

Gd-DTPA 静注による膝関節損傷の MR 関節造影 —単純 MRI および Gd-DTPA 関節内直接注入法との比較—

小林由子¹, 村上隆介¹, 杉崎健一¹, 山本 鼎¹,
田島なつき², 間瀬泰克³, 隈崎達夫⁴

¹日本医科大学付属多摩永山病院放射線科 ²同 付属千葉北総病院放射線科

³同 付属多摩永山病院整形外科 ⁴同 付属病院放射線科

はじめに

膝関節損傷の画像診断において, magnetic resonance imaging(MRI) は非侵襲的で高いコントラスト分解能を有することから, その有用性は高く評価されている. また, 関節内構造を明瞭化する目的で MR 関節造影が試みられているが, 従来は関節腔内に直接 Gd-DTPA 希釈液を注入する方法が採用されていた^{1)~3)}. しかし最近では Gd-DTPA を静注する事によっても関節腔内の造影効果が見られることがわかり, その有用性は注目を集めている^{4)~6)}. しかしながら, 静注による MR 関節造影の診断能に関するまとまった報告は少ない^{5),6)}.

今回我々は, 膝関節損傷を有する症例に対し, 単純 MRI と Gd-DTPA 関節内注入法および静注法による関節造影を同一症例に施行し, 関節鏡所見と比較, それぞれの診断能を比較検討したので報告する.

対象と方法

1) 対象

対象は単純 MRI で膝関節損傷が疑われ,

Gd-DTPA 静注による MR 関節造影 (静注法) を施行した 16 例 16 膝 (男性 7 例, 女性 9 例). 年齢は 17~38 歳 (平均 24 歳) で, MR 関節造影施行後全例に関節鏡を施行した. うち 12 例 12 膝で Gd-DTPA 希釈液関節内直接注入による MR 関節造影 (関節内注入法) も併用した.

2) 方法

MRI 装置は東芝製 1.5 T 超電導型 (MRT-200FX III) を使用した. 単純 MRI は, spin echo 法による T₁ 強調像 (TR 600/TE 15) および field echo 法による T₂* 強調像 (TE 600/TR 15, flip angle 30°) を, とともに matrix size 192×192, FOV 20 cm, cervical coil 使用下にて撮像した. 静注法は Gd-DTPA 0.1 mmol/kg を静注後, 歩行運動を 30 分間負荷し, T₁ 強調像を撮像した. 関節内注入法は Gd-DTPA 150~200 倍希釈液を 30 ml 関節内注入後, T₁ 強調像を撮像した. 単純 MRI, 静注法, および関節内注入法ともにスライス厚 3~4 mm にて矢状断および冠状断を撮像した. 関節鏡は静注法施行後 1~77 日 (平均 13 日) 後に施行した.

実際の評価に際しては, 損傷部位を半月板および靭帯にわけ, それぞれの断裂の有無を単純

キーワード knee injury, Gd-DTPA, MRI, arthrography

MRI, 静注法および関節内注入法の各画像により診断した。

単純MRIについては, 半月板損傷における診断基準を以下のように分類した^{1),7)}。

grade 0: 異常信号域の無いもの

grade 1: 関節面に達しない類円形異常信号域を認めるもの

grade 2: 関節面に達しない線状異常信号域を認めるもの

grade 3: 関節面に達する線状の異常信号域を認めるもの

このうち grade 3 のみを断裂ありとし, grade 0~2 は断裂なしとした。靱帯断裂は靱帯の辺縁不整, 靱帯の膨隆, 低信号域の途絶, 靱帯内または靱帯周囲の信号上昇の直接所見⁷⁾を認めるものとした。

MR 関節造影においては, 半月板損傷は半月板内に造影剤の入り込みを認めるもの¹⁾とし, 靱帯損傷は靱帯の辺縁不整, 靱帯の膨隆, 低信号域の途絶, 靱帯内および周囲の造影効果の所見を認めるもの¹⁾とした。これらのMR 画像所見を関節鏡所見と比較, 診断能を検討した。

結 果

関節鏡では半月板断裂は9例11半月板に認められ, うち内側半月板 (medial meniscus, 以下MM) 断裂は8例, 外側半月板 (lateral meniscus, 以下LM) 断裂は3例で認められた。MM断裂およびLM断裂における単純MRI, 静注法, および関節内注入法の診断能の比較結果をそれぞれTable 1, Table 2に示す。静注法においても, 関節内注入法と同様に半月板断裂部へ造影剤の入り込みが認められた。MM断裂, LM断裂いずれの場合も, 静注法の正診率は最も高かった。MM断裂においては, 関節内注入法の正診率は単純MRIより低く, 逆にLM断裂では関節内注入法の正診率は単純MRIより高かった。

単純MRIで偽陰性であったMM断裂1例とLM断裂のうち2例は, 静注法にて半月板内に線状の造影効果が認められ, 正診し得た。LM断裂の1例は単純MRI, 静注法ともに正診不能であった。単純MRI, 静注法および関節内注入法全てを施行した12例のうち, 静注法でのみ正診し得た症例がLM断裂で1例見られた。一方, MM断裂の1例は単純MRIお

Table 1. Comparison of Conventional MRI with Intravenous and Intraarticular MR arthrography in the Detection of Medial Meniscus Injury

Findings	Conventional MRI (n=16)	Intravenous MR arthrography (n=16)	Intraarticular MR arthrography (n=12)
True positive	7(43.8%)	7(43.8%)	5(41.7%)
False positive	1(6.3%)	0(0.0%)	2(16.6%)
True negative	7(43.8%)	8(50.0%)	5(41.7%)
False negative	1(6.3%)	1(6.3%)	0(0.0%)
Sensitivity (%)	87.5	87.5	100
Specificity (%)	87.5	100	71.4
Accuracy (%)	87.5	93.8	83.3

1997年3月12日受理 1997年5月29日改訂

印刷請求先 〒206 東京都多摩市永山1-7-1 日本医科大学付属多摩永山病院放射線科 小林由子

Table 2. Comparison of Conventional MRI with Intravenous and Intraarticular MR arthrography in the Detection of Lateral Meniscus Injury

Findings	Conventional MRI (n=16)	Intravenous MR arthrography (n=16)	Intraarticular MR arthrography (n=12)
True positive	0 (0.0%)	2 (12.5%)	1 (8.3%)
False positive	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
True negative	13 (72.2%)	13 (72.2%)	10 (83.3%)
False negative	3 (18.8%)	1 (6.3%)	1 (8.3%)
Sensitivity (%)	0.0	66.7	50.0
Specificity (%)	100	100	100
Accuracy (%)	81.3	93.8	91.6

よび関節内注入法では診断し得たが、静注法では断裂の指摘は不能であった。

靭帯損傷については、関節鏡で前十字靭帯 (anterior cruciate ligament, 以下 ACL) 断裂は12例に、後十字靭帯 (posterior cruciate ligament, 以下 PCL) 断裂は1例に認められた。内側側副靭帯断裂および外側側副靭帯断裂は、本検討例中には認められなかった。ACL 断裂における単純 MRI, 静注法, および関節内注入法の診断能の比較結果を Table 3 に示した。静注法においては、関節内注入法と比較して造影効果が弱い症例も見られたが、全例で関節腔内の構造と ACL の分離は良好であった。ACL 断裂の診断においても、静注法の正診率

は3法のうち最も高かった。

1例は単純 MRI, 関節内注入法, 静注法のいずれでも正診不能であった。また、ACL 部分断裂の1例では、単純 MRI および静注法では診断可能であったが、関節内注入法での正診は困難であった。

PCL 断裂は単純 MRI, 静注法, および関節内注入法のすべてで正診し得た。

症 例

1) 症例 1 24 歳女性 左 MM 断裂 (Fig. 1)

1ヶ月前, スキーで転倒し受傷。

単純 MRI (Fig. 1A, B) で左 MM 中節に断

Table 3. Comparison of Conventional MRI with Intravenous and Intraarticular MR arthrography in the Detection of Anterior Cruciate Ligament Injury

Findings	Conventional MRI (n=16)	Intravenous MR arthrography (n=16)	Intraarticular MR arthrography (n=12)
True positive	11 (68.8%)	11 (68.8%)	7 (58.3%)
False positive	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
True negative	4 (25.0%)	4 (25.0%)	3 (25.0%)
False negative	1 (6.3%)	1 (6.3%)	2 (16.6%)
Sensitivity (%)	91.6	91.6	77.8
Specificity (%)	100	100	100
Accuracy (%)	93.8	93.8	83.3

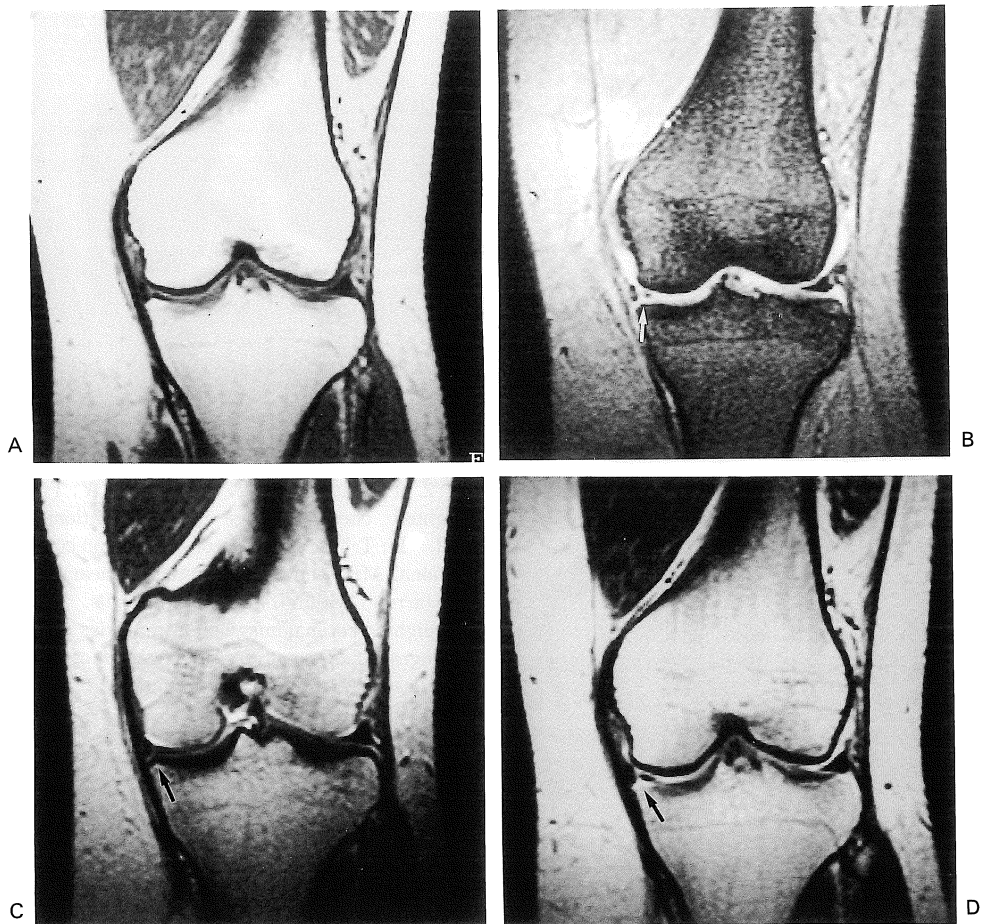


Fig. 1. 24-year-old female. (Case 1) A : T₁-weighted coronal image (SE, TR600/TE15) on conventional MRI. B : T₂*-weighted coronal image (FE, TR600/TE15, Flip Angle 30°) on conventional MRI shows suspicious grade 3 signal intensity (arrow) within medial horn of the medial meniscus. C : T₁-weighted coronal image on intravenous MR arthrogram shows contrast enhanced a well-outlined meniscal tear (arrow) and articular fluid. D : T₁-weighted coronal image on intraarticular MR arthrogram shows a higher degree of contrast enhancement of a meniscal tear (arrow) and articular fluid than 1C does.

裂が疑われた。静注法 (Fig. 1C) および関節内注入法 (Fig. 1D) ではともに同部位に線状の造影剤の入り込みが認められ、関節内注入法では断裂部および関節腔内は静注法に比し強く造影されていた。

2) 症例 2 17歳男性 右MM断裂 (Fig. 2)

5ヶ月前, サッカーで受傷.

単純MRI (Fig. 2A, B) でMM後節内に高

信号域の存在が疑われたが、関節面との連続性は明らかでなく、半月板の変性を反映した grade 2 の損傷が疑われた。静注法 (Fig. 2C) では同部に線状の造影効果が認められ、断裂と診断された。関節鏡でもMM後節の断裂が確認された。

3) 症例 3 18歳男性 ACL部分断裂 (Fig. 3)

3ヶ月前, サッカーで受傷.

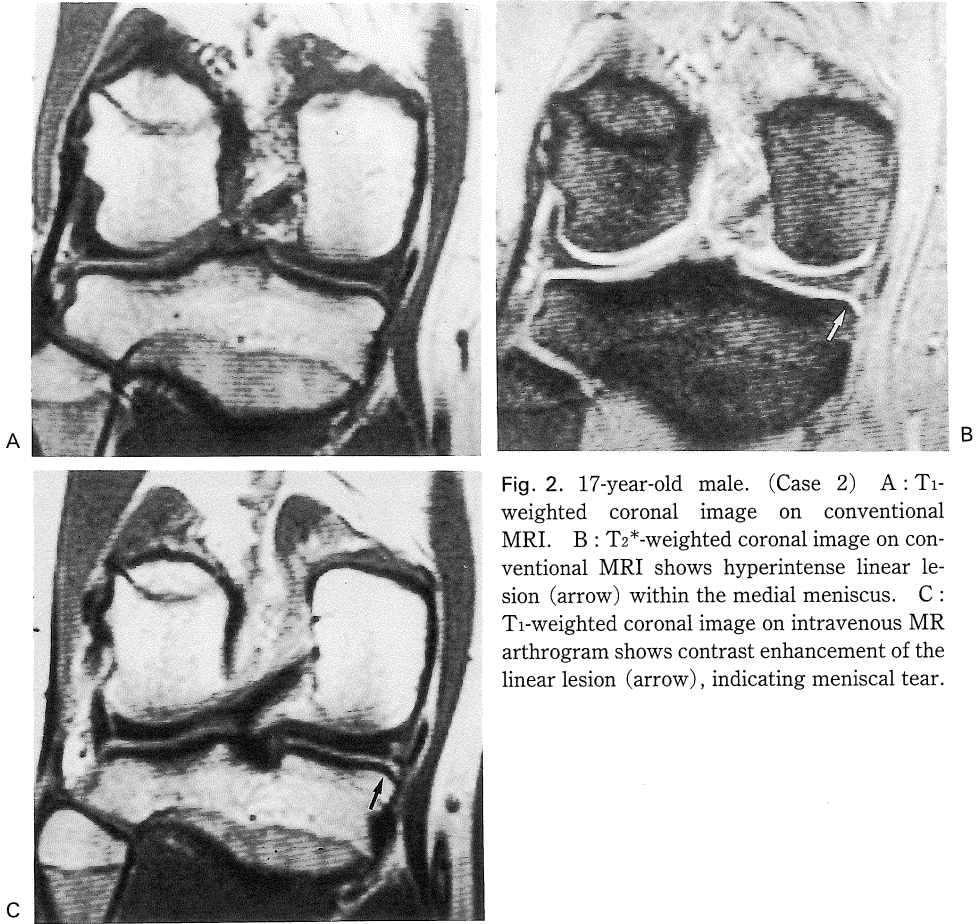


Fig. 2. 17-year-old male. (Case 2) A: T1-weighted coronal image on conventional MRI. B: T₂*-weighted coronal image on conventional MRI shows hyperintense linear lesion (arrow) within the medial meniscus. C: T1-weighted coronal image on intravenous MR arthrogram shows contrast enhancement of the linear lesion (arrow), indicating meniscal tear.

単純MRI (Fig. 3A, B) ではACLの連続性は保たれていたが、ACL全長にわたり靱帯の辺縁は不整となっており、脛骨側で信号の上昇が認められた。静注法 (Fig. 3C) ではACLの辺縁不整像とACL脛骨側およびACL周囲の滑膜の造影効果が認められ、ACL断裂が疑われた。しかしながら、関節内注入法 (Fig. 3D) では特に異常所見は指摘し得なかった。関節鏡ではACL脛骨側に部分断裂が認められた。

考 察

MR関節造影は関節内の構造を明瞭化し、膝

関節疾患の診断能を向上させる目的で施行されるが、従来はGd-DTPA希釈液を直接関節内に注入する関節内注入法により行われてきた^{1)~3)}。しかしながら、手技が煩雑であり、関節腔直接穿刺による感染の危険があることから、関節内注入法は普及しておらず、その適応は単純MRIで診断が困難な場合にのみ限定されている¹⁾。

最近、Gd-DTPA静注法によっても関節内注入法と同様な造影効果が見られることが明らかとなっており、簡便かつ侵襲の少ない方法として注目を集めている^{4)~6)}。Gd-DTPAの分子量は742.79と小さいため、細胞外液に分布しやすく、血中から関節液中へも容易に移行する。

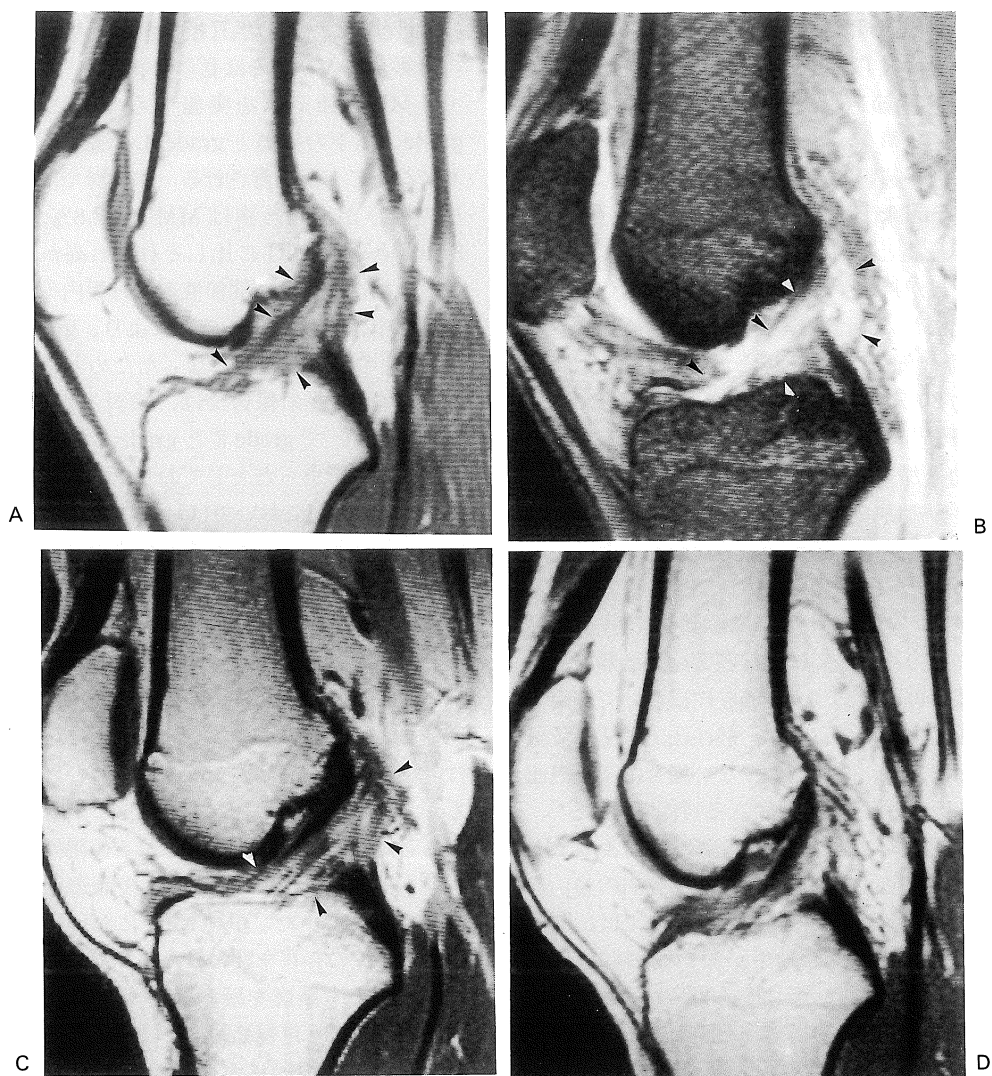


Fig. 3. 18-year-old male. (Case 3) A : T₁-weighted sagittal image on conventional MRI. B : T₂*-weighted sagittal image on conventional MRI. T₁- and T₂*-weighted sagittal image on conventional MRI shows wavy contour and increased signal intensity (arrowhead) on the anterior cruciate ligament (ACL). C : T₁-weighted sagittal image on intravenous MR arthrogram reveals irregular enhancement of the ACL and surrounding synovial membrane (arrowhead). D : T₁-weighted sagittal image on intraarticular MR arthrogram shows no abnormal signal intensity on the ACL.

また，関節腔内は安静時でも $-5\sim-1.6$ mmHgの陰圧である．このため静注されたGd-DTPAは関節腔内に拡散し，造影効果を示す^{4),6)}．Winalskiら⁴⁾は，安静時の膝関節では

静注後約10分で，関節内の造影効果が見られたと報告している．

運動負荷により関節内は更に強い陰圧となり，リンパ管を介した関節液の流出量も増加す

るため、Gd-DTPA の関節腔内への拡散も促進されると考えられている^{4),6)}。実際、静注法によるMR関節造影に関する過去の報告^{4)~6)}では、運動負荷をかけた症例では安静時の膝関節に比し強い造影効果が得られたとされており、特に Winalski ら⁴⁾は、運動負荷後30分で造影効果が最高となり、以後60分程度まで同様な造影効果が持続すると報告している。以上より本研究においては、Gd-DTPA 静注直後より歩行運動を負荷、静注30分後から撮像を開始し、約30分で撮像を終了することとした。従来の報告^{4),6)}においては、関節可動域内での屈伸運動も加えられていたが、本検討においては、疼痛を訴える症例にも配慮し、緩徐な歩行運動のみを負荷、患者の負担を軽減した。

Gd-DTPA 静注後のMRIでは、関節腔内およびACL周囲の滑膜は造影効果を呈していた。関節内注入法では関節腔穿刺時に関節液の量を調節可能であり、関節腔内において安定した造影効果が得られるが、静注法では関節液量を調節出来ず、関節液の少ない場合は関節内注入法に比し造影効果が弱くなる可能性がある⁶⁾。

本研究においても、関節内注入法によるMR関節造影像では常に一定した関節腔内の強い造影効果が得られたのに対し、静注法では、関節内注入法に比べ造影効果が弱い症例も見られた。しかしながら、半月板、関節軟骨および靭帯などの関節腔外の構造物と関節液のコントラストは静注法においても単純MRIに比し増大しており、臨床的には静注法によりほぼ十分な関節腔内の造影効果が得られていると思われる。

半月板断裂においては、MR関節造影にて断裂部に造影された関節液が入り込み、半月板内に高信号域が観察される^{1)~3)}。従来、半月板損傷の診断は単純MRI所見による分類からなされていたが、関節鏡で断裂の所見を呈さないgrade 2 (変性群) と手術適応とされるgrade 3 (断裂群) の鑑別が困難な場合も実際の臨床では度々経験される¹⁾。MR関節造影において

は、grade 2以下の半月板損傷では半月板内への造影剤の入り込みは見られない¹⁾。したがって、MR関節造影を実施することにより、grade 2以下の損傷とgrade 3の鑑別がより容易になることが期待される。本検討では、静注法のほうが、正診率はMMで93.8%、LMで87.5%と単純MRIに比しそれぞれ高かった。これは、造影された関節液の半月板内への入り込みの有無を確認することにより、grade 2とgrade 3の鑑別が容易になったためと考えられた。Drapé ら⁵⁾の報告では、検討した39例中7例(18%)でgrade 2とgrade 3の鑑別が静注法で可能であったとしており、また関節鏡を施行した14例においては、静注法での正診率は100%であった。手術適応を決定する上で、grade 2とgrade 3の鑑別が困難な症例には、侵襲性の点も考慮し、静注法を試みると良いと思われる。

静注法における半月板断裂の正診率は、関節内注入法と比較しても高い値を示した。これは、偽陽性例が静注法では認められなかったにもかかわらず、関節内注入法では2例見られたことによると思われる。これら偽陽性例はいずれも関節内注入法ではMM後節辺縁の断裂と診断されていた。単純MRIにおいて1例は異常信号域の存在を疑われたが、静注法においては2例とも断裂を疑わせる所見はなく、関節鏡においても可視範囲内では断裂は指摘し得なかった。本検討においては関節鏡の結果をgold standardとしており、関節鏡所見と合致したMRI所見を正診と判定した。しかしながら、MM後節は大腿骨内顆に阻まれ関節鏡で十分観察できず、診断不能なことがあるとされている⁷⁾。また、実際に単純MRIおよび関節内注入法で正診し得た症例で、静注法で見逃されたMM断裂症例が本検討においても1例認められており、これは関節内注入法に比し静注法における関節腔内の造影効果が弱く、断裂部への造影剤の入り込みが捉えきれなかったためと推測された。以上より、関節内注入法で見ら

れた偽陽性例も、半月板断裂症例であった可能性も否定し得ないと思われる。したがって、半月板断裂の診断目的で静注法を施行する際には、十分な造影効果が得られない場合も考慮に入れて診断すべきと思われた。

MR関節造影におけるACL断裂の診断能に関する報告はほとんど見られず、関節内注入法についてはその特異度が高く、断裂靭帯の輪郭や形状を明瞭化することが可能であるとの報告があるのみである¹⁾。静注法におけるACL損傷の診断能に関する報告は、我々の調べ得た範囲では現在まで見られない。

本研究では、ACL損傷における正診率が、関節内注入法では低かった。これは強い造影効果を呈する関節液のpartial volume effectの影響により、ACLの辺縁不整像ならびにACLおよび周囲の造影効果等の断裂を直接示唆する所見が認めづらくなったためと考えられた。特に部分断裂例の場合、Fig. 3のごとく、静注法では、ACLの辺縁不整ならびにACLおよび周囲滑膜の不整な造影効果が観察可能であったが、関節内注入法ではACL辺縁の不整像は指摘し得ず、注意を要すると思われた。一方、単純MRIと静注法はほぼ同等の正診率を呈したが、単純MRIにおいてはACL周囲滑膜の浮腫や出血の影響により、断裂したACLそのものの輪郭や断裂部位が不明瞭となる場合がある¹⁾。しかしながら、静注法においては、滑膜および関節腔内が造影されることにより、ACL断裂部位や断裂靭帯の形態の指摘がより容易であった。

MR関節造影は、手技が煩雑で侵襲的な関節内注入法が主流であったため、従来より単純MRIの補助診断法として用いられてきた¹⁾。本研究の結果、静注法のみを施行した場合の問題点として、関節腔内の十分な造影効果が得られない症例で半月板断裂が正診不能となる可能性が考えられる。本検討でも、静注法で診断不能であった半月板断裂が、単純MRIおよび関節内注入法では正診し得た例もみられた。臨床

上半月板断裂が疑われる症例では静注法のほか、単純MRI、特にT₂*強調画像の所見も併せて評価すべきと思われる。靭帯断裂の診断能は、静注法と単純MRIにおいて同等であることが本研究で示されており、コストのより安価な単純MRIのみで診断可能な場合もあると考えられる。したがって、静注法は、膝関節損傷が疑われる症例で、単純MRIにおいて診断が困難である場合に追加すると良いと思われる。

一方、近年では、新しい撮像法による膝関節損傷の診断の報告も散見されている^{7)~10)}。Fast spin echo法における半月板損傷の正診率はecho train長が4の場合83%で、echo train長が8の場合69%と報告されており⁸⁾、また、3D gradient echo法による半月板断裂の正診率は82~95%、ACL断裂の正診率は50~93%と報告されている^{9),10)}。これらの新しい方法においては、条件によってはconventional spin echo法や2D spin echo法に比し低い正診率を呈する場合もあり、現在のところ必ずしも有用とはされていない^{7)~9)}。これらの新しい撮像法は、本検討における静注法と比較すると、半月板断裂およびACL断裂の正診率はともに低い。したがって現在の時点では、静注法は、特に半月板断裂の疑われる症例における補助診断法としてfast spin echo法や3D gradient echo法に優先して行われるべき検査と思われる。しかしながら、将来のMRI装置や撮像法の進歩により、これらの新しい撮像法において静注法より高い正診率が得られる可能性も今後は予想される。その場合、造影剤を使用しないこれらの撮像法は簡便であり、かつコストも低く、運動負荷も不要であり、静注法に替わる方法となり得ると考えられる。

以上より、静注法は、簡便かつ非侵襲的に関節内注入法と同様の造影効果を得られる方法であると考えられた。また、静注法においては半月板断裂の診断が容易で、関節内注入法に比しACL損傷の診断における特異度が高いなどの特徴も備えており、今後関節内注入法に替わる

効果が期待しうる。

結 論

静注法によるMR関節造影と膝関節損傷症例に施行，その診断能を単純MRIおよびGd-DTPA関節内直接注入法によるMR関節造影と比較検討した。

半月板断裂およびACL断裂における静注法の正診率は単純MRIおよび関節内注入法に比し高く，有用であった。

[本稿の要旨は第55回日本医学放射線学会総会(1996年4月，横浜)において発表した.]

文 献

- 1) 小林由子, 杉崎健一, 村上隆介, 他: 膝関節損傷のMR関節造影—単純MRIとの比較—. 臨放 1995; 40: 911-916
- 2) Hajek PC, Baker LL, Sartoris DJ, et al.: MR arthrography: Anatomic-pathologic investigation. Radiology 1987; 163: 141-147
- 3) Engel A: Magnetic resonance knee arthrography; Enhanced contrast by gadolinium complex in the rabbit and in humans. Acta Orthop Scand 1990; 61(Suppl): 1-57
- 4) Winalski CS, Aliabadi P, Wright RJ, et al.: Enhancement of joint fluid with intravenously administered gadopentetate dimeglumine: technique, rationale, and implications. Radiology 1993; 187: 179-185
- 5) Drapé JL, Thelen P, Gay-Depassier P, et al.: Intraarticular diffusion of Gd-DOTA after intravenous injection in the knee: MR imaging evaluation. Radiology 1993; 188: 227-234
- 6) 大和 実: 膝関節の経静脈性MR関節造影. 日医放会誌 1994; 55: 466-469
- 7) Stoller DW, Cannon Jr WD, Anderson LJ. The knee. In: Stoller DW, ed. Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics & Sports Medicine. 2nd ed. Philadelphia, USA: Lippincott-Raven Publishers, 1997; 251-342
- 8) Anderson MW, Raghavan N, Seidenwurm DJ, et al.: Evaluation of meniscal tears: Fast spin-echo versus conventional spin-echo magnetic resonance imaging. Acad Radiol 1995; 2: 209-214
- 9) Heron CW, Calvert PT: Three dimensional gradient-echo MR imaging of the knee: Comparison with arthroscopy in 100 patients. Radiology 1992; 183: 839-844
- 10) Gückel C, Jundt G, Schnabel K et al.: Spin-echo and 3D gradient-echo imaging of the knee joint: A clinical and histopathological comparison. Eur J Radiol 1995; 21: 25-33

MR Arthrography with Intravenous Gd-DTPA Administration for Knee Injury : Comparison with Conventional MRI and Intraarticular Contrast MR Arthrography

Yuko KOBAYASHI¹, Ryusuke MURAKAMI¹, Ken-ichi SUGIZAKI¹,
Kanae YAMAMOTO¹, Natsuki TAJIMA², Yasuyoshi MASE³,
Tatsuo KUMAZAKI⁴

¹*Department of Radiology, Tama-Nagayama Hospital, Nippon Medical School
1-7-1, Nagayama, Tama-shi, Tokyo 206*

²*Department of Radiology, Chiba-Hokuso Hospital, Nippon Medical School*

³*Department of Orthopaedic Surgery, Tama-Nagayama Hospital, Nippon Medical School*

⁴*Department of Radiology, Nippon Medical School Hospital*

We studied the efficacy of MR arthrography with intravenous administration of Gd-DTPA for detecting meniscus and cruciate ligament injuries. Intravenous MR arthrography and conventional MRI were performed on 16 patients with clinically-suspected knee injury. Intraarticular MR arthrography was also carried out on 13 out of 16 patients. The overall accuracy in diagnosing medial meniscus tear, lateral meniscus tear and anterior cruciate ligament tear were all 93.8% with intravenous MR arthrography, whereas 87.5%, 81.3%, 93.8% with conventional MRI and 83.3%, 91.6%, 83.3% with intraarticular MR arthrography respectively. Intravenous MR arthrography was considered less invasive and more sensitive method in clarifying knee injury than intraarticular MR arthrography.