

0.5 T MRI 装置を用いた下肢の位相コントラスト MR アンギオグラフィー — 第 2 報 : Gd-DTPA の有用性について —

齋藤 陽子¹, 淀野 啓¹, 竹川 鉦一¹
 佐々木 泰輔¹, 樽沢 孝二¹, 兼平 二郎¹
 秋村 留美子², 高橋 聡¹, 斉川 裕子¹
 寺山 順子², 池崎 吉和³, 吉留 英二³

¹弘前大学附属病院放射線科

²鳴海病院放射線科

³横河メディカルシステム

はじめに

MR アンギオグラフィーは、造影剤を用いることなしに非侵襲的に血管を描出することができるため、最近関心を集めており種々の報告がなされている¹⁻⁸⁾。最近の技術的進歩はめざましく、短時間で情報量の多い MR アンギオグラフィーが得られるようになってきており臨床応用も可能となりつつある。我々は 0.5 T の MRI 装置を用いて下肢の閉塞性動脈疾患患者に対し位相コントラスト MR アンギオグラフィーを試み

ているが装置の制約もあり必ずしも満足のいく結果は得られなかった⁴⁾。一方、MRI 用の造影剤である、meglumine gadopentetate (以下 Gd-DTPA とする) は脳・脊髄疾患等に広く用いられるようになってきている副作用の少ない安全に使用できる薬剤である⁹⁾。我々は、Gd-DTPA が持つ組織の T₁ を短縮させる作用を信号強度増強に利用し、正常ボランティアを対象に Gd-DTPA を利用した MR アンギオグラフィーを施行し静注後に良好な血管像を得た⁵⁾。今回は、閉塞性動脈疾患症例にも応用し、画像の改善が得られたので報告する。

キーワード MRI, Angiography, Gd-DTPA

I. 対象および方法

1. 対象

対象は正常ボランティア 10 名および下肢の閉塞性動脈疾患 21 例の計 31 例で、患者群の内訳は、閉塞性動脈硬化症 19 例、閉塞性血栓性血管炎 2 例である。年齢はボランティア群は 25~40 (平均: 33.0) 歳、患者群では 30~74 (平均: 64.3) 歳、性別は全員男性であった。なお患者群中、閉塞性動脈硬化症の 5 例ならびに閉塞性血栓性血管炎の 2 例はバイパス術後の症例である (表 1)。

SEQUENCE

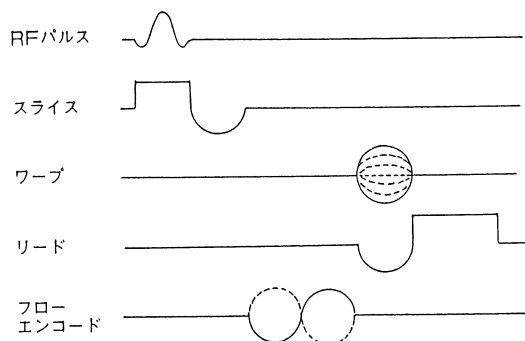


図 1 パルスシーケンス
極性が反対の 2 種類のフローエンコード勾配を用いて得られた 2 枚の画像の減算により画像を得た。

2. 方法

装置ならびに方法は前回の報告⁴⁾ とほぼ同様である。使用装置は、横河メディカルシステム社製、静磁場強度 0.5 T の RESONA システムで、位相コントラスト法¹⁾ により、fast scan (Gradient echo 法) を用いた。極性が反対の 2 種類のフローエンコード勾配を用いて得られた 2 枚の画像の減算により画像を得た (図 1)。

スキンの条件は、原則的に TR: 60 msec, TE: 30 msec, Flip angle: 30° または 40°, 撮像視野 (FOV): 25 または 35 cm, スライス厚: 5 cm, データ収集マトリックス: 256×256 で、平均加算回数 (NEX): 16, データ収集時間は約 8 分であった。受信用コイルには、表面コイルを用いたので両側の検査は不可能で、検査部位は一側のみである。なお Gd-DTPA の注入量は、0.1 mmol/kg で、肘部または前腕の表在静脈より注入した。スキンは静注前後で施行し、その画像を比較検討した。

3. 検討項目

1) Gd-DTPA 静注後のスキンの至適 flip angle

正常ボランティア 2 名において、Gd-DTPA 静注後のスキンの至適 flip angle を検討するため、静注前後で flip angle が 20°, 30°, 40°, 60°, 80° のスキンをを行いその画質を複数の放射線科医で検討した。スキんに際しては、NEX を 8 としてデータ収集時間を節減した。

表 1 対 象

		年 齢	性 別
正常ボランティア	10例	25~40 (33.0) 歳	男性
患者群	21例	30~74 (64.3) 歳	男性
閉塞性動脈硬化症	19例	55~74 (66.9) 歳	男性
閉塞性血栓性動脈炎	2例	30~49 (39.5) 歳	男性

受付年月日 1990年 8月 7日

別刷請求先 (〒036) 青森県弘前市本町53 弘前大学医学部附属病院放射線科 斎藤陽子

2) Gd-DTPA 静注後の血管の信号強度の経時的变化

正常ボランティア 8 名において NEX を 8 とした約 4 分のスキャンを、Gd-DTPA 静注前および静注後 30 分後までは 5 分おきに 6 回、その後は 60 分後まで 10 分おきに 3 回、計 10 回施行した。比較的太い血管に関心領域を設定し信号強度を求め静注前の信号強度を 1 とした名時点での信号強度比を算出した。

3) 静注前後の画像の検討

全例で、Gd-DTPA 静注前後でスキャンを行いそれらの MR アンギオグラフィー像での血管の描出のされ方を比較検討した。患者群では通常の動脈造影像をもとにして側副路やバイパスの描出能に関しても検討した。

4) Gd-DTPA 静注の副作用

Gd-DTPA 静注による副作用に関しては、自覚症状発現の有無について調べた。

II. 結 果

1) Gd-DTPA 静注後のスキャンにおける至適 flip angle の検討

はじめにボランティアで検討を行った。静注前のスキャンでは flip angle は 30° とした場合の画質が良好であった。Gd-DTPA 静注後では静注前に比し 40° 以上での画像が良好であり、至適 flip angle の幅が広がったが flip angle が 30° または 40° の画像が最良であった (図 2)。以上の結果より、患者群では、Gd-DTPA 静注後には flip angle を 30° または 40° としてスキャンを行った。

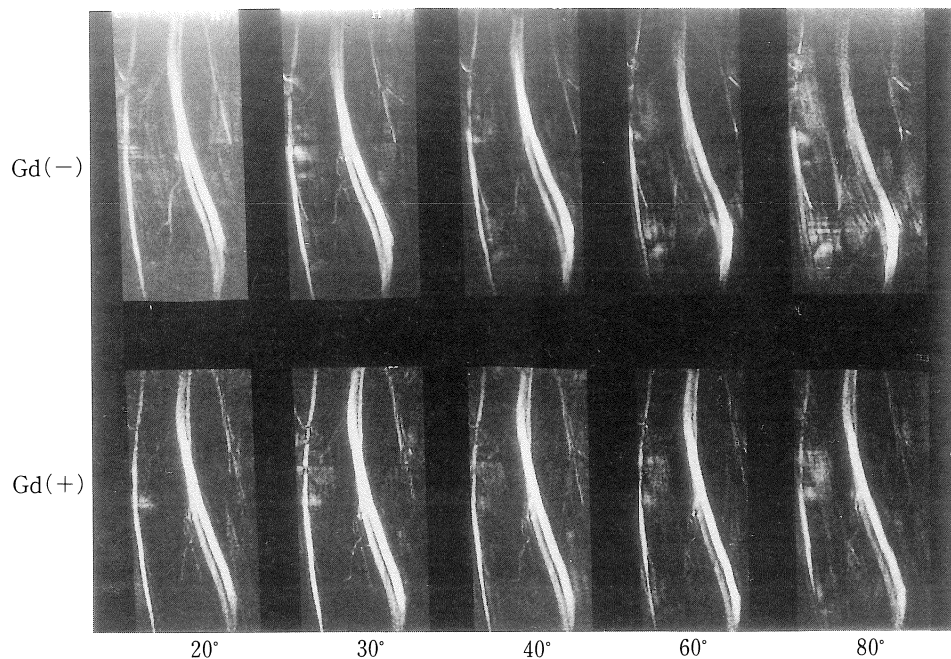


図 2 至極 flip angle の検討
Gd-DTPA 静注前のスキャンでは flip angle を 30° とした画像が良好であった。静注後では、flip angle

を 30° または 40° とした画像が最良であった。なお静注後では 40° 以上でも画像が良好であり至適 flip angle の幅が広がっている。

2) Gd-DTPA 静注後の信号強度の経時的変化

Gd-DTPA 静注後、血流の信号強度は急激に上昇し4～10分で最高となり、静注前の1.5～3.0倍であった。その後徐々に減弱したが、30～60

分後においても静注前に比しかなり信号強度が高く、通常の検査時間内は信号強度増強は十分持続すると考えられた(図3)。

3) Gd-DTPA 静注前後のMR アンギオ像の検

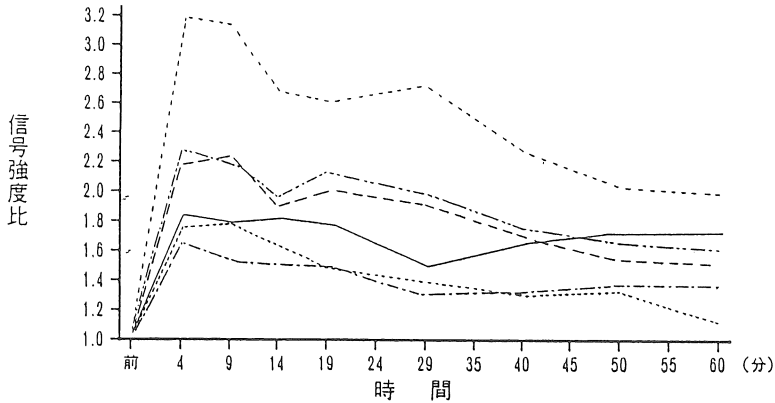


図3 Gd-DTPA 静注後の信号強度の経時的変化
Gd-DTPA 静注後、血管の信号強度は急激に上昇し4～10分で最高となりその後徐々に低下したが、

30～60分後においても静注前に比しかなり高かった。

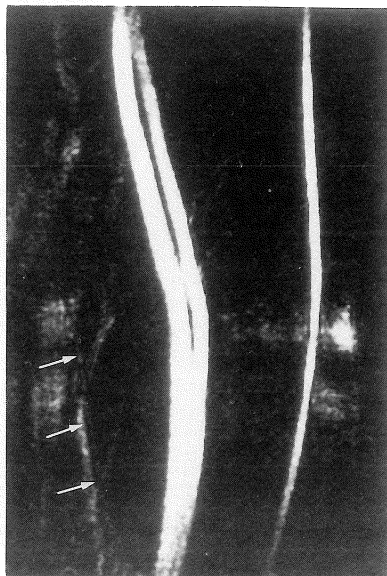
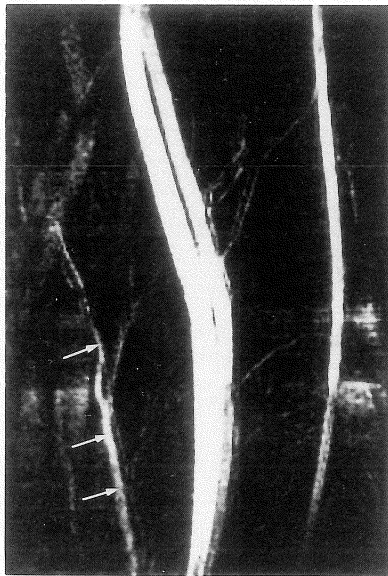


図4 症例1:37歳,男性,正常ボランティア
a. 左大腿部MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA 静注前)
b. 左大腿部MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA 静注後)

Gd-DTPA 静注前の左大腿部MR アンギオグラフィーでも、左大腿浅動脈と大腿静脈および大腿深動脈の分枝(→)の描出が認められるが(4 a), Gd-DTPA 静注後には分枝の描出がより明瞭となっている(4 b)。

討

全例で, Gd 静注により血管の信号強度が増強し血管のコントラストが良好となった. 特に, 末梢の細分枝の描出が良好となり, 閉塞性動脈疾患症例においては側副路の描出が良好となった. なお, Gd-DTPA 静注の有無にかかわらず, MR アンギオグラフィーでは血管の狭窄が強調される傾向があり, 狭窄部が閉塞様に見えた例もあった.

以下に症例を供覧する.

正常ボランティア (症例 1) の左大腿部 MR アンギオグラフィーでは伴走する左大腿浅動脈および大腿静脈が描出され, 大腿深動脈の分枝の描出も認められるが, Gd-DTPA 静注後には血管の信号強度が増強し左大腿深動脈の分枝の描出が良好となった (図 4).

閉塞性動脈硬化症例で, 大腿浅動脈が起始部で閉塞し, 発達した左大腿深動脈を介して左大

腿浅動脈が再び描出されていた例 (症例 2, 3) では, MR アンギオグラフィーでも側副路および再開通部が描出されているが, Gd-DTPA 静注後には側副路および再開通部の描出がより良好となっている (図 5, 6).

閉塞性動脈硬化症・大腿動脈-膝窩動脈バイパス術後例では (症例 4, 5), MR アンギオグラフィーでもバイパスおよび側副路の描出があるが, Gd-DTPA 静注によりこれらの描出が良好となった (図 7, 8).

4) Gd-DTPA 静注による副作用の検討

全例で, Gd-DTPA 静注による副作用は特に認められなかった.

III. 考 察

MR アンギオグラフィーは (1) 非侵襲性である, (2) 3 次的データ収集法^{3,6-8)} も応用されており

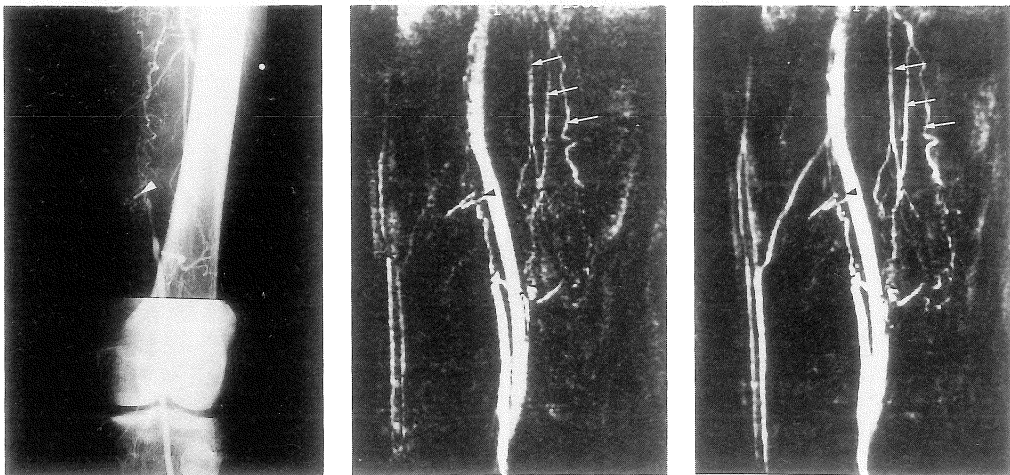


図 5 症例 2 : 72 歳, 男性, 閉塞性動脈硬化症
a. 左大腿部動脈造影像
b. 左大腿部 MR アンギオグラフィー (Gd-DTPA 静注前)
c. 左大腿部 MR アンギオグラフィー (Gd-DTPA 静注後)

動脈造影では左大腿浅動脈が起始部で閉塞し, 発達した左大腿深動脈を介して末梢の左大腿浅動脈が描出された (5 a). MR アンギオグラフィーでも側副路 (→) および再開通部 (▼) が認められる (5 b) が, Gd-DTPA 静注後にはより明瞭に描出されている (5 c).

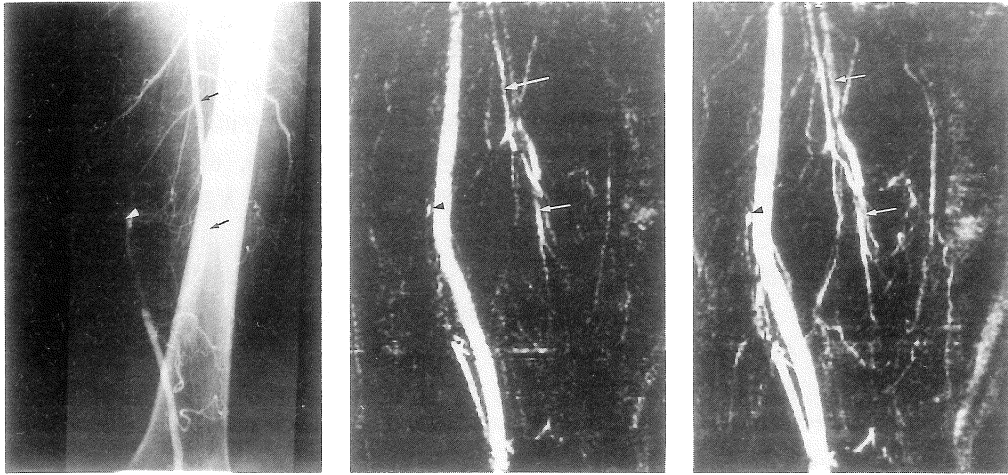


図6 症例3：72歳，男性，閉塞性動脈硬化症
 a. 左大腿部動脈造影像
 b. 左大腿部 MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA 静注前)
 c. 左大腿部 MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA 静注後)

動脈造影では左大腿浅動脈が起始部で閉塞し，末梢は発達した大腿深動脈を介して描出された(6 a)．MR アンギオグラフィーでも側副路(→)および再開通部(▼)の描出がある(6 b)が，Gd-DTPA 静注後にはより明瞭となった(6 c)．

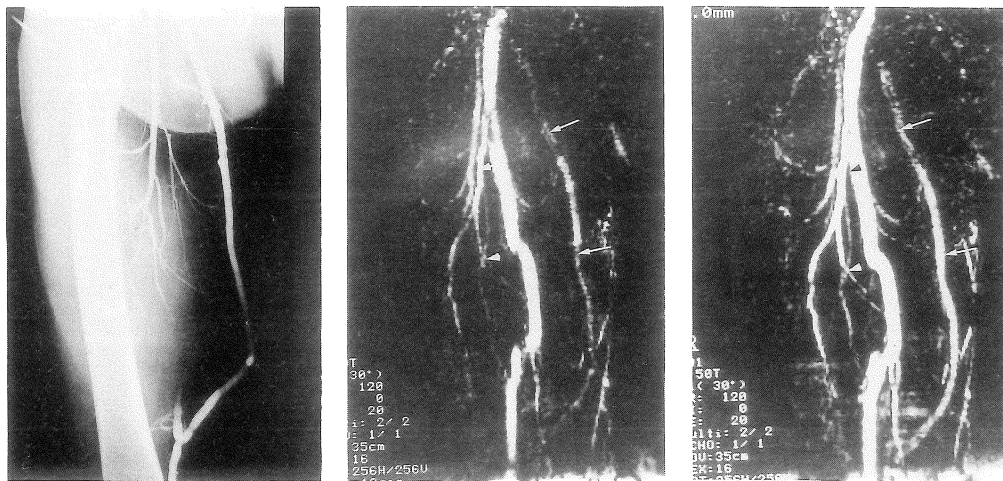


図7 症例4：66歳，男性，閉塞性動脈硬化症・
 右大腿動脈-膝窩動脈バイパス術後例
 a. 術中右大腿動脈造影像
 b. 右大腿部 MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA 静注前)
 c. 右大腿部 MR アンギオグラフィー(Gd-DTPA

静注後)
 術中動脈造影では膝窩部にバイパス遠位吻合部の描出がある(7 a)．MR アンギオグラフィーでもバイパス(→)および側副路(▼)が認められる(7 b)が，Gd-DTPA 静注により描出が良好となった(7 c)．

立体的観察が容易である, (3) シネモードの撮像・表示も可能である²⁾, (4) 流速測定の可能性も期待され^{10,11)} 応用範囲が広いなどの有用性があり, 今後もますます発展する分野と考えられる. 我々も 0.5 T MRI 装置を用いて下肢の位相コントラスト MR アンギオグラフィーを施行し, バイパス術後や血管拡張術後の経過観察への臨床応用の可能性を追求している. しかし, 正常例では良好な画像が得られたものの, 患者群では血管の信号強度が減弱する例もあり, 特に細い側副路は描出不良であることが多かった. 位相コントラスト MR アンギオグラフィーの信号強度 I は,

$$I = 2\rho \sin\phi$$

$$\phi = \gamma v T A_G$$

$$\rho = M_y$$

$$= M_0 \sin\theta (1 - e^{-TR/T_1}) (1 - \cos\theta \cdot e^{-TR/T_1})^{-1} \cdot e^{-TE/T_2^*}$$

と表される. ただし ρ はスピン密度, γ は磁気回転比, v は流速, T はフローエンコード勾配に用いた双極形磁場勾配の時間間隔, A_G はフロー

エンコード勾配の単位長さあたりの磁場強度と印加時間の積, TR は繰り返し時間, TE はエコー時間である. 従って血流量の減少は信号強度の低下を来すことになる. 患者群で側副路を形成する血管は, 血管径が細く流速も低下しており血流量が少なく, これが患者群において信号強度が低下する最大の要因と考えられた. この様な原因で我々の施行してきた MR アンギオ像を臨床応用するには限界があり, 画像の改善が望まれていた.

一方 MR 用の造影剤である Gd-DTPA は組織の T_1 を短縮させる薬剤であるが, Gd イオンと DTPA との結合は強固¹²⁾ で, 毒性は弱く¹³⁾ 副作用の発現頻度も少なく⁹⁾, X 線検査に用いられるヨード性造影剤と比較すると極めて安全な薬剤である. 我々は Gd-DTPA のもつ T_1 を短縮させる作用を, MR アンギオグラフィーに応用し, 画像に及ぼす効果に関し検討した. また下肢の閉塞性動脈疾患症例患者においては臨床的有用性についても併せて検討した. 位相コント

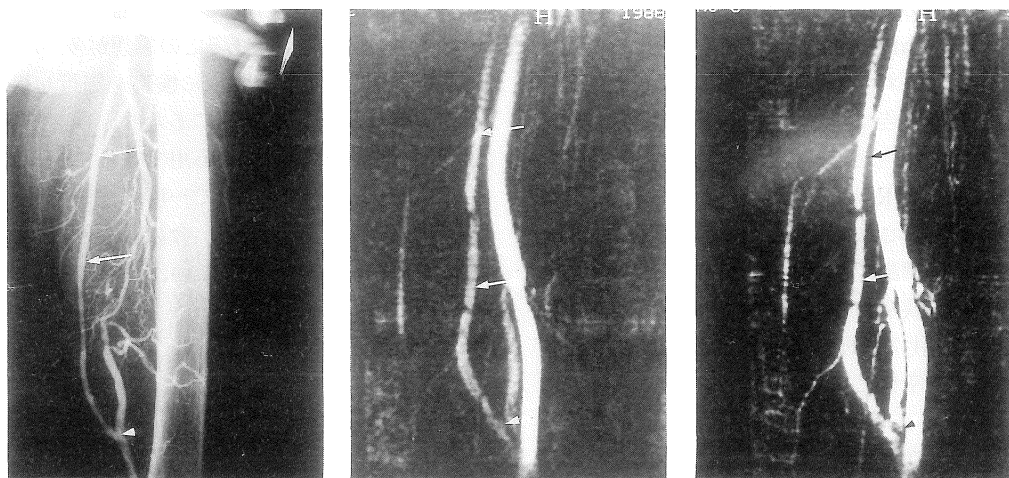


図 8 症例 5 : 67 歳, 男性, 閉塞性動脈硬化症・左大腿動脈-膝窩動脈バイパス術後例

a. 術中左大腿動脈造影像

b. 左大腿部 MR アンギオグラフィー (Gd-DTPA 静注前)

c. 左大腿部 MR アンギオグラフィー (Gd-DTPA 静注後)

術中動脈造影ではグラフト (→) と遠位吻合部 (▼) の描出がある (8 a). Gd-DTPA 静注後の方がこれらの描出は良好である (8 b, c).

ラスト MR アンギオグラフィーでは T_1 が短縮すると、 ρ が大きくなり、また信号強度が最大になる flip angle は大きくなる。そのため、Gd-DTPA により血液の T_1 が短縮すると、MR アンギオグラフィーでは血管の信号強度が増強することになる。実際のスキャンでも血管の信号強度が増強し血管のコントラストが良好となった。患者群、なかでも動脈閉塞症例では流速が低下するために側副路があまりよく描出されない例もあるが、その様な症例でも Gd-DTPA により血管の信号強度が増強し、側副路や血管細分枝のコントラストが良好となり描出能が良くなった。閉塞性動脈硬化症例においては、Gd-DTPA 投与は側副路の観察に非常に有用であると考えられた。なお、他にも現在各施設で施行されている MR アンギオグラフィーには様々な方法があり、大きく Time of Flight 法と位相コントラスト法とに 2 分されている。MR アンギオグラフィーの信号強度を規定する要因は方法により異なるので、Gd-DTPA 静注による信号強度の変化の仕方も方法により異なると考えられる。なお、Time of Flight 法に Gd-DTPA を応用した報告は見られるが、位相コントラスト法に応用した文献報告は我々の検索し得た限りでは無く、我々の報告が最初のようなものである。

一般的に MR アンギオグラフィーでは、血管の狭窄が強調されて見えたり閉塞様に見える例もあり、狭窄部で生じた乱流のためと考えられているが、狭窄の程度の判定にはなお問題が残っている。我々の検討でも非狭窄部が MR アンギオ像上狭窄様に見えた例があった。しかしながら MR アンギオ像で開存していると判断できる例では、血管造影上も全て開存しており、バイパス術後や血管形成術後例の経過観察に応用できる可能性が示唆された。

血管の信号強度は、Gd-DTPA 静注後急激に上昇し、その後徐々に低下したが、約 1 時間後においてもその信号強度増強は持続していた。

Gd-DTPA は静注後速やかに血中から消失するとされており⁹⁾、そのため MR アンギオでは信号強度の持続時間が短いと予想されたが、実際の検査にあたっては持続時間は十分であった。これは血中の Gd-DTPA 濃度と血液の T_1 短縮の程度とが比例しないためと推察された。

MR アンギオの大きな利点の 1 つは非侵襲性ということであるが、Gd-DTPA は副作用も少なく比較的 safely 使用できる造影剤である。本法の 1 回のデータ収集時間は約 8 分であり、位置決め用の撮像や、造影前後の 2 回の撮像を合わせても約 30 分で検査を終了することが可能で、検査時間はさほど長くない。もし平均加算回数を増しデータ収集時間をさらに長くすれば得られる MR アンギオ像の S/N は良くなると考えられるが、検査時間の延長は患者の苦痛を増すことになる。よって、Gd-DTPA を投与し検査時間の延長なしに MR アンギオ像が良好になることは意義深いと考えられる。今回の検討症例では造影剤の副作用も認められなかった。その他にも特に訴えはなく、また通常の血管造影や IV-DSA より低侵襲性であるとの感想が多くの患者から聞かれ、容易かつ安全に検査を施行し得た。

今後臨床応用を試みるにあたり、検討課題として (1) 腹部・骨盤部にも応用できること、(2) 両側下肢を同一撮像視野内で一度に検査可能であること等があげられるが、今後も症例を重ね、さらに画像の改善に努めたい。

結 論

0.5 T MRI 装置を用いた下肢の位相コントラスト MR アンギオグラフィー施行にあたり正常ボランティア 10 例および下肢の閉塞性動脈疾患患者 21 例の計 31 例に Gd-DTPA を投与しその有用性に関して検討し、以下の結論を得た。

1. Gd-DTPA 静注により全例で血管の信号強度が増強し血管のコントラストが良好となった。

特に末梢の細分枝や側副路の描出が良好となった。

2. Gd-DTPA 投与による副作用はみられなかった。

3. 位相コントラスト MR アンギオグラフィーにおいて Gd-DTPA 投与は非常に有用で、特に 0.5 T MRI 装置においては S/N の制約や患者群での流速低下による信号強度の低下を補う有効な手段であると考えられた。

(本論文の要旨は平成元年 2 月, 第 13 回日本磁気共鳴医学会大会において発表した。)

文 献

- 1) Dumoulin CL, Hart HR: Magnetic Resonance angiography. *Radiology*, 161: 717-720, 1986
- 2) Souza SP, Dumoulin CL: Dynamic magnetic resonance angiography. *Dynamic Cardiovascular Imaging* 1: 126-132, 1987
- 3) Dumoulin CL, Souza SP, Walker MF, et al.: Three-dimensional phase contrast angiography. *Magn. Reson. Med.*, 9: 139-149, 1989
- 4) 斎藤陽子, 竹川鉦一, 淀野 啓, 他: 0.5 T MRI 装置を用いた下肢の位相コントラスト MR アンギオグラフィー. *日磁医誌*, 9: 37-44, 1989
- 5) 斎藤陽子, 淀野 啓, 樽沢孝二, 他: Gd-DTPA を利用した MR アンギオグラフィーの研究. *日本医放会誌*, 49: 134-136, 1989
- 6) 大内敏宏: MR Angiography. *画像診断*, 9: 918-926, 1989
- 7) 青樹 毅, 宮坂和男: 頸部および頭蓋内血管病変での MR Angiography と血管造影. *画像診断*, 10: 169-175, 1990
- 8) Creasy JL, Price RR, Presbrey T, et al.: Gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology*, 175: 280-283, 1990
- 9) 吉川宏起, 西川潤一, 小坂 登, 他: MRI 用造影剤 Gd-DTPA (dimegulumine gadopentetate) の臨床第 I 相試験. *画像診断*, 6: 959-969, 1986
- 10) Matsuda T, Shimizu K, Sakurai T, et al.: Measurement of aortic blood flow with MR imaging: comprehensive study with Doppler US. *Radiology*, 162: 857-861, 1987
- 11) Maier SE, Meier D, Boesiger P, et al.: Human abdominal aorta: comparative measurements of blood flow with MR imaging and multigated doppler US. *Radiology*, 171: 487-492, 1989
- 12) 東 治喜, 野村重雄, 浅野圭二: ラットにおける Gadepentetate (Gd-DTPA) の生体内動態—血中動態, 代謝および排泄. *日独医報*, 32: 588-592, 1987
- 13) 石田小津枝, 三輪美貴子, 仲尾寿夫: ガドペンテト酸メグルミンと毒性研究(I)—マウス・ラットにおける急性毒性試験—。 *日独医報*, 32: 476-484, 1987

**Phase contrast MR-angiography of lower extremities
with use of 0.5 T MRI unit
—second report : usefulness of Gd-DTPA—**

YOKO SAITO,¹ HIRAKU YODONO¹
SHOICHI TAKEKAWA,¹ TAISUKE SASAKI¹
KOJI TARUSAWA,¹ JIRO KANEHIRA¹
RUMIKO AKIMURA,² SATOSHI TAKAHASHI¹
YUKO SAIKAWA,¹ JUNKO TERAYAMA²
YOSHIKAZU IKEZAKI,³ EIJI YOSHITOME³

¹*Department of Radiology, Hirosaki University, School of Medicine
53 Honcho, Hirosaki, Aomori, 036*

²*Department of Radiology, Narumi Hospital*

³*Yokogawa Medical Systems*

We carried out phase contrast MR-angiography of lower extremities with intravenous administration of Gd-DTPA. Ten healthy male volunteers and twenty-one patients with arterial disease were examined with a 0.5 T MRI unit. Fast scan technique was used and data acquisition times were about 8 minutes. Injection dose was 0.1 mmol/kg. In every case, the signal intensities of the vessels with Gd-DTPA were higher than those without Gd-DTPA. MR-angiography with Gd-DTPA was very useful to demonstrate clearly the smaller collateral vessels of the patients. No significant side effect occurred in the use of Gd-DTPA. Therefore this method was thought to be very useful clinically to study arterial disease.