/Flip Angle/excitations) を用い、面内分解能1mm (256mm Field of View (FOV), 256×256Matrix)、スライス厚1mmの横断面を3DFTによる VOLUME SCAN にて連続64枚撮像した。すなわち、256×256×64Matrixによる1mmの等方性ボクセルにて膝関節全域の画像データが得られたことになる。スキャン時間は約20分である。この三次元MRIデータを5.2インチ光ディスクを介し

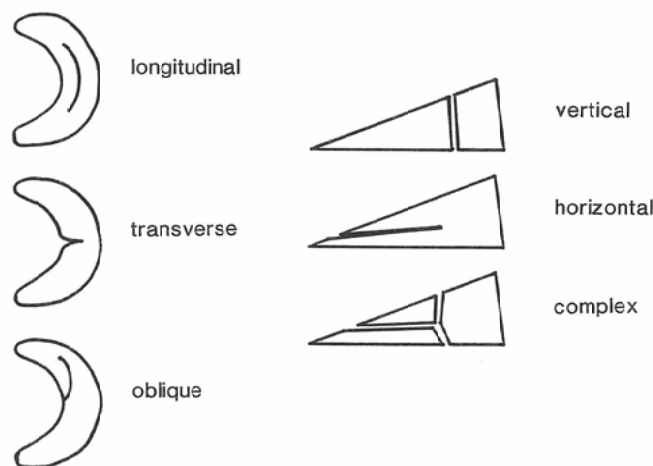


Fig. 1 Diagram of simple classification for the shape of meniscal tears.

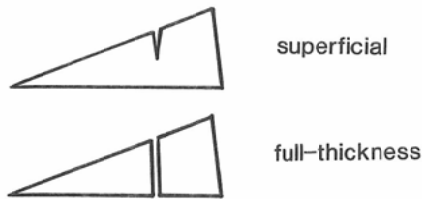


Fig. 2 Diagram of the thickness of meniscal tears.

て三次元画像処理装置に転送した。このデータ転送には数分を要した。

三次元画像処理装置

三次元画像処理装置のワークステーションは、SPARC Station 1+(SUN Microsystem, Mountain View, California)である。ソフトウェアは

米国 Mayo Clinic の Biodynamic Research Unit と日立製作所が開発した医用画像処理システム Analyze であり¹³⁾、MR 用画像処理装置(日立製作所)として臨床応用が始まっている。この三次元画像処理装置の機能の 1 例を以下に示すと、正断面による三次元表示では任意点での断面表示が可能で、立体表示体を回転して観察することが出来る(Fig. 3)。斜断面による表示では、volume rendering による立体表示を横切る任意の断面を切り出すことや(Fig. 4A)、各正断面から任意の角度の断面設定が可能である(Fig. 4B)。更に Fig. 5 に示すように、MPR を用いて任意点からの放射状断面を切り出し、これを繰り返すことにより、半月板の円周に沿った連続断面が描出できる。今

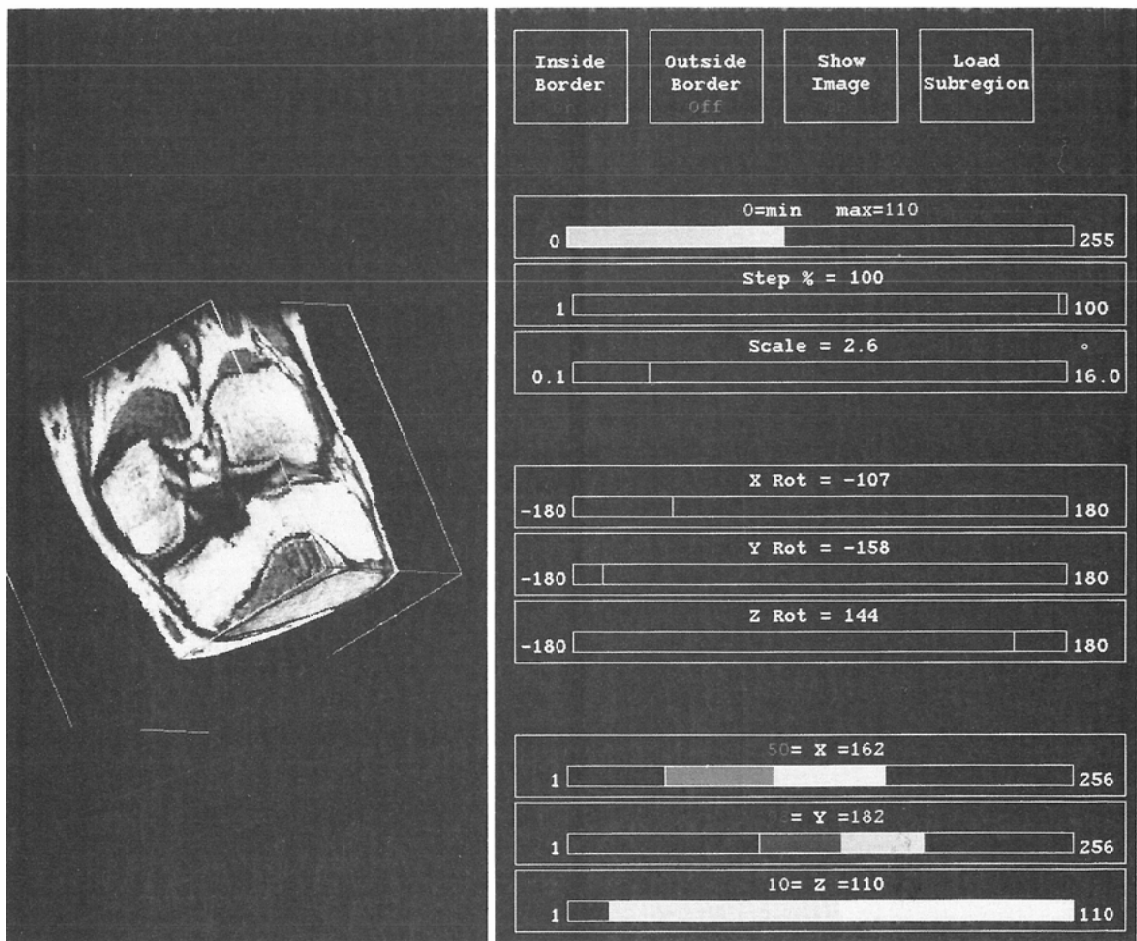


Fig. 3 3D display of orthogonal planes.

回の半月板断裂の診断に用いた表示画像は、この連続する放射状断面であり、ワークステーションのディスプレイ上にて観察、診断した。

二次元 MR 画像との比較

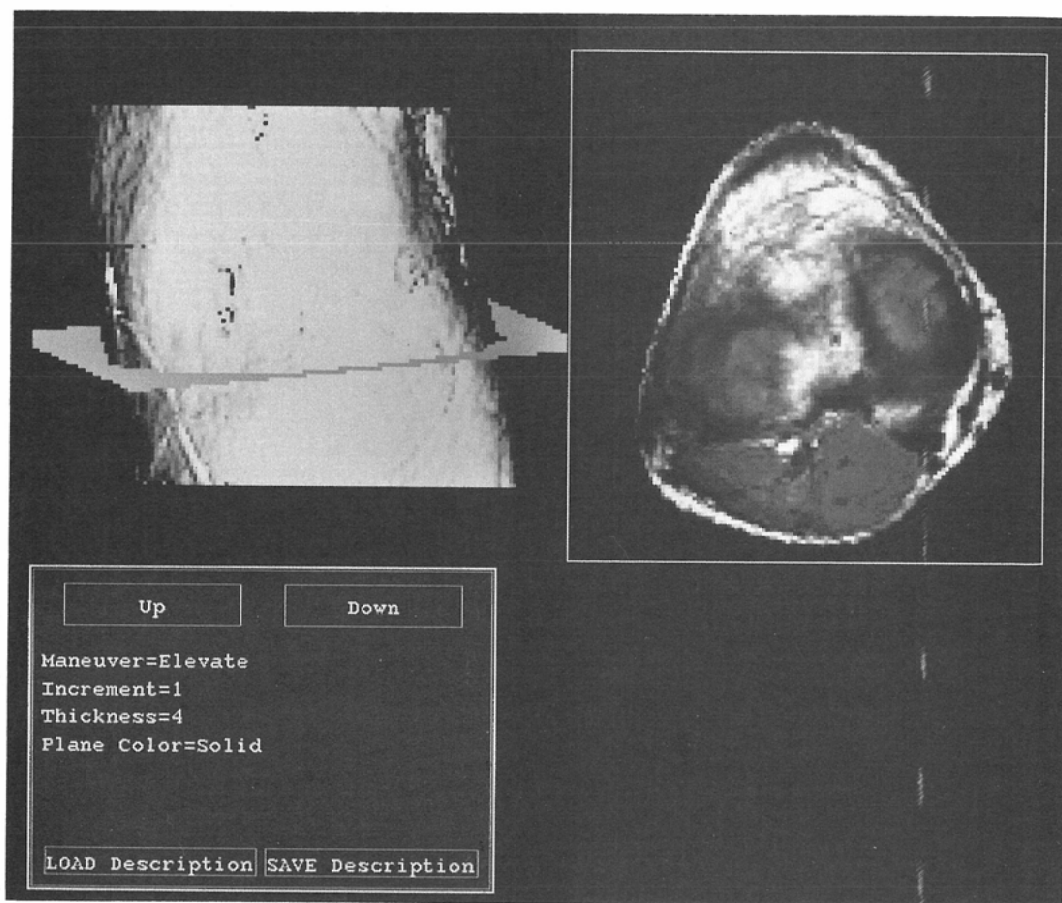
全症例とも比較のため、スピネコー法による膝関節全体をカバーする矢状断面 (Spin Echo: 800~1,000/30/1.5mm thickness, 面内分解能1mm)+数枚を撮像した。これはフィルムに焼付けられ後日に読影された。読影に際しては臨床所見や関節鏡の結果を知らされない状態で、三次元 MR 画像はワークステーションのディスプレイ上にて二次元画像はフィルムにて行った。ただし、二次元画像の読影に際しては、症例の集まった時点でまとめて行われ、関節鏡の結果のみならず、三次元画像の結果からも影響されない状態にて行

われた。

結 果

膝関節鏡検査にて半月板断裂の見られた15膝の関節鏡所見と、三次元、および二次元 MR 画像による断裂部の検出の有無を Table 1 に示す。15例の半月板断裂のうち、三次元画像では12例 (検出率80%) が検出できたのに対して、二次元画像では7例 (検出率47%) にとどまった。三次元画像で検出された12例のうち、5例は二次元画像では検出されなかった。二次元画像で断裂が検出されて三次元画像で検出されなかった症例は経験しなかった。

断裂部の深さによる検出率の差については、full-thickness 断裂は4例全例が三次元画像でも二次元画像でも共に検出されたのに対し、super-



A

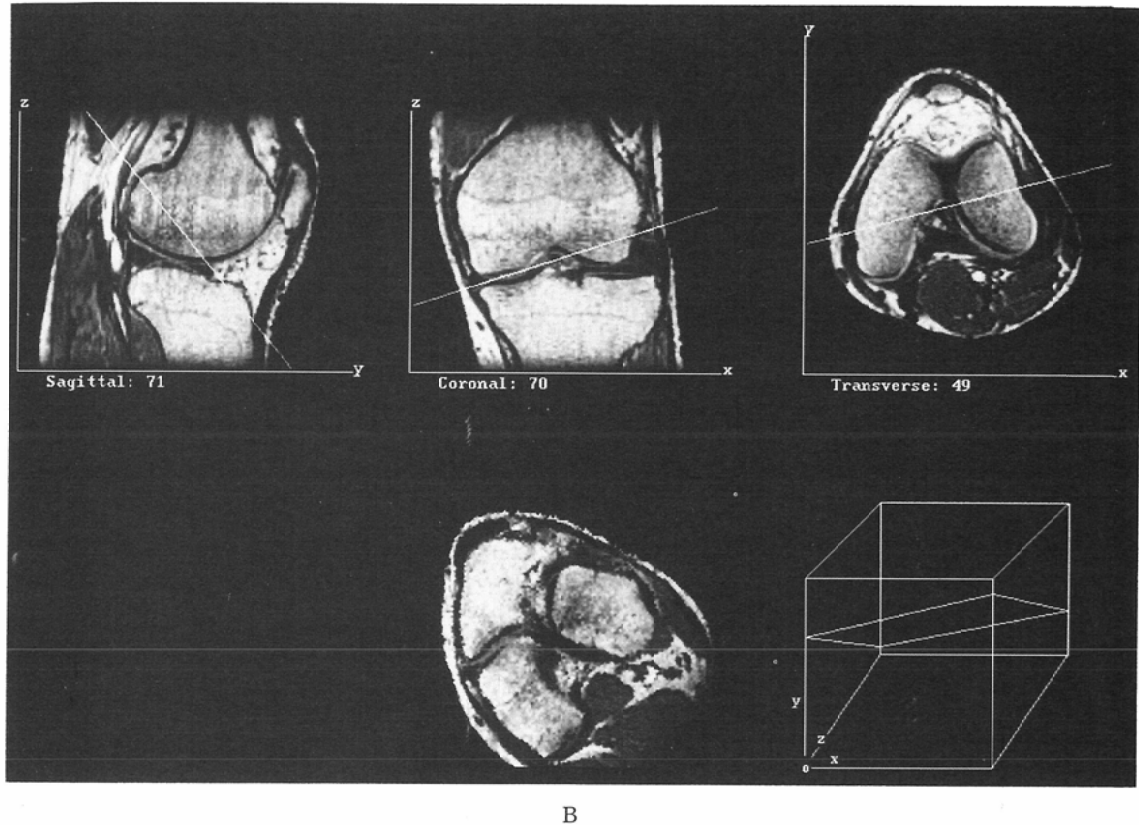


Fig. 4 3D display of non-orthogonal planes from volume rendering image (A) and from orthogonal planes (B).

Table 1 Summary of 15 patients with meniscal tears

No.	Age, sex	Knee	Arthroscopic findings			MRI	
			meniscus	shape,	thickness	3D	2D
1	17, F	R	MM post	oblique, complex,	full	1	1
2	25, M	R	MM post	longitudinal, vertical,	superficial	1	1
3	21, M	R	MM mid	longitudinal, vertical,	superficial	1	0
4	69, M	R	MM mid	longitudinal, horizontal,	superficial	1	0
5	24, M	L	MM mid	longitudinal, vertical,	superficial	1	0
6	54, M	R	MM mid	longitudinal, vertical,	superficial	0	0
7	23, F	R	MM mid	longitudinal, vertical,	superficial	0	0
8	47, F	R	LM ant	transverse, complex,	full	1	1
9	24, M	R	LM mid	transverse, horizontal,	full	1	1
10	26, M	L	LM post	longitudinal, vertical,	full	1	1
11	23, F	R	LM mid	transverse, horizontal,	superficial	1	1
12	22, M	L	LM mid	oblique, horizontal,	superficial	1	1
13	26, M	R	LM mid	longitudinal, vertical,	superficial	1	0
14	23, F	L	LM mid	longitudinal, vertical,	superficial	1	0
15	51, F	R	LM mid	longitudinal, vertical,	superficial	0	0

MM: medial meniscus LM: lateral meniscus

mid: middle segment ant: anterior segment post: posterior segment 3D: three-dimensional image with MPR 2D: two-dimensional image 1: detected 0: not detected

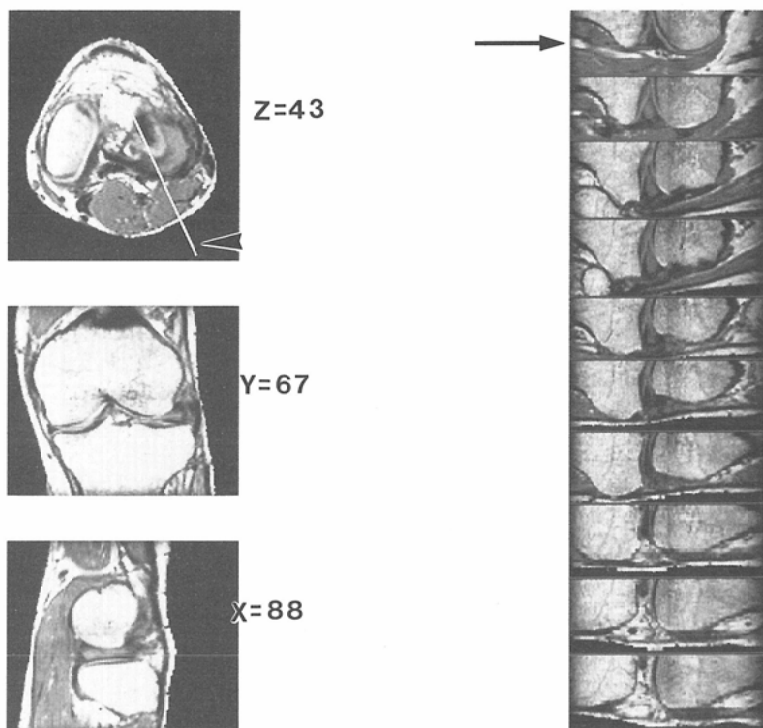
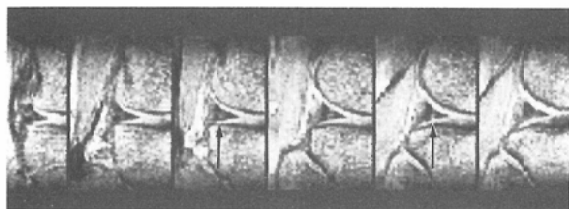
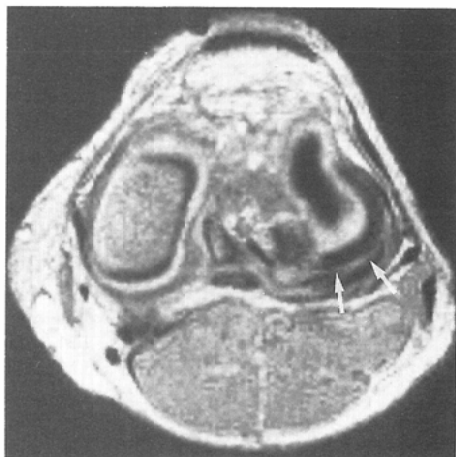


Fig. 5 Multiplanar reformation (MPR) image. A radial line on the meniscus sets up the location of MPR image (arrowhead). Sequential settings provide continuous radial views (arrow).



A



B

Fig. 6 Radial views depict vertical tears consecutively (arrow) (A). An oblique transverse view delineates the full length of a longitudinal tear on lateral meniscus (arrow) (B).

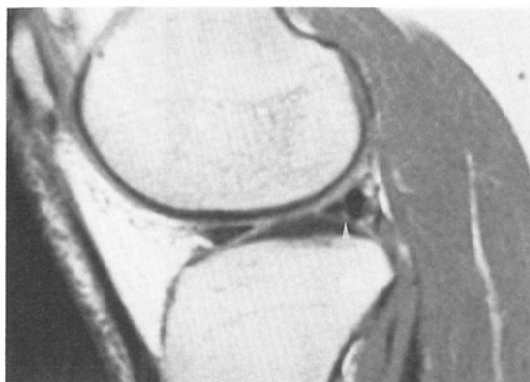


Fig. 7 2D sagittal MR image (SE 1,000/30, 5mm thickness) indicates small tear at the posterior segment of lateral meniscus (arrowhead), however, from which it is difficult to guess its feature.

figial 断裂は、11例のうち三次元画像で8例、二次元画像では3例が検出されたのみである。断裂部の位置と形状による差は、症例数が少ないため統計的有意差は得られないが、特に middle segment の longitudinal tear は二次元画像では検出されなかった。

また、三次元、二次元画像共に断裂部を検出できたが、断裂の全体像の把握に三次元表示が有効であった例を経験した。

症例

26歳、男性、スポーツによる左膝半月板損傷(症例番号10番)

上記疑いにて三次元および二次元 MR 検査施行。後日の関節鏡検査にて外側半月板後節に上下の関節面に連続する longitudinal vertical tear が認められ、関節鏡視下半月板切除術が行われた。三次元画像法では半月板後節の longitudinal vertical tear が MPR による角度を変えながらの放射状断面で連続的に追跡でき (Fig. 6A)、外側半月板の高さに一致させた横断面にてその全走行が描出可能であった (Fig. 6B)。これに対し、同症例の二次元 MR 像 (SE 1,000/30) では、小断裂は見られるが、他の断面を参照しても断裂の全体像の把握は困難であった (Fig. 7)。

考 察

従来の CT や MR 装置に付属している処理装

置と異なり、三次元画像処理装置にては3方向の正断面を斜断面のみならず、任意の曲断面や放射状断面を自由に設定、再構成できた。特に高速演算処理機能を備えているため、ほとんど待ち時間のない (volume rendering や MPR が1秒以下で可能)、リアルタイムでの画像表示が可能である。また、全ての操作が卓上のマウスを用い、interactive 機能を用いて会話的に行われるため、操作も容易であり、関心領域を丹念に観察できた。

二次元 MR 画像に比べ、三次元スキャンデータを用いた MPR は、半月板断裂の描出に関して高い検出率を示した。これは三次元スキャンの1mmの等方性ボクセルによる高分解能と高 S/N 比による原画像の画質の差が一つの原因である⁴⁾。しかし、限られた枚数と一定の角度のスライスによる二次元 MR 像では、複雑な断裂面を有する半月板の微細断裂の描出には、おのずから限界があるのに対して、三次元表示では、ワークステーションとの対話形式による、自由な断面設定と画像加工が診断上の大きな利点となる。いわゆる interactivity による自由度の大きさが、診断能向上の大きな要因となったと言える。

ただし、今回の二次元 MR 画像は矢状断面のみを採用したが、多様な形態を示す半月板断裂の描出については、冠状断面像や放射状断面を加えることにより、より診断能が向上すると報告されている³⁾¹⁷⁾。特に半月板の middle segment の longitudinal tear は、二次元矢状断面像では検出されなかった。これは断裂の走行が画像面と平行になったためと思われる。冠状断面像にて描出されていた可能性は否定できない。しかし矢状断面に冠状断面、更に断裂の疑われる部位に斜断面や放射状断面を追加する現状の二次元画像によるスキャンが、高磁場装置でも一時間近くの時間を要していることを考えると、臨床場において時間的制約は大きな問題である。

今回の三次元画像処理装置の使用を通じて、従来の二次元 MR 画像法では提供できなかったいくつかの利点を経験した。まず第一に、二次元 MR 画像法では各断面の情報を、医師が頭の中で再構築して、イメージとして捉えていたものが、三次

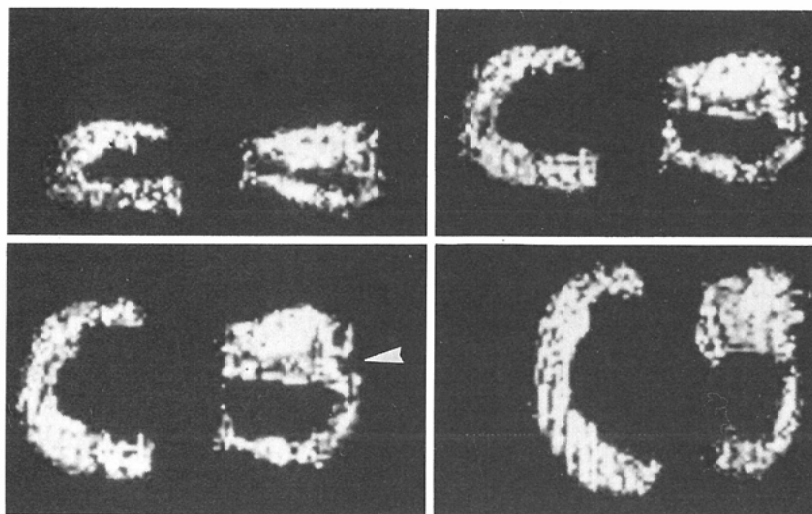


Fig. 8 3D display of the menisci using volume rendering technique. A superficial oblique tear is delineated at the anterior segment of lateral meniscus (arrowhead).

元画像法ではその形態自体を直接に描出できる点である。これは高速演算処理機能を備えた interactive 機能による高い自由度が要因である。症例に示したように、三次元表示にて半月板の断裂部の全体像が直接に観察できることは、診断のみならず、その後の治療方針決定に多大な情報を提供することになる。例えば、断裂部の位置、深さ、形状が、関節鏡視下半月板切除術の適応決定の材料となり、また近年普及しつつある関節鏡視下半月板縫合術などの導入に関しても、術前に整形外科医に治療方針決定に有用な情報を提供する事になる¹⁸⁾。

第二の利点としては、時間効率の高さである。三次元 MRI データは、10～20分の1回のスキャンで得られるために、MR 検査のスループットは向上し、患者の拘束時間もごく短時間となる。データを転送してしまえば、ワークステーションは MR 検査と関係なく独立して実行可能であり、時間の制約無しに綿密な画像再構成、診断が可能である。

第三に画像データの有効利用である。三次元フーリエ変換法による VOLUME SCAN の原画像は、各々が一定方向をもつ二次元画像であるが、三次元画像処理装置にて各種の画像処理を受けることにより、診断に有効な情報を持つ key image

を得ることができる。また盲目的にフィルムに焼き付ける必要もなくなり、特に数十枚もの画像を提供する三次元スキャンに対する一つの解決方法とも思われた。ただしここで新たに問題となることは、三次元画像処理装置の利用方法であり、ワークステーションをどこに設置し、誰が操作するかである。現状では、MR 画像とその疾患分野に精通した放射線科医の手に委ねられることになるが、理想的には、治療や手術に直接に携わる外科医が、放射線科医と共同してその操作に加わることである。しかし、画像処理法の経験の有無や時間的制約を考えると現状では困難であることが多く、今後の一つの課題であると言える。

更に三次元画像処理法の一つとして、抽出像の作製がある。これはピクセル毎の信号強度差と volume rendering 手法を用いて、一部用手的修正を加えるが、ほぼ自動的に半月板の抽出立体像が得られる (Fig. 8)。これにより半月板単独の立体表示が可能になり、これを用いた立体像の切断や結合など画面上での画像加工も可能で、手術計画や、教育用、患者への説明など、その利用価値は広範囲のものと思われる。

三次元画像処理装置は、わが国に導入されてまだ日が浅く、予算的制約などにより、どの施設でも利用できる状態ではないのが現状である。しか

し膝関節をはじめとする関節疾患の画像診断や、形成外科をはじめとする手術計画用に、本システムが広く活用される日も遠くないものと期待される。

ま と め

1. 15例の半月板損傷膝に対し、三次元画像処理装置を用いた三次元MR表示を試み、関節鏡所見および二次元MR画像と比較し、その有用性を検討した。

2. 二次元MR画像と比較して、三次元MR表示は半月板の微細断裂の検出に有効であった。

3. 三次元画像法では、自由な断面設定により半月板断裂の全体像を直接に描出できた。

4. 三次元MRIデータ採用後に独立したワークステーションにて診断するため、MR検査のスループットの向上、患者の拘束時間の短縮につながった。

5. 各種の画像処理により、診断に有効な情報を持つkey imageを得ることができ、また、膨大な量のデータを産する三次元スキャンに対する一つの解決方法と思われた。

稿を終えるにあたり、御指導御校閲を賜りました筑波大学放射線医学教室板井悠二教授に深く感謝の意を捧げます。また、貴重な症例を御提供下さった日立総合病院整形外科内山英司先生、崎原春幸先生、ならびにMR検査に御尽力下さった日立総合病院放射線科中島光太郎先生、助川和也技師に深謝いたします。更に、三次元画像処理装置の使用機会を御提供下さった小泉英明博士をはじめとする日立製作所那珂工場の諸氏に深甚なる感謝の意を表します。

本論文の要旨は、第16回日本磁気共鳴医学会大会(1990年9月、名古屋)、第2回骨軟部放射線研究会(1991年1月、宇都宮)にて発表した。

文 献

- Burk LD, Kanal E, Brunberg JA, et al: 1.5T surface coil MRI of the knee. *AJR* 147: 293-300, 1986
- Beltran J, Noto AM, Mosure JC, et al: The knee: Surface-coil MR imaging at 1.5T. *Radiology* 159: 747-751, 1986
- 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
- Tyrrell RL, Gluckert K, Pathria M, et al: Fast three-dimensional MR imaging of the knee: Comparison with arthroscopy. *Radiology* 166: 865-872, 1988
- Reeder JD, Matz SO, Becker L, et al: MR imaging of the knee in the sagittal projection: Comparison of three-dimensional gradient-echo and spin-echo sequences. *AJR* 153: 537-540, 1989
- Sherry CS, Harms SE, McCroskey WK: Spinal MR imaging: Multiplanar representation from a single high resolution 3D acquisition. *J Comput Assist Tomogr* 11(5): 859-862, 1987
- Totty WG, Vannier MW: Complex musculoskeletal anatomy: Analysis using three dimensional surface reconstruction. *Radiology* 150: 173-177, 1984
- Vannier MW, Marsh JL, Warren JO: Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology* 150: 179-194, 1984
- Pate D, Resnick D, Andre M, et al: Perspective three-dimensional imaging of the musculoskeletal system. *AJR* 147: 545-551, 1986
- Stimac GK, Sundsten JW, Prothero JS, et al: Three-dimensional contour surfacing of the skull, face, and brain from CT and MR images and from anatomic sections. *AJR* 151: 807-810, 1988
- Levin DN, Pelizzari CA, Chen GTY, et al: Retrospective geometric correlation of MR, CT, and PET images. *Radiology* 169: 817-823, 1988
- Harms SE, Flamig DP, Fisher CF, et al: New method for fast mR imaging of the knee. *Radiology* 173: 743-750, 1989
- Robb RA: Multidimensional biomedical image display and analysis in the biotechnology computer resource at the Mayo Clinic. *Machine Vision and Applications* 1: 75-96, 1988
- McEwan CN, Fukuta K: Recent advances in medical imaging: Surgery planning and simulation. *World J Surg* 13: 343-348, 1989
- Stoller DW, Martin C, Crues JV, et al: Meniscal tears: Pathologic correlation with MT imaging. *Radiology* 163: 731-735, 1987
- Mink JH, Reicher MA, Crues JV: Magnetic resonance imaging of the knee. 57-77, 1987 Raven Press, New York
- Haggard AM, Froelich JW, Hearshen DO, et al: Meniscal abnormalities of the knee: 3DFT fast-scan GRASS MR imaging. *AJR* 150: 1341-1344, 1988
- McGinty JB: Partial of total meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 63-A: 570-585, 1981