

2次元位相コントラスト法による 下肢静脈のMR アンギオグラフィー

橋本博美¹, 中塚春樹¹, 椿本光男¹, 小川隆平¹,
勢籙勝美¹, 野口隆¹, 清田忠彦¹, 水野芳昭¹,
中村健治², 小野山靖人²

¹市立伊丹病院放射線科 ²大阪市立大学医学部放射線科

はじめに

MRIはX線被曝がなく非侵襲的に画像が得られるが、さらに造影剤を用いることなく血管系を描出することが可能でMRアンギオグラフィー(以下MRAと記す。)として種々の方法が試みられている^{1)~4)}。下肢の血管系に対するMRAの報告も比較的多数みられる^{2),5)~10)}が、大部分が動脈に関するもので静脈系に関してのまとまった報告は我々の検索した範囲ではみられない。

我々は比較的流速の遅い血管系の描出に優れている2次元位相コントラスト法¹⁾を用いて下肢の動静脈の描出を試み、特に静脈系の描出能につき検討したので報告する。

対象と方法

対象は正常ボランティア10例および下肢の腫脹あるいは下腿静脈瘤が存在し深部静脈閉塞が疑われた臨床例14例である。ボランティアは男性8例、女性2例で、年齢は21~40(平均30)才、症例は男性6例、女性8例で、年齢は

17~82(平均55)才であった。

使用機種はGE社製超伝導型MR装置SIGNA 1.5T, performance plusで、軀幹用コイルを用い2次元位相コントラスト法で撮像した。撮像は冠状断で行い、撮像条件はTR 40ms, TE 10~20ms, flip angle 20°, matrix 256×256, NEX 20, FOV 48cm, thickness 10~16cmである。下肢の長軸方向をフェイズエンコード方向とし、その方向の血流のみを撮像した。

位相コントラスト法はFig.1に示すような双極

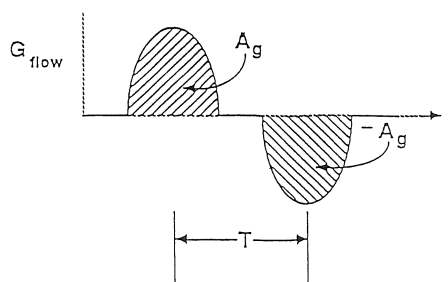


Fig.1. Flow-encoding bipolar gradient pulse.
T: The duration of each pulse, A_g: The area under the gradient pulse.

磁場勾配パルスを用いる¹⁾。この磁場勾配の中を血液が移動すると血液スピンの位相がシフトするが、そのシフト量 (ϕ) は血流の速度を V 、双極パルス間の時間を T 、パルスの面積を Ag とすると

$$\phi = \gamma VTAg \dots\dots\dots ①$$

で表される。 γ はスピンの磁気回転比である。位相コントラスト法による MRA はこの位相シフト量を信号強度として取り出して画像化したものであるが、信号強度 (I) と位相シフト量との関係は

$$I = 2\kappa \sin\phi \dots\dots\dots ②$$

である。 κ は比例定数である。従って $\phi =$

$(2n+1) \pi/2$ (n は整数) の時信号強度が最高になる。①, ②より T, Ag を任意に変化させることにより信号強度が最高となる速度 (いわゆる速度エンコード値, 以下 VENC と表す。) を変化させることができる。

まずボランティア 10 例について 5~90cm/s の範囲で 4~6 段階の VENC で撮像し、下肢の動脈と深部静脈の描出能について検討した。下肢を大腿部, 膝窩部, 下腿部の 3 部位に分け、各々の部位について血管の描出能を excellent (明瞭に強い信号で描出されている), good (明瞭ではあるが信号の弱い部を含んでいる), marginally adequate (辛うじて描出されている), nondiagnostic (描出されていない) の 4 段階で評価した (Fig.2)。動脈と静脈の識別は、

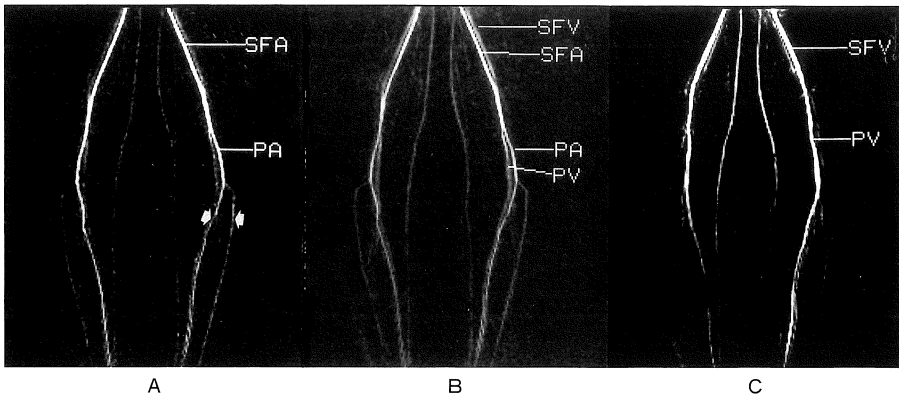


Fig.2. MR angiograms of the legs of a 27-year-old healthy volunteer. A) Velocity encoding 89.6cm/s. Bilateral superficial femoral arteries, popliteal arteries and two arteries of trifurcation (arrows) in the left calf are clearly demonstrated (excellent). In the right calf only one artery of trifurcation is clearly visualized (good). Bilateral superficial femoral veins, popliteal veins and veins in the left calf are equivocally demonstrated (marginally adequate). Veins in the right calf are not demonstrated at all (nondiagnostic). B) Velocity encoding 44.8cm/s. Bilateral superficial femoral veins and popliteal veins are getting clearer but bilateral superficial femoral arteries, popliteal arteries and two arteries of trifurcation in bilateral calves are also clearly demonstrated. C) Velocity encoding 11.2cm/s. Bilateral superficial femoral veins and popliteal veins are clearly demonstrated (excellent). In the calves one vein of trifurcation veins is clearly visualized but the other two veins are not clearly demonstrated (good). Bilateral superficial femoral arteries and the left popliteal artery are equivocally demonstrated (marginally adequate). The left popliteal artery and arteries in bilateral calves are not demonstrated (nondiagnostic). SFA=superficial femoral artery, PA=popliteal artery, SFV=superficial femoral vein, PV=popliteal vein.

1992年12月22日受理 1993年10月21日改訂
別刷請求先 〒664 伊丹市昆陽池1-100 市立伊丹病院放射線科 橋本博美

VENCの変化に伴う信号強度の変化と解剖学的位置関係によって行った。また描出能は、大腿部は浅大腿動静脈について、膝窩部は膝窩動静脈について検討し、下腿部は下腿3分岐のうち2本が明瞭であれば excellent とし、1本だけが明瞭であれば good と判定した。種々の VENC で描出された MRA の1枚の画像につき、1肢1部位の動脈の描出能が excellent であれば3点とし、以下、good, marginally adequate, nondiagnostic の順に2, 1, 0点を与え、2肢6部位の合計を計算する。静脈についても同様に計算し、動静脈が各々分離して描出されるのに適した VENC を求めるため動脈の合計から静脈の合計を減じた点数を算出した。すなわちその値が正の方向に大きいほど動脈が、負の方向に大きいほど静脈が分離されて描出されることになる。また静脈が良好に描出される VENC の画像で、各々の静脈がどの程度描出されているかをボランティア10例20肢につき検討した。さらにボランティア8例の左右いずれか1肢で大腿部を駆血し、その前後での深部静脈の描出能を比較した。VENC は症例によって異なるが、駆血前後の値は一定とした。

次に深部静脈閉塞が疑われた臨床例14例に対し下肢静脈のMRAを撮像した。MRAで浅大腿静脈、膝窩静脈が描出されれば開存、これらの描出が不明瞭で、深大腿静脈の描出や細い側副血行路のみの描出を認めた場合に深部静脈閉塞と判定し、他の検査や臨床経過と比較検討した。

結 果

1) 種々の VENC における動静脈の描出能の検討。

動脈の合計から静脈の合計を減じた点数が、9以上であれば大きい○、8以下5以上であれば小さい○、4以下-4以上であれば×、-5以下-8以上であれば小さい●、-9以下であれば大きい●で表し、縦軸を VENC とし各ボラン

ティアについてプロットした (Fig.3)。○は主として動脈が、●は主として静脈が明瞭に描出されたことを表している。30~90cm/s の VENC で主として動脈が描出され、静脈は10cm/s 前後で良好に描出されることがわかった (Fig.2)。

2) 各静脈の描出能の検討 (Table 1)。

大伏在静脈、浅大腿静脈、膝窩静脈は全例 excellent~good であったが、下腿静脈の描出は good が3肢で、他の17肢は marginally adequate~nondiagnostic と不良であった。

3) 大腿部駆血による深部静脈描出能の向上の検討 (Fig.4)。

駆血により浅大腿静脈では1肢が、膝窩静脈では3肢が good から excellent になった。下腿静脈では駆血後 good から excellent になったのが1肢、marginally adequate からは2肢が excellent に、1肢が good になり、nondiagnostic からは good 及び marginally adequate に各々1肢ずつが変化し、描出能は著明に向上した。marginally adequate から excellent に描出能が向上した1例を Fig.5 に示す。

4) 臨床例における下肢深部静脈閉塞の有無の検討 (Table 2)。

下肢の腫脹が主症状であったのは14例中8例で、そのうちMRA上深部静脈閉塞と診断されたのは5例で、残る3例は開存していると診断された。閉塞と診断された5例中2例に静脈造影を行い、深部静脈の閉塞が確認された。この中の症例1では下肢の腫脹は左側のみであったが、MRA上閉塞は両側にみられ、静脈造影にて確認された (Fig.6)。また他の2例ではCTにより深部静脈内の血栓が確認された (Fig.7)。深部静脈が開存していると診断された3例中2例は、いずれも両側の下肢が腫脹していたが、眼瞼浮腫を伴うなど全身性に浮腫を認め、下肢腫脹もその一現症と考えられた。残る1例は、鼠径部悪性リンパ腫の患者で、リンパ浮腫による下肢腫脹と考えられた。

下腿静脈瘤が主症状で下肢腫脹を認めなかつ

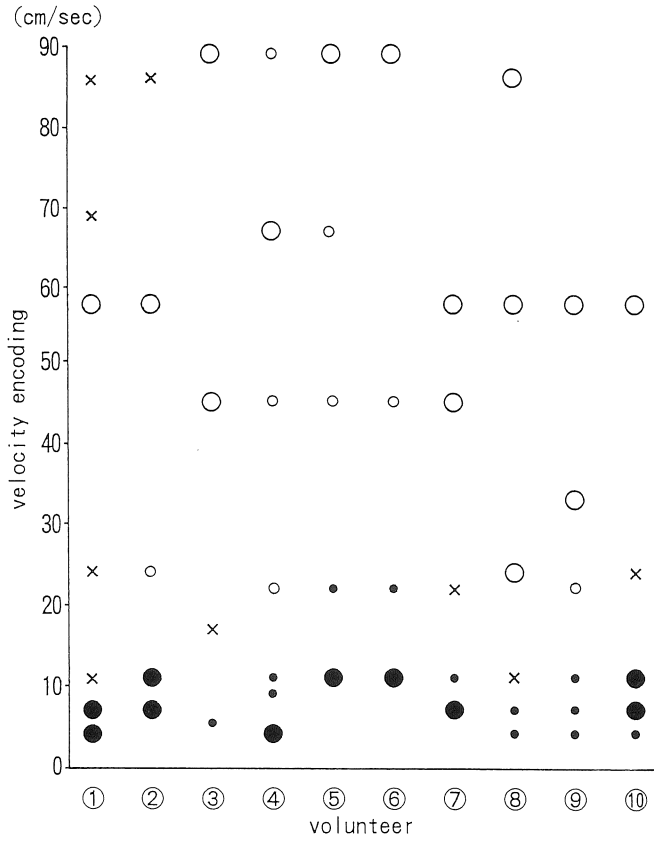


Fig.3. Relationship between velocity encoding and visualization of vessels on MR angiograms in 10 volunteers. At a certain velocity encoding value, the open circle was dotted when arteries were chiefly visualized and the closed circle was dotted when deep veins were chiefly visualized. The larger the size of circle, the clearer the demonstrated vessels. When the velocity encoding is set at between 30 and 90 cm/s, arteries are chiefly demonstrated. And when the velocity encoding is set at around 10 cm/s, deep veins are chiefly demonstrated.

Table 1. Evaluation of MR Angiograms in 20 Lower Extremities of 10 Volunteers

grade	great saphenous vein	femoral vein	popliteal vein	veins in lower leg
excellent	16	15	15	0
good	4	5	5	3
marginally adequate	0	0	0	11
nondiagnostic	0	0	0	6

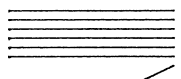
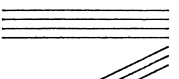

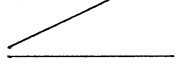








Excellent						
Good						
marginally adequate						
nondiagnostic						
tourniquet application	without	with	without	with	without	with
	femoral vein		popliteal vein		deep veins in lower leg	

Fig.4. Diagram of the effect of tourniquet application above the knee on MRA of deep veins in 8 lower extremities of 8 volunteers. With the application of tourniquet, the superficial femoral vein in one lower extremity, the popliteal vein in 3 lower extremities, and the deep veins of the calves in 6 lower extremities were demonstrated more clearly than without the tourniquet. The other veins were demonstrated with the application of tourniquet as clearly as without it. The effect is particularly great in the deep veins of the calves.

たのは14例中6例で、全例MRA上深部静脈は開存していると診断された。このうち症例9はMRAの所見のみで静脈造影を行わずに左下肢のストリッピング術を施行し、症状の軽減を認めた。他の5例は保存的に経過観察中である。

考 案

MRAの代表的な方法としてタイムオブフライト法³⁾と位相コントラスト法¹⁾がある。両者各々特徴があり、頭頸部などでは目的に応じ使い分けされている。

タイムオブフライト法は励起された血液が検出時には血流により移動しているため、画像スライス面での静止組織と血液の各々の縦磁化が異なることを利用したものである。すなわちRF

パルスの繰り返し時間を組織の T_1 値より短くすると画像スライス面の静止組織の縦磁化は飽和され信号が低下するが、面外から流入してくる血液の縦磁化は完全に緩和しているため高信号となる。血流が遅いと血液にも飽和が生じて信号が低下してしまうため、この方法は流速が比較的速く、かつ血液が励起領域を速やかに通過してしまえる部位の血管の描出に適している³⁾。流速の遅い下肢静脈の描出には横断像を薄いスライス厚で撮像する必要があり、また他部位に比べて範囲も広いためスライス枚数が多くなり検査時間が長くなってしまふ。

一方位相コントラスト法は勾配磁場内を移動する血流の横磁化の位相の変化を捉えたもので、理論的には磁場勾配を変化させることにより最も信号の強い流速(VENC)を任意に選択でき

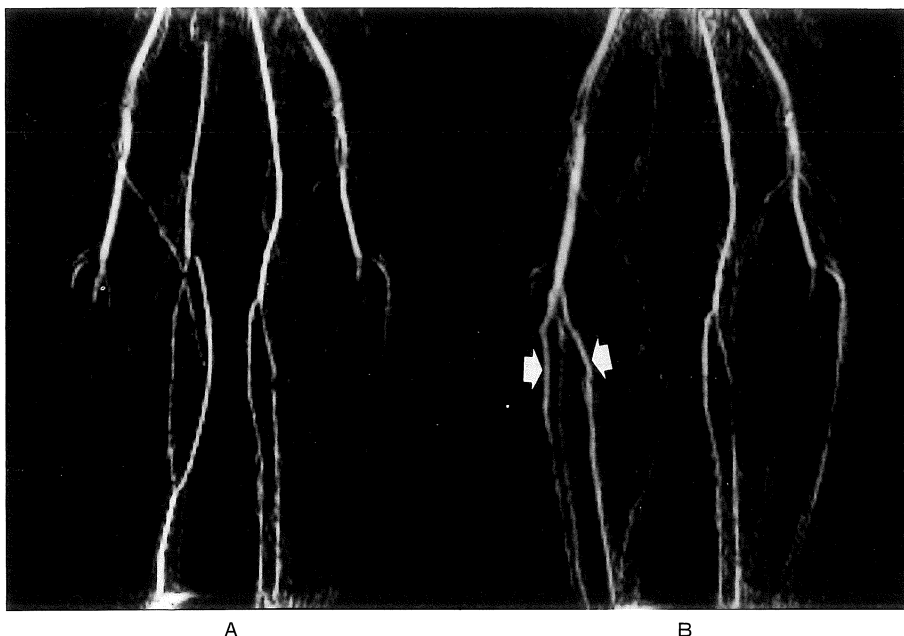


Fig.5. MR angiograms of the legs of a 34-year-old healthy volunteer. A) Without tourniquet application : bilateral superficial femoral and popliteal veins are clearly demonstrated (excellent), and the deep veins of bilateral calves are visualized equivocally (marginally adequate). B) With tourniquet application above the right knee : the deep veins in the right calf, which were demonstrated equivocally without tourniquet application are now clearly demonstrated (arrows) (marginally adequate → excellent).

Table 2. Summary of Chief Complaint and MRA Diagnosis in Patients with Clinically Suspected Deep Vein Obstruction of Lower Extremities

case	age	sex	chief complaint	MRA diagnosis	other examinations
1	51	M	R swelling	R DVO	venography
2	17	M	L swelling	B DVO	venography
3	51	F	L swelling	L DVO	CT
4	73	F	L swelling	L DVO	CT
5	78	F	R swelling	R DVO	
6	67	M	B swelling	NP	
7	35	M	B swelling	NP	
8	82	F	L swelling	NP	
9	54	F	B varix	NP	
10	54	F	B varix	NP	
11	29	M	R varix	NP	
12	53	F	L varix	NP	
13	78	F	B varix	NP	
14	50	M	L varix	NP	

R : Right leg
 L : Left leg
 B : Bilateral legs
 DVO : Deep Vein Obstruction
 NP : Not Particular

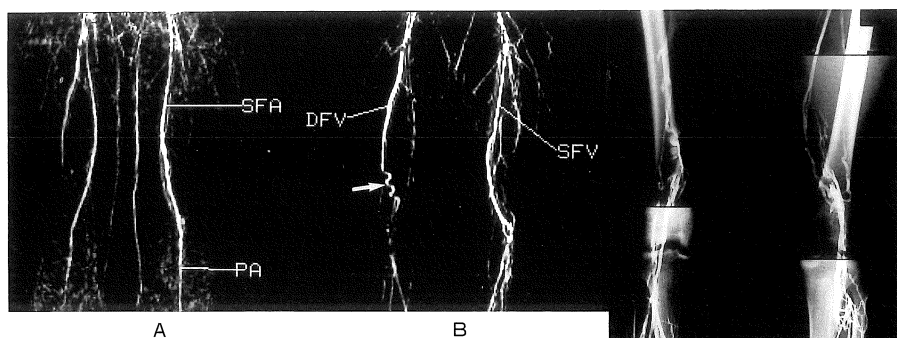


Fig.6. Case 2. Images of a 17-year-old man with swelling of the left leg. (A) MR angiogram (velocity encoding is 57.4 cm/s). Bilateral superficial femoral arteries and bilateral popliteal arteries are demonstrated. (B) MR angiogram with tourniquet application (velocity encoding is 23.7 cm/s). The right superficial vein is not visualized clearly and a winding collateral vessel (arrow) the deep femoral vein is demonstrated clearly. The distal segment of the left superficial femoral vein is not visualized and proximal segment is demonstrated via the collateral vein which runs more medially than the original superficial femoral vein. (C) Conventional venogram confirms the MRA findings. SFA=superficial femoral artery, PA=popliteal artery, SFV=superficial femoral vein, DFV=deep femoral vein.

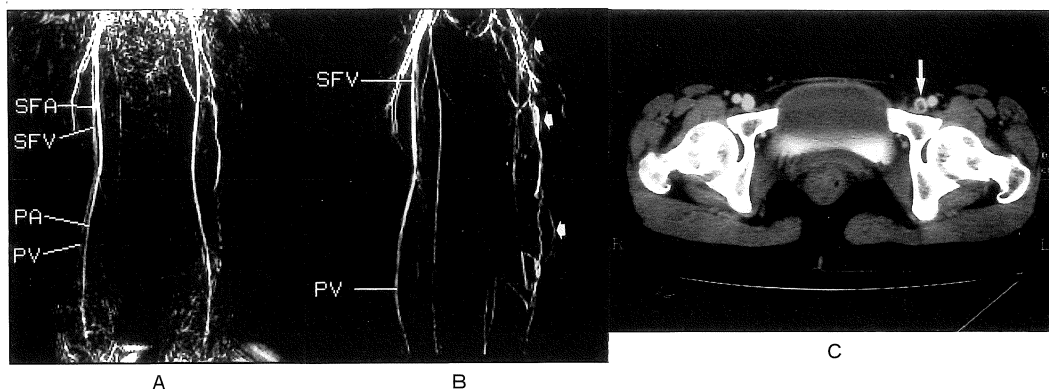


Fig.7. Case 3. Images of a 51-year-old woman with swelling of the left leg. (A) MR angiogram (velocity encoding is 57.4cm/s). Bilateral superficial femoral arteries and popliteal arteries are demonstrated clearly. The right superficial femoral vein and popliteal vein are visualized faintly but the left superficial femoral vein and popliteal vein are not visualized. (B) MR angiogram (velocity encoding is 17.6cm/s). The right superficial femoral vein and popliteal vein are demonstrated clearly. In the left leg, obstruction of the deep vein and collateral vessels (arrows) are detected. (C) CT image at the level of the femoral head. A venous thrombus within the left superficial femoral vein (arrow) are demonstrated. SFA=superficial femoral artery, SFV=superficial femoral vein, PA=popliteal artery, PV=popliteal vein.

る。しかも冠状断で撮像できるため下肢静脈のように血流速度の遅い広い範囲を短時間で描出するにはタイムオブフライト法より有用である⁹⁾。そこで我々は1.5Tの装置で2次元位相コントラスト法を用いて下肢静脈の描出を試み、その画像評価を行った。

VENCが30~90cm/sの時に主として動脈が描出され、10cm/s前後でほぼ静脈のみが描出された。静脈のみが描出されるVENCは個人差があり、ボランティアと患者でも異なる。また動静脈の識別には少なくとも3段階のVENC(動脈のみ、動静脈の両方、静脈のみの各々が描出される値)での撮像が必要で、実際にはいくつかの条件で(すなわち何回か)撮像しなければならないが、一枚につき3分26秒で画像が得られるので臨床上問題は無いと思われる。

このようにして描出された下肢静脈のうち大伏在静脈、浅大腿静脈、膝窩静脈はほぼ明瞭に描出されたが、下腿深部静脈の描出は不良であった。そこで大腿部に駆血帯を使用して撮像したところ、下腿深部静脈の描出能は明らかに向上した。これは表在静脈血流を遮断することにより深部静脈の血流量を増加させたためと思われる。Vansantら¹¹⁾は^{99m}Tc-MAAを用いたradionuclide venographyで、膝窩部より上方の下肢深部静脈が開存しているかどうかの評価に、足首上方だけでなく膝上方にも駆血帯を使用するのが有用であると報告している。静脈の描出機序が全く異なるmodalityではあるが、radionuclide venographyと同様MRAにおいても駆血帯の適切な使用は深部静脈描出能の向上に大きく寄与すると思われる。

臨床例は深部静脈閉塞が疑われた14例にMRAを施行し、閉塞の有無を検討した。MRA上閉塞と診断されたものが5例、開存と診断されたものが9例であった。全例静脈造影またはCTあるいは臨床経過によりMRAの所見が確認された。

従来の足背静脈より造影剤を注入して撮像する静脈造影と比較して、本法は分解的に細い

血管の走行や血管の微妙な狭窄の描出については明らかに劣っており、静脈造影に取って代わる検査ではない。しかし今回の検討から深部静脈の閉塞の有無は充分評価できることがわかった。しかも造影剤使用による血管障害や被曝がなく、短時間で撮像可能で、撮像後ほぼリアルタイムで画像を見ることが出来る。また臨床例では今回検討したように患者はしばしば下肢の腫脹を呈しており、足背静脈を穿刺するのが困難なことが多いので、静脈穿刺が不要な本法は特に有用であると思われる。

結 語

1. 2次元位相コントラスト法を使用したMRAにより下肢静脈の描出を試みた。
2. 勾配パルスの面積を大きくし、勾配パルス間の時間を延長して撮像することにより下肢静脈を比較的選択的に描出できた。
3. 大伏在静脈、大腿静脈、膝窩静脈はボランティア全例で良好に描出できた。
4. 大腿部駆血により深部静脈描出能は向上し、下腿の深部静脈の描出も可能となった。
5. 下肢腫脹あるいは下腿静脈瘤患者において深部静脈閉塞の有無が明瞭になり、閉塞例ではその閉塞と側副路の増生を描出できた。

以上の成績から本法は下肢静脈疾患の評価に有用で、特に深部静脈閉塞を疑われる症例にはまず第一に施行されるべき検査と考えられた。

文 献

- 1) Dumoulin CL, Hart HR : Magnetic resonance angiography. *Radiology*, 161 : 717-720, 1986.
- 2) Meuli RA, Weden VJ, Geller SC, et al. : MR gated subtraction angiography : Evaluation of lower extremities. *Radiology*, 159, 411-418, 1986.
- 3) Gullberg GT, Wehrli FW, Shimakawa A, et al. : MR vascular imaging with a fast gradient refocusing pulse sequence and reformatted images from transaxial sections. *Radiology*, 165 : 241-246, 1987.

- 4) 湯浅祐二：血管のMRI診断—MRアンジオグラフィ—を含めて—。外科診療, 32 : 33-40, 1990.
- 5) 斎藤陽子, 竹川鉦一, 淀野 啓, 他：0.5T MRI装置を用いた下肢の位相コントラストMRアンジオグラフィ—。日磁医誌, 9 : 37-44, 1989.
- 6) 藤川隆夫：下肢のMR Angiography。日磁医誌, 10 : 537-545, 1990.
- 7) Steinberg FL, Yucel EK, Dumoulin CL, et al. : Peripheral vascular and abdominal applications of MR flow imaging techniques. Magn Reson Med, 14 : 315-320, 1990.
- 8) Carpenter JP, Owen RS, Baum RA, et al. : Magnetic resonance angiography of peripheral runoff vessels. J Vasc Surg, 16 : 807-813, 1992.
- 9) Turnipseed WD, Sproat IA : A preliminary experience with use of magnetic resonance angiography in assessment of failing lower extremity bypass grafts. SURGERY, 112 : 664-669, 1992.
- 10) Lossef SV, Rajan SS, Patt RH, et al. : Gadolinium-enhanced magnitude contrast MR angiography of popliteal and tibial arteries. Radiology, 184 : 349-355, 1992.
- 11) Vansant JP, Habibian RM, Melton RE : The effect of varying tourniquet applications on the flow pattern of lower extremity radionuclide venography. Clin Nucl Med, 15 : 783-786, 1990.

Tow-dimensional Phase Contrast MR Angiography of the Venous System of Lower Extremities

Hiroshi HASHIMOTO¹, Haruki NAKATSUKA¹, Mitsuo TSUBAKIMOTO¹,
Ryuhei OGAWA¹, Katsumi SEHATA¹, Takashi NOGUCHI¹,
Tadahiko KIYOTA¹, Yoshiaki MIZUNO¹, Kenji NAKAMURA²,
Yasuto ONOYAMA²

¹Department of Radiology, Itami City Hospital
1-100 Koyaike Itami 664

²Department of Radiology, Osaka City University Medical College

Two-dimensional phase contrast MR angiography (MRA) was performed in 10 healthy volunteers and 14 patients in whom deep venous occlusion was clinically suspected. In all volunteers, MRA demonstrated bilateral great saphenous veins, superficial femoral veins and popliteal veins. Deep veins in the calves were visualized in only 3 of 20 legs (15%) examined, but after applying tourniquets above the knee, they were visualized in 6 of 8 legs (75%). In 5 of 8 patients whose lower extremities were swollen, deep vein occlusions were diagnosed by MRA and in 4 patients deep vein thrombosis was confirmed by computed tomography or conventional venography. In the other 3 patients whose lower extremities were swollen and in 6 patients whose lower extremities were not swollen but who had varicose veins, MRA demonstrated patency of the deep veins. It is concluded that MRA is a non-invasive useful diagnostic technique for evaluating patency of the deep venous system of the lower extremities.