

## Gd-DTPA 持続静注を用いた骨盤、下肢動脈の 3次元 MR angiography

天沼 誠, 田村 綾子, 渡部 恒也, 山崎美保子, 杉本 映一,  
平敷 淳子

埼玉医科大学放射線医学教室

### はじめに

骨盤下肢における動脈の血流速度は個人差が大きく、動脈の閉塞性変化を有する症例ではその速度の低下は著しく、左右差も大きい。これらの問題点から現在この領域の MR angiography (以下 MRA) には主として軸位断による 2次元 time-of-flight 法 (以下 TOF 法) が用いられている<sup>1),2)</sup>。この方法は速度の遅い血流に対しても敏感であり、広い速度幅の血流信号を描出することができるため比較的良好な MRA を得ることが可能である。反面、長い血管の走行を描出するためには多くのスライス数が必要となるため検査時間が長くなり、また、血管の狭窄性変化にたいする見落とし、過大評価などの問題点も指摘されている<sup>3),4)</sup>。今回、Gd-DTPA と高速の 3次元撮像法を用いて短時間で、より高分解能の MRA を得る方法を試みた。位相エンコード順の改良による動脈の選択的描出の基礎的検討を行い、臨床例に応用したので報告する。

### 対象および方法

装置はシーメンス社 Magnetom H15SP (1.5 T) を、パルス系列は 3次元 FLASH 法<sup>5)</sup>を用いた。エコー時間 (TE) の設定において背景の脂肪信号の抑制を目的に水と脂肪の横磁化成分の位相が反転する opposed phase に設定し (7.5 ms)<sup>6)</sup>、繰り返し時間はこの範囲で最短の 11.5 ms とした。撮像断面は冠状断とし、FOV は 300 ないし 400mm とした。スラブ厚は 128mm、3次元スラブ分割数は 64、面内の matrix 数は 256×256 とした。

造影剤は市販の Gd-DTPA (371mgGd/ml) 20ml を自動注入器により持続静注した。注入時間は撮像開始 30 秒前より撮像終了までの約 4 分間とし、注入手技上の必要性から生理食塩水 40ml にて 3 倍希釈した。

上記の条件での撮像時間は 3 分 25 秒であるが、撮像後期の静脈信号の増強を抑制するため面内の位相エンコード配列を変更し、撮像の前半で、周波数空間上の低周波数成分のデータが得られるようにパルス系列を改良した (以下 reorder 法)<sup>7)</sup>。

### (1) Phantom 実験

通常の位相エンコード配列 (linearly ordered phase encoding, 以下 conventional 法) および reorder 法で内径 2.5mm、長さ 160cm のプ

プラスチック管を用いた血管モデルを撮像し、造影剤到達時間と血管描出の程度の検討を行なった。全体に造影剤を満したプラスチック管の静止画像を撮像後、2つのパルス系列により造影剤注入下の画像を得た。なお、各撮像前に空気を圧入し、プラスチック管内に残存する造影剤を完全に除去してから画像を得た。造影剤は撮像開始時にプラスチック管近位端から500倍に希釈したGd-DTPA (743mg/l)を一定速度(0.8cm/秒)で注入し、撮像終了時に撮像部遠位端に到達するように注入速度を設定した。プラスチック管は走行が3次元slab面と平行になるように配置した。各方法ごとに3回撮像を繰り返し、近位端から遠位端にいたる等間隔の11箇所て信号雑音比(以下SN比)を計測し、平均値を求めた。

## (2)臨床応用

対象は1994年11月より95年6月までに埼玉医科大学放射線科においてMRIを施行した26例であり、臨床的に心臓及び脈管系に明かな異

常のない8例(第1群, 男性1例, 女性7例, 平均年齢54歳)および下肢動脈およびその灌流領域に異常を有する18例(第2群, 男性11例, 女性7例, 平均年齢66歳, Table 1)である。第2群のうち14例に対しては血管造影が施行されている。血管造影の行われていない4例も超音波, CT, MRIにより病変の存在が確認されている。

得られた画像において第1群において(1)部位による血管の描出能, (2)静脈描出の程度, (3)動脈および静脈信号を検討した。動脈の描出能は再構成画像において各血管分枝をexcellent: 血管が明瞭にかつ連続的に描出され, 閉塞や狭窄性変化の評価が可能。good: 血管が連続的に描出され, 開存が確認できるが狭窄の程度の評価が困難な領域が存在する。fair: 血流信号の不均一性のために血管の連続性が保たれない領域が存在する。poor: 血管が描出されていない。の4段階に分けて評価した。また, 静脈描出の程度は再構成画像上で観察可能なすべての静脈

Table 1. Summary of the Cases (Group 2)

Case	Age	Sex	Disease	Angiographic findings
1	75	M	ASO	occlusions of bilateral iliac arteries
2	59	M	ASO	99% stenosis of left common iliac artery
3	61	M	ASO	occlusion of right femoral artery
4	78	M	ASO	occlusion of left femoral artery
5	79	F	ASO	stenoses of left common and iliac arteries
6	51	F	ASO	stenosis of left femoral artery
7	60	M	TAO	occlusion of left popliteal artery
8	75	M	ASO	occlusions of aorta and common iliac arteries
9	69	F	TAO	normal angiogram
10	66	M	TAO	stenoses of bilateral common iliac arteries
11	45	F	Aortitis	occlusions of aorta and common iliac arteries
12	74	M	AVM	developed abnormal pelvic vessels
13	50	F	Ewing sarcoma	not available
14	56	F	myeloma	not available
15	65	F	arthritis	not available
16	82	F	ovarian cancer	not available
17	73	M	Aneurysms	abdominal aorta and common iliac aneurysms
18	74	M	Aneurysms	bilateral common iliac aneurysms

ASO=arteriosclerosis obliterance, TAO=thromboangitis obliterans,  
AVM=arteriovenous malformation

1995年8月3日受理 1995年12月4日改訂

別刷請求先 〒350-04 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂山本郷38 埼玉医科大学放射線医学教室 天沼 誠

を指摘し，その頻度を検討した。血流信号は原画像上での各血管のSN比を測定した。

第2群においては得られたMRA像において第1群と同様に描出静脈の部位および頻度を検討した。また腹部大動脈から浅大腿動脈にいたる動脈本幹を9つのsegmentに分け（腹部大動脈，左右総腸骨動脈，左右大腿動脈遠位部），血管造影の得られた14例において比較の可能なすべてのsegmentに対して(1)完全閉塞(2)70%以上の有意狭窄(3)200%以上の拡張の有無を検討し，血管造影所見をgold standardとしてそのsensitivityおよびspecificityを求めた。

SN比の測定を除き以上の検討は2名の放射線科医によって独立に行い，結果に不一致があった場合のみ合議により判定した。

## 結 果

### (1) Phantom 実験

Fig.1 に造影剤を満たした状態，およびcon-

ventional法，reorder法における造影剤注入下のphantomの3次元再構成像を示す。Conventional法では撮像面内においてphantomの近位側（注入側）の60-70%が高信号構造として描出されるがreorder法では均一な高信号として描出されているのは近位側の20-30%であった。

Fig.2 にphantomの信号の確認が可能であった近位部からの7点におけるSN比の変化を示す。いずれの方法でも遠位側1/4では背景信号と判別できず測定不可能であった。Reorder法はconventional法と比較して近位側1/4より急激に信号が低下し，撮像後期に生じてくる信号上昇が相対的に抑制されることがわかる。

### (2) 正常例（第1群）

Fig.3 に正常例のMRA再構成像を，Fig.4 に第1群における各血管分枝の描出能を示す。腹部大動脈より浅大腿動脈にかけての下肢動脈本幹では外腸骨動脈の描出がfairとされた症例がのべ2例あった以外全例，全血管分枝ともexcellentと評価された。また，内腸骨動脈本

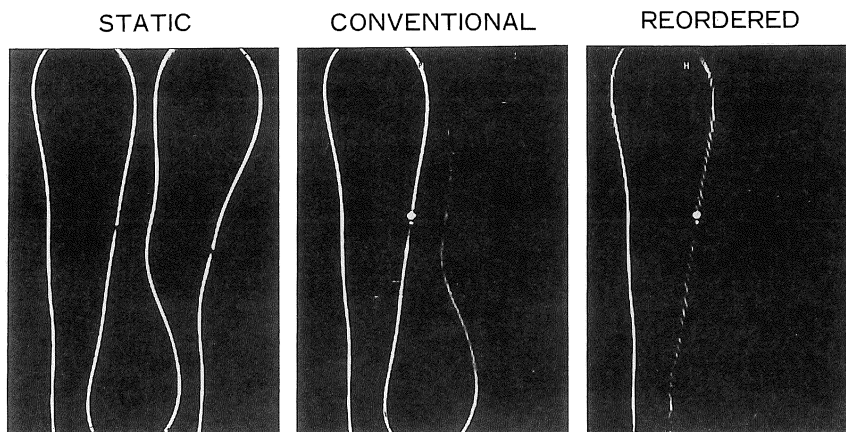


Fig.1. Reconstructed 3D images of static plastic tube filled with Gd-DTPA solution (static), and images obtained during slow infusion of Gd-DTPA solution using conventional linearly ordered phase encoding (conventional) and reordered phase encoding (reordered) methods. The proximal end is at left bottom and the distal end is at right bottom. Note that only proximal part of the tube reveals high signal with the reordered method.

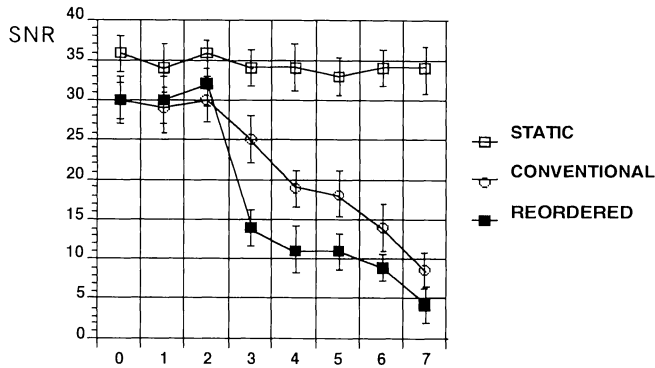


Fig.2. SNRs measured at 11 points of the tube. Transverse axis represents points of signal measurement (0=proximal end, 5=midportion, 10=distal end, not shown). With reordered method SNRs are significantly lower than those with conventional method except for the proximal one fifth of the tube.

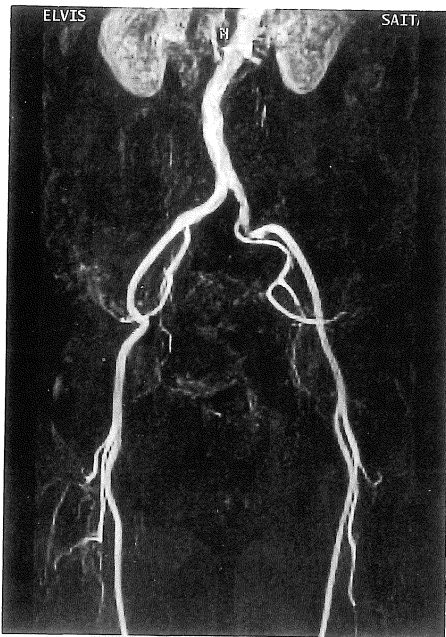


Fig.3. Reconstructed 3D MRA of normal 71-year-old lady. Abdominal aorta and major arteries of lower extremities are clearly demonstrated. Note no venous structure is detected in spite of long acquisition time.

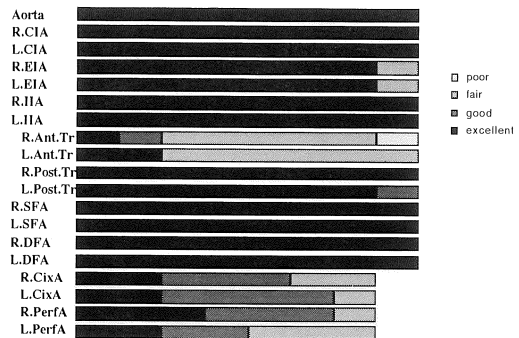


Fig.4. Subjective assessment of visualizaion of the arterial branches in eight cases. R.=right, L.=left, CIA=common iliac artery, EIA=external iliac artery, IIA=internal iliac artery, Tr=trunk, SFA=superficial femoral artery, DFA=deep femoral artery, CixA=circumflex artery, PerfA=perforating artery.

幹, 深大腿動脈の描出も全例で excellent とされたほか, 長軸方向に対して垂直に近い走行をとる内腸骨動脈後幹などの分枝の評価も良好であった。外側回旋動脈, 深大腿動脈穿通枝など径の小さい枝では描出能に限界があった。

Table 2 に第 1 群において描出された静脈を示す。静脈は 8 例中 3 例で認められ, 5 症例においては動脈のみの選択的な画像が得られた。検討した 104 静脈中検出されたものは 14 血管 (13.5

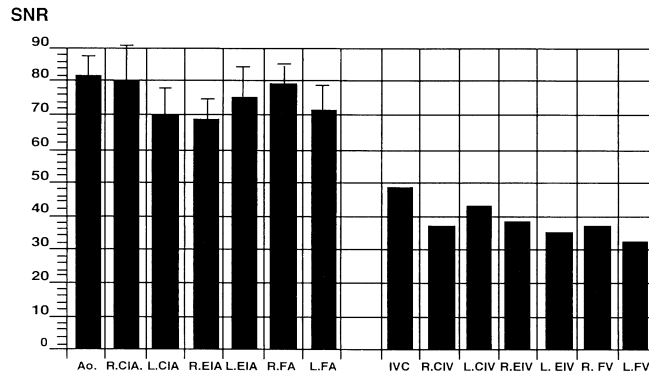


Fig.5. SNRs of arterial branches and detected veins.  
Ao.=aorta. Other abbreviations are same as those on Fig.4.

Table 2. Detected Veins on Reconstructed 3D MRAs (n=8)

Inferior vena cava	1
right common iliac vein	0
left common iliac vein	1
right external iliac vein	1
left external iliac vein	3
right internal iliac vein	1
left internal iliac vein	1
right femoral vein	2
left femoral vein	2
right lateral circumflex vein	0
left lateral circumflex vein	0
right great saphenous vein	1
left great saphenous vein	1

%)で、うち1例では末梢の大伏在静脈および大腿静脈であったが他の2例はより中枢側の静脈が部分的に描出された。

Fig.5に主要動脈および描出された静脈のSN比を示す。静脈は信号の上昇がないために原画像上でも背景と区別できないものがほとんどで、再構成像で描出されたもののみを測定し平均を求めた。動脈のSN比は血管によらずほぼ均一の値を示した。また、静脈の信号は動脈に対して有意に低い値を示した。

(3)疾患群 (第2群)

第2群18例中1例が下肢の疼痛のために安静

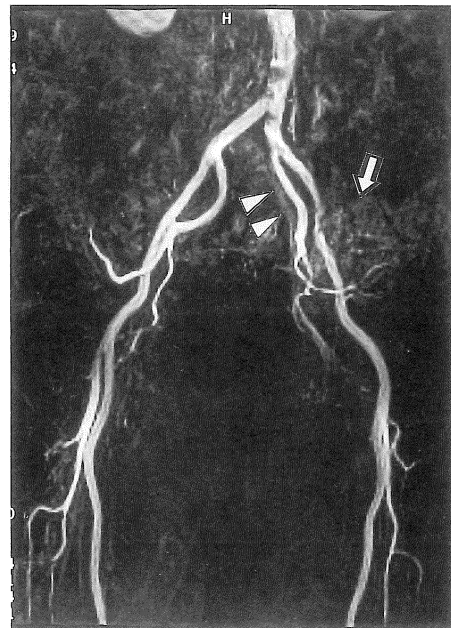


Fig.6. 65-year-old lady with pyogenic arthritis of the left sacroiliac joint. Note enhancement of the joint (arrow) and demonstrated left internal iliac vein (arrowheads).

仰臥が保てず、得られた画像の評価が不可能であった。他の17例ではいずれも良好なMRAが得られた。17例中静脈描出の見られたのはいずれも局所の血流増加の疑われた5例(動静脈奇形, 仙腸関節炎, 多発性骨髄腫, Ewing肉腫,

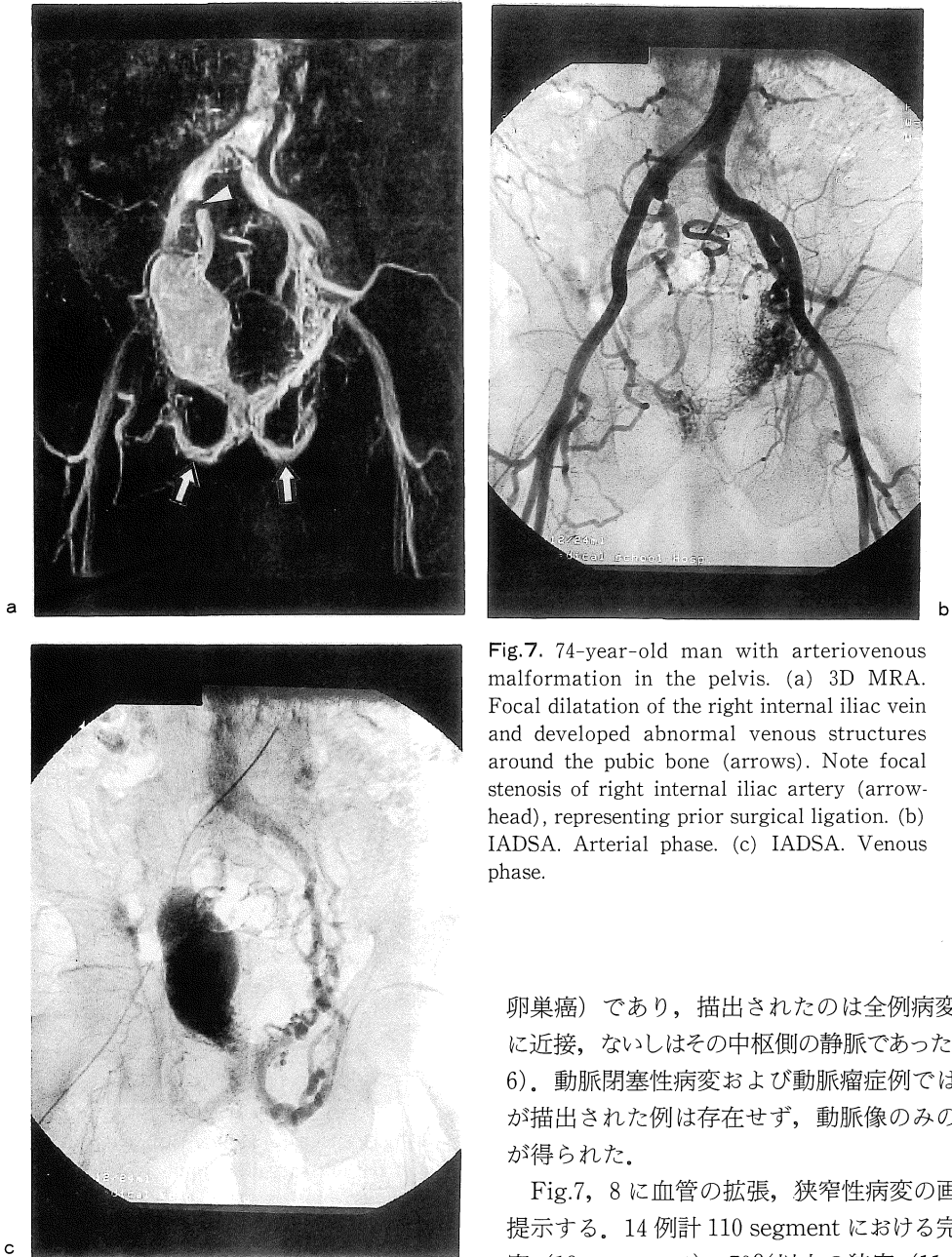


Fig.7. 74-year-old man with arteriovenous malformation in the pelvis. (a) 3D MRA. Focal dilatation of the right internal iliac vein and developed abnormal venous structures around the pubic bone (arrows). Note focal stenosis of right internal iliac artery (arrow-head), representing prior surgical ligation. (b) IADSA. Arterial phase. (c) IADSA. Venous phase.

卵巣癌) であり、描出されたのは全例病変部位に近接、ないしはその中枢側の静脈であった (Fig. 6)。動脈閉塞性病変および動脈瘤症例では静脈が描出された例は存在せず、動脈像のみの画像が得られた。

Fig.7, 8 に血管の拡張、狭窄性病変の画像を提示する。14 例計 110 segment における完全閉塞 (13 segment), 70%以上の狭窄 (11 segment), 200%以上の拡張所見 (8 segment) に対する sensitivity は 100%, 100%, 100%, specificity はそれぞれ 100%, 93.9%, 98.0% であり, MRA 所見はこれらの変化に対して血管造影所見とよい一致がみられ, 高い正診率が得

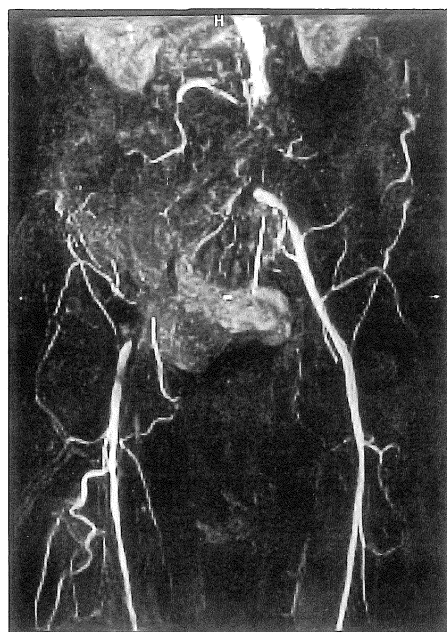


Fig.8. 75-year-old man with ASO. MRA demonstrates occlusion of distal abdominal aorta and bilateral common iliac arteries. Right external iliac and left common iliac arteries are reconstituted via developed collateral channels.

られた。

## 考 察

骨盤下肢領域の動脈は一般に末梢抵抗の大きさを反映して血流速度が小さく、しかもこの領域で発生する病変の多くは、狭窄、閉塞その他の変化により血流速度がより低下するものが多い。このため3次元 TOF では血流信号の飽和効果により血流信号の低下を生じ、診断に有効な画像を得ることは困難である。また血管の大きさ、病変の程度により症例、部位により血流速度が大きく異なるため phase contrast (PC) MRA の適応は限られてくる。これらの理由からこの領域の MRA には通常遅い血流にも敏感な2次元 TOF 法が用いられることが多い<sup>1),2)</sup>。しかし、2次元 TOF 法では血流信号を大きくするた

めに軸位方向の撮像断面を用いるのが一般的で、3ないし4mmのスライス厚を使用した場合には100スライス以上の画像を必要とし、撮像、再構成、処理時間、データ保管の面からも通常のルーチン検査に組み込みにくい欠点がある。また、McCauleyらが指摘するように開存する血管の描出能が高い一方で閉塞性病変を見落とす可能性が大きい、高度狭窄の場合、病変の程度を過大評価しやすいなどの欠点がある<sup>3),4)</sup>。

今回使用した3次元法では冠状断方向のデータ収集と、短いTRにより約3.5分で骨盤、下肢動脈のMRAを得ることができた。FOVを350mmとしたとき、単位ボクセルの大きさは $1.56 \times 1.56 \times 2.0\text{mm}$ であり、従来の2次元TOFにまさる高分解画像を1/3ないし1/5程度の検査時間で得ることが可能である。造影剤の使用およびopposed phaseでのデータ収集により背景信号との高いコントラストを有するMRAが可能であった。なお、1.5Tにおけるopposed phaseのタイミングは約6.9msとされているが<sup>8)</sup>、人体における脂肪組成は単純ではなく、我々の施設では正常ボランティアによる基礎検討から現在7.5msを採用している。

撮像時間が3分以上かかるため血液の循環速度から静脈系の同時描出が予想される<sup>9),10)</sup>。しかし、今回の撮像条件で静脈系の描出がみられたのは第1群では8例中3例、第2群では18例中5例のみで、いずれも軽度の信号上昇にとどまり動脈の信号と誤るような例は存在しなかった。狭窄、閉塞性疾患の症例で全例動脈の選択的MRAが得られたことから造影剤の静脈側への灌流のタイミングが大きな要因となることが推測される。同時にphantom実験で確認されたように位相encode stepのreorderingにより静脈系に造影剤の達していない撮像前半のコントラストが強調されていることも動脈描出の選択性を高めていると考えられる<sup>6)</sup>。注入手技上の必要性から造影剤は希釈して使用したが、現在は自動注入器の改良により市販の造影剤を原液のまま使用し、同等の結果が得られている。

血管描出能は Gd-DTPA による  $T_1$  短縮効果によるところが大きく、TOF 法や PC 法に比較してより血管造影の機序に近い。このために血管の描出が血流方向や速度の影響を受けにくく、血流速度が小さい閉塞性疾患や複雑な血流方向を有する動脈瘤なども忠実に描出されたと考えられる<sup>11)</sup>。また、第 2 群で病変部位の血流増加が予想される症例で局所の静脈が描出されたことは興味深い。疾患により局所血流が増大している例では還流静脈内の造影剤濃度上昇が早期に生じることが原因と思われる。このような現象は動静脈奇形などの例を除くと他の MRA の方法論では見られないものであり、この方法が局所血流状態についての情報を含んでいることを示唆している。ただし静脈の描出は第 1 群でも 3 例で認められており、循環動態の個人差について今後も症例数を増やして検討する必要があると思われる。

この方法の問題点として(1)造影剤の使用が前提となり、腎機能不全症例などには適応が限られる、(2)血管以外でも早期の造影効果を有する構造、病変が同時に描出される可能性、(3)消化管内溶液など  $T_1$  緩和時間の短い組織が同時に描出される可能性、(4)血管の描出能が症例の循環動態に影響される、などがあげられ、今後の検討課題と考えられる。また造影剤の至適投与量もなお明らかでなく、今回の検討では一律に 20ml とした。体重換算で 0.11 ないし 0.25 mmol/kg の幅が存在したが、投与量による動脈描出能の差は明らかではなく現在検討中である。症例数を重ねて 2 次元 TOF 法との比較、狭窄性病変の描出能、血流速度と信号強度の関係なども明らかにしていく必要があるが初期の臨床経験からは本法は簡便で優れた動脈像を得ることが可能であり、限られた時間内に骨盤下肢領域の MRA を得る必要がある場合にはその有用性が高いと考えられる。2 次元 TOF 法とは異なる画像上の特徴があることから今後は症例に応じて両者を使い分ける必要も生じてくることが予想される。

## 結 語

- (1)造影剤と 3 次元高速撮像法の併用により骨盤下肢領域の高分解能 MRA を試みた。
- (2)reorder 法の応用により長い撮像時間にもかかわらず動脈の選択的画像化が可能であった。
- (3)短時間で分解能の高い MRA が得られ、狭窄、閉塞、拡張性変化を正確に描出可能であった。
- (4)腫瘍、炎症性疾患 5 症例で病変部に隣接する静脈が描出された。局所の血流増加を示唆する所見と考えられた。

## 文 献

- 1) Yucel EK, Dumoulin CL, Waltman AC : MR angiography of lower-extremity arterial disease : Preliminary experience. J Magn Reson Imag 2 : 303-309, 1992.
- 2) Yucel EK, Kaufman JA, Geller SC : Atherosclerotic occlusive disease of the lower extremity : Prospective evaluation with two-dimensional time-of-flight MR angiography. Radiology 187 : 637-641, 1993.
- 3) Selby K, Saloner D, Anderson CM, et al. : MR angiography with a cardiac-phase-specific acquisition window. J Magn Reson Imag 2 : 637-643. 1992.
- 4) McCauley TR, Monib A, Dickey KW, et al. : Peripheral vascular occlusive disease : Accuracy and reliability of time-of-flight MR angiography. Radiology, 192 : 351-357, 1994.
- 5) Frahm J, Hasse A, Matthaei D : Rapid three-dimensional MR imaging using the FLASH technique. JCAT, 10 (2) : 363-368, 1986.
- 6) 天沼 誠, 渡部 恒也, 杉本 映一, 他 : Out-of-phase 画像を用いた門脈系の 3 次元造影 MR Angiography. 日本医放会誌, 55 ; 2 : 222, 1995.
- 7) 天沼 誠, 木村敏彦, 滝沢 修, 他 : 呼吸停止下 3 次元 MRI : Phase reordering による motion artifact 抑制効果の基礎的検討. 日本医放会誌, 55 ; 4 : 222-227, 1995.
- 8) Yucel EK : Magnetic resonance angiography of



- the peripheral arteries. MRI clinics of North America, 1, 2 : 229-238, 1993.
- 9) Prince MR : Gadolinium-enhanced MR aortography. Radiology, 191 : 155-164, 1994.
- 10) 田島なつき, 伊藤公一郎, 岡田 進, 他 : 造影 fast spoiled GRASS 法による下肢静脈のMRA. 日本医放会誌, 55, 7 : 511-512, 1995.
- 11) 加藤丈司, 伊藤公一郎, 田島なつき, 他 : Gd-DTPA 造影 3D MR angiography における血管描出能と撮像パラメーターの実験的検討. 日磁医誌, 15, 4 : 115-125. 1995.

### **Three Dimensional MR Angiography of the Pelvis and Lower Extremities with Gd-DTPA Infusion**

Makoto AMANUMA, Ayako TAMURA, Tsuneya WATABE,  
Mihoko YAMAZAKI, Eiichi SUGIMOTO, Atsuko HESHIKI

*Department of Radiology, Saitama Medical School  
38 Morohongo, Moroyama, Iruma, Saitama 350-04*

Three dimensional fast gradient echo technique with Gd-DTPA infusion was assessed to obtain arterial MR angiography (MRA) of the pelvis and lower extremities. In-plane phase encode reordering enabled to suppress venous signal so that selective arterial MRA was possible in spite of relatively long acquisition period. Obtained MRAs revealed homogeneous arterial signal regardless of flow velocity direction in eight normal subjects. High resolutional images provided high sensitivity and specificity for stenosis, occlusion, and dilatation of the vessels in 18 cases with vascular abnormalities. Localized venous structures were demonstrated in five of 18 cases, suggestive of regionally increased blood flow. The proposed technique made high resolution MRA possible in shorter examination time and provided clinically feasible image quality.