

原 著

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

斎藤陽子 (鳴海病院放射線科)	秋村留美子 (同)
竹川 鉦一 (弘前大学附属病院放射線科)	兼平二郎 (同)
淀野 啓 (同)	池崎吉和 (横河メディカルシステム)
佐々木泰輔 (同)	吉留英二 (同)
樽沢孝二 (同)	山口珪紀 (同)

キーワード

- MRI
- angiography
- lower extremities

はじめに

MRI において、通常のスピネコー法の撮像で血管が明瞭な無信号または高信号領域として描出されることがあり、また high velocity signal loss, flow related enhancement, even echo rephasing などの様に血流によりひきおこされる現象^{1)~5)}は早くから知られている。これらの現象を利用して血管系を選択的に描出する MR アンギオグラフィーの報告がなされ、その後様々な方法が報告されている^{6)~12)}。現時点ではまだ臨床応用が可能である程度の良好な画像は得にくいものの、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や血流を描出することができるという利点もあり、種々の研究・開発が盛んに行われている。今回我々は静磁場強度 0.5 T の中磁場型超電導 MRI 装置を

用いて、位相コントラスト法による下肢の MR アンギオグラフィーを施行し一応の血管像を得たので、その問題点、今後の課題、臨床応用の可能性に関する考察を加えて報告する。

I. 方法および対象

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 超電導型マグネットを有する RESONA システムである。位相コントラスト法⁹⁾の原理に基づき Gradient echo 法を用いた fast scan technique を用いて画像を得た。pulse sequence を図 1. に示すが、極性が反対である 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アンギオ像を得た。なお、信号強度が最大になる速度を 10 あるいは 15 cm/sec となるようにフローエンコード勾配を設定した。TR : 60 msec, TE : 30 msec または

SEQUENCE

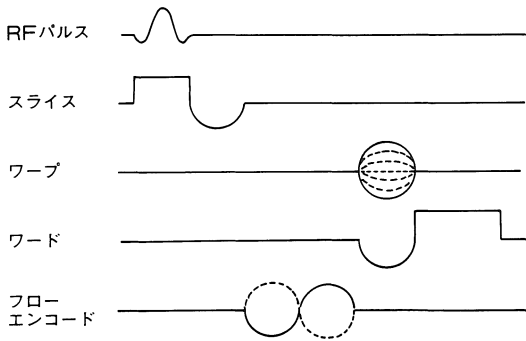


図1. パルスシーケンス

MR アンギオグラフィーは、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種類の画像の減算によって得られた。

32 msec, Flip angle : 30°である。平均加算回数 (NEX) は原則として16とし、一部の症例ではその他に NEX を32としたスキャンも行った。受信用コイルには下肢用表面コイルを用い、撮像視野 (FOV) は25 cmとした。スライス厚は5 cmであるが、一部の症例ではその他に3, 10 cmのスキャンも行った。データ収集マトリクスは256×256, 表示マトリクスは512×512である。スキャン時間は NEX が16の場合には約8分であった。スライス面は主に前額面であるが、FOVの中心における横断像を基に位置決めを行った。また、必要に応じて矢状面や斜位像の撮像を追加した。

MR アンギオグラフィーを施行した対象は、無症状の健康ボランティア8名・8肢、下肢の閉塞性動脈疾患患者16例・21肢の計24例29肢である。患者群の内訳は、閉塞性動脈硬化症14例、膝窩動脈外膜嚢腫1例、膝窩動脈瘤1例である。年齢は正常ボランティア：25～40 (平

表1. 対象 (24例)

正常ボランティア	8名
年齢；25～40 (平均；31.0) 歳	
性別；男性8名	
下肢の閉塞性動脈疾患患者	16例
閉塞性動脈硬化症	14例
年齢；55～72 (平均；65.6) 歳	
性別；男性14例	
膝窩動脈外膜嚢腫	1例
年齢；52歳	
性別；男性	
膝窩動脈瘤	1例
年齢；57歳	
性別；女性	

均；31.0) 歳、患者群：52～72 (平均；65.6) 歳であり、性別は膝窩動脈瘤の1例以外は男性であった (表1)。なお、患者群では全例、通常の血管造影またはIV-DSAが施行されており、その画像とMR アンギオグラフィーとの比較検討を行った。

II. 結 果

1. 症例供覧

まず始めに5症例を供覧する。なお、ここに供覧する症例では、5例共に信号強度が最大となる速度を10 cm/sec.となるようにフローエンコード勾配を設定してスキャンした。

[症例1.]

37歳・男性、健康ボランティアの左大腿部 (図2) のMR アンギオグラフィーである。左大腿浅動脈および左大腿静脈の描出があり、両者は伴走している。左大腿深動脈の分枝も描出されている。

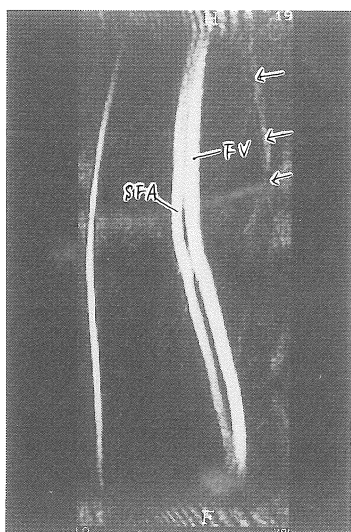


図 2. 無症状ボランティアの左大腿部 MR アンギオグラフィー (前額画像)

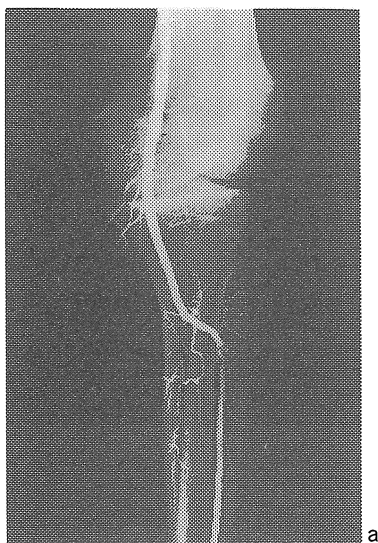
左大腿浅動脈 (SFA) と左大腿静脈 (FV) とが伴走して認められる。左大腿深動脈の分枝 (→) の描出も見られる。

[症例 2.]

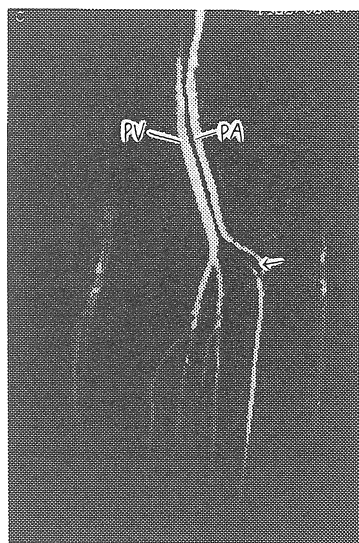
61 歳, 男性, 閉塞性動脈硬化症の症例である。以前に両側大腿浅動脈のほぼ全域にわたる閉塞に対し, 弘前大学医学部付属病院放射線科において Laser angioplasty を施行し, 開通後の同動脈の経過観察中の症例である。下腿の動脈造影像では左前脛骨動脈中枢側に高度の狭窄が認められた (図 3 a)。同部は MR アンギオグラフィーでは閉塞様に見えた (図 3 b)。

[症例 3.]

52 歳, 男性, 左膝窩動脈外膜囊腫の症例である。病状より, 閉塞性動脈硬化症が疑われたが, 動脈造影像では左膝窩動脈が約 5 cm にわたり途絶様完全閉塞をきたしており, 側副路を介して末梢が造影された。壁不整像は明かではなく, 膝窩動脈外膜囊腫が疑われた。Urokinase 動注後の造影では動脈内腔の一部の再開通が認められた (図 4 a)。MR アンギオグラフィーでも狭窄部が描出された (図 4 b)。動脈切除術および



a



b

図 3. 症例 2. 閉塞性動脈硬化症

a. 左下腿動脈造影像

b. 同部 MR アンギオグラフィー (前額画像) 動脈造影では左腓骨動脈, 後脛骨動脈は閉塞し

ている。前脛骨動脈の狭窄を認める (3 a.)。MR アンギオグラフィーでは左前脛骨動脈の狭窄部 (→) は閉塞様に見えた (3 b)。PA: 左膝窩動脈, PV: 左膝窩静脈。

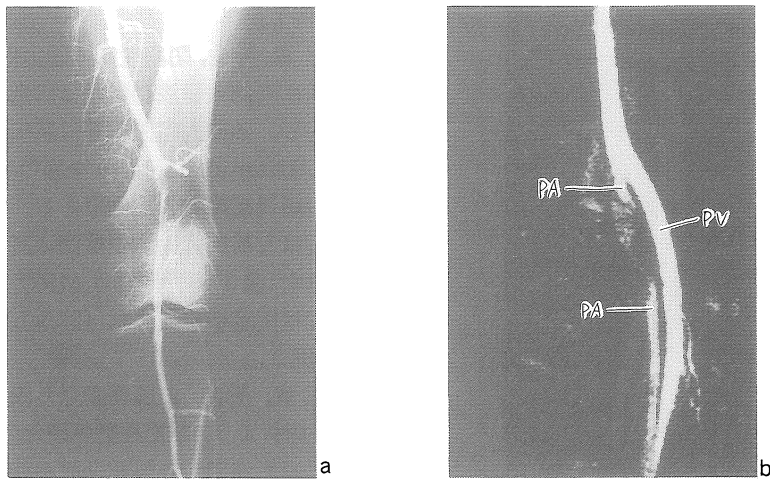


図 4. 症例 3. 左膝窩動脈外膜囊腫。
a. 左膝部動脈造影像 (血栓溶解療法後)。
b. 症例 3. 同部 MR アンギオグラフィー (前額面像)。
Urokinase 動注後の血管造影では、外膜囊腫に

よる圧迫で左膝窩動脈が約 5 cm にわたり高度の狭窄を呈している (4 a)。MR アンギオグラフィーでも狭窄部が描出された (4 b)。PA: 左膝窩動脈, PV: 左膝窩動脈。

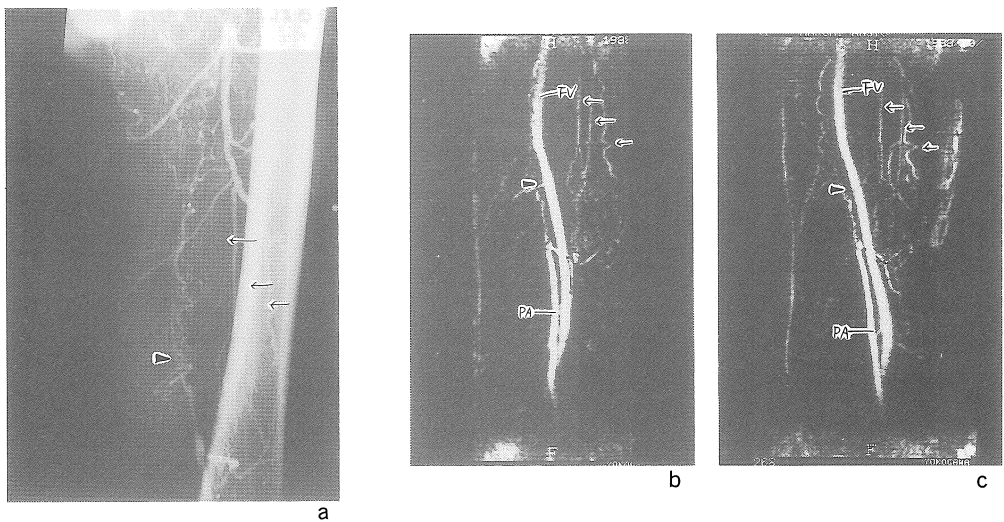


図 5. 症例 4. 閉塞性動脈硬化症
a. 左大腿部動脈造影像。
b. 同部の MR アンギオグラフィー (前額面像)。
c. 同部の MR アンギオグラフィー (斜位像, LAO: 30°)。
血管造影では、左大腿浅動脈が起始部から完全

閉塞しており発達した左大腿深動脈 (→) を介して左膝窩動脈が造影される (5 a)。MR アンギオグラフィーでは閉塞部位は FOV 外であるが側副路 (→) の描出が良好で、再開通部 (▶) も描出された (5 b, c)。
PA: 左膝窩動脈, FV: 左大腿動脈。

自家静脈移植術が施行され、その後の経過は順調である。

[症例 4.]

71 歳, 男性, 閉塞性動脈硬化症の症例である。動脈造影では, 左大腿浅動脈が起始部から完全閉塞しており, 発達した左大腿深動脈の分枝が側副路となり左膝窩動脈以下が造影された (図 5 a), MR アンギオグラフィーでは側副路の描出が良好であり, 再開通部も良く描出された (図 5 b, c)。

[症例 5.]

72 歳, 男性, 閉塞性動脈硬化症の症例である。動脈造影像では, 左大腿浅動脈が起始部で閉塞しており, 大腿深動脈を介して大腿のほぼ中央のレベルから再び左大腿浅動脈が造影された (図 6 a)。MR アンギオグラフィーでは側副路の描出も見られ, 再開通部も良く描出された (図 6

b, c)。

2. MR アンギオグラフィーの評価

症例の MR アンギオグラフィーに関して検討し以下の知見が得られた。

正常ボランティアではかなり良好な画像が得られたが, 患者群の中には, S/N 低下により病的所見を得にくい例もあり, それらは全例, 動脈の閉塞がある症例であった。また, 血管の狭窄は MR アンギオでは程度が強調される傾向にあったが狭窄部で生じる乱流のためと考えられた。この傾向は動脈の狭窄が高度である時により強く認められた。

動脈閉塞 12 例中で, 径 2 mm 以下の側副路の描出が見られた例は 5 例 41.7% だった。

また, 現時点では動脈・静脈共に描出されるため両者の重なりを避け得ない例が多く, 同定のために側面像や斜位像の追加を必要とした例

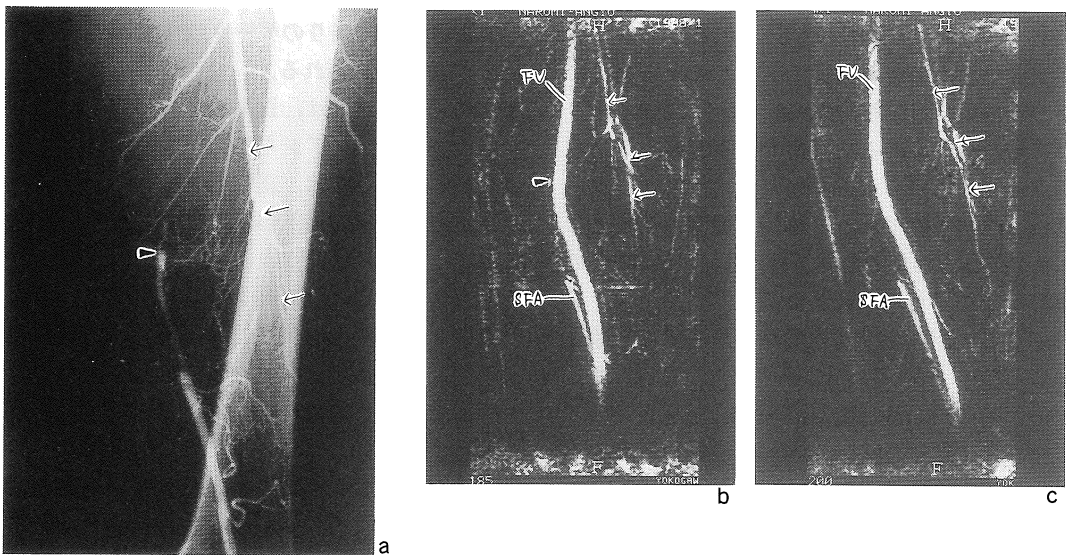


図 6. 症例 5. 閉塞性動脈硬化症.

- a. 左大腿部動脈造影像.
- b. 同部 MR アンギオグラフィー (前額面像).
- c. 同部 MR アンギオグラフィー (斜位像, LAO: 34°)

動脈造影では左大腿浅動脈が起始部で閉塞して

おり, 左大腿深動脈 (→) を介して, 大腿のほぼ中央のレベルから再び左大腿浅動脈が描出される (6 a)。MR アンギオグラフィーでは, 側副路 (→) の描出があり, 再開通部 (▶) も描出された (6 a, c)。SFA: 左大腿浅動脈, FV: 左大腿静脈,

が多かった。

スライス厚に関しては、3 cm ではスライス範囲外へ主要血管が流出してしまうことが多く不適当であった。5 cm の方が 10 cm に比し画質が良好で、スライス厚は 5 cm が適当であると考えられた。

症例数があまり多くないため断言はできないが、フローエンコード勾配の設定は、信号強度が最大となる速度を 15 cm/sec よりも 10 cm/sec となるようにした場合の方が画質が良好であるように思われた。

III. 考 察

MR アンギオグラフィーは残念ながら一般的にはまだ臨床応用が可能な段階に達していないと言わざるを得ないのが現状である。しかしながら、造影剤を用いることなしに血管や血流を描出できるという利点を持っており、さらに流速測定などの応用も可能であると考えられており、現在様々な開発が成されている。また、種々の方向の画像を得ることができるということも利点としてあげられる。さらに 3 次元データ収集法も試みられており立体的な観察も可能となっている。これまでの報告は、頸動脈領域^{8),10)}のものが多かったが、我々は、正常ボランティアのみならず下肢の閉塞性動脈疾患患者を対象として下肢の MR アンギオグラフィーを試みた。その目的の一つは、普及型の MRI 装置を用いてバイパス術後や angioplasty 後の経過観察の可能性を追求することにある。

従来は縦磁化を利用する time of flight 型のアンギオグラフィーが主であったが、今回我々は、フローエンコード勾配を用い流れているスピンの位相差を与えて画像化するという横磁化を用いた位相コントラスト法により画像を得た。フローエンコード勾配により等速度運動をするスピンの位相の変化 ϕ は、

$$\phi = \gamma v T G$$

と表される。但し、 γ ：磁気回転比、 v ：流速、 T ：フローエンコード勾配の時間間隔、 G ：フローエンコード勾配の面積である。また、画像の信号強度 I は、流れるスピンの密度を ρ とすると、

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

となるため、 ϕ が小さい場合は信号強度 I は流速 v に比例することになる。本法では、運動するスピンの位相の変化を画像化するので、骨や軟部組織などの静止しているものの消え残りは見られないことになる。

また、今回の方法では gradient echo 法による fast scan を用いたので TR を短く設定することが可能で、そのため約 8 分という短いスキャン時間でも NEX を多くすることができ、ゴーストがほとんどなく、平均的血流を画像化できると考えられる。また、心電同期を行っていないために単位時間当りのデータ収集時間が長く、S/N が良好と思われる。

今回の検討では、正常ボランティアにおいては比較的良好的なアンギオ像が得られた。しかしながら患者群では、正常ボランティア群に比し画質が劣っている例が多く、IV-DSA に匹敵するような良好的な画像は得にくかった。位相コントラスト法では、スピンの位相の変化は流速に比例するが、患者群では、下肢動脈の流速が遅いため信号強度が低くなり、画像が劣化したと考えられた。しかしながら、信号強度が最大となる流速が低くなるようにフローエンコード勾配を設定してしまうと、大きな傾斜磁場勾配が必要になるため、傾斜磁場勾配により引き起こされる渦電流も大きくなりノイズ成分が増強することが予想される。今回の経験では、信号強度が最大となる速度を 15 よりも 10 cm/sec. に設定した方が画像が良好であるように思われたが、これは渦電流によるノイズ成分が大きく影響している可能性が高いと考えられた。患者群にお

いて、流速との関係で、どの様にフローエンコーグ配を設定すると最良の S/N が得られるかに関しては今後検討をしたいと考えている。

血管閉塞例の中にも、径 2 mm 以下の側副路の描出が認められた例もあり、空間分解能に関しては比較的満足すべき結果であると考えられた。

また現時点では、動・静脈の重なりが避けられないことが多く、冠状面像のみでは動・静脈の同定が困難であることがあった。そのため、多くの例で斜位像や矢状面像の追加を必要とした。多断面像を得ることにより今回の症例では動・静脈の分離・同定が可能であった。今後、pre-saturation 法の併用等により動・静脈の分離も試みたいと考えている。

以上、0.5 T 中磁場 MRI 装置を使用した位相コントラスト法による下肢の MR アンギオグラフィーの経験を、問題点および今後の課題等も含め報告した。これまで述べてきたように、今回の検討では、下肢の閉塞性動脈疾患患者において臨床応用が可能な程度の画質は得にくかったが、MR アンギオグラフィーは侵襲もなく、また流速・血流量等の解析ができる可能性があり、発展性を秘めている。今後も研究を続け、臨床応用を目的に画質の改善に務めていきたいと考える。

まとめ

1. 正常ボランティア 8 名および閉塞動脈硬化症 14 例、膝窩動脈外膜囊腫 1 例、膝窩動脈瘤 1 例の計 24 例に対し、下肢の MR アンギオグラフィーを施行した。
2. 位相コントラスト法で、gradient echo 法による fast scan を用いて下肢血管の画像を得た。
3. 正常ボランティア 8 名においては全例良好な MR アンギオグラフィーが得られた。
4. 現時点では、患者群では IV-DSA に匹敵し臨床応用が可能な程度の良好な画像は得にくく、

画質の改善に努める必要があると考えられた。しかしながらバイパス術後や血管拡張術後の経過観察に MR アンギオグラフィーの応用が可能であることを示唆する結果を得た。

文 献

- 1) Mills CM, Brant-Zawadzki M, Crook LE, et al.: Nuclear magnetic resonance: principles of blood flow imaging. *AJR*, 142: 165-170, 1984.
- 2) Axel L.: Blood flow effects in magnetic resonance imaging. *AJR*, 143: 1157-1166, 1984.
- 3) Bradley WG, Waluch V, Lai K-S, et al.: The appearance of rapidly flowing blood on magnetic resonance images. *AJR*, 143: 1167-1174, 1984.
- 4) Bradley WG, Waluch V.: Blood flow: magnetic resonance imaging. *Radiology*, 154: 443-450, 1985.
- 5) Feinberg DA, Crooks L, Hoenninger j, et al.: Pulsative blood velocity in human arteries displayed by magnetic resonance imaging. *Radiology*, 153: 177-180, 1984.
- 6) Dumoulin CL, Hart HR.: Magnetic resonance angiography. *Radiology*, 161: 717-720, 1986.
- 7) Meuli RA, Wedeen VJ, Geller SC, et al.: MR gated subtraction angiography: evaluation of lower extremities. *Radiology*, 159: 411-418, 1986.
- 8) Roskowsky JT, Damadian R, Ciambaluo A et al.: MRI angiography of the carotid artery. *Mag. Reson. Imag.*, 4: 497-502, 1986
- 9) Gullbeg CT, Wehrli FW, Shimakawa A, et al.: MR vascular imaging with fast gradient refocusing pulse sequence and reformatted images from trans axial sections. *Radiology*, 165: 241-246, 1987.
- 10) Alfdi RJ, Masaryk TJ, Haacke EM, et al.: MR angiography of peripheral, carotid, and coronary arteries. *AJR*, 149: 1097-1109, 1987.
- 11) Nishimura DG, Macozski A, Pauly JM, et al.: MR angiography by selective inversion recovery. *Mag. Reson. Med.* 4: 193-202, 1987.
- 12) 三木 均, 仁井田明, 貞本和彦, 他: MR angiography. *臨床画像*, 4(9): 57-67, 1988.

Phase Contrast MR-angiography of Lower Extremities with Use of 0.5T MRI Unit.

Yoko Saito

(Department of Radiology, Narumi Hospital.)

Shoichi D. Takekawa

(Department of Radiology, Hirosaki University School of Medicine.)

Hiraku Yodono

(Department of Radiology, Hirosaki University School of Medicine.)

Taisuke Sasaki

(Department of Radiology, Hirosaki University School of Medicine.)

Koji Tarusawa

(Department of Radiology, Hirosaki University

School of Medicine.)

Rumiko Akimura

(Department of Radiology, Hirosaki University School of Medicine.)

Jiro Kanehira

(Department of Radiology, Hirosaki University School of Medicine.)

Yoshikazu Ikezaki

(Yokogawa Medical Systems)

Eiji Yoshitome

(Yokogawa Medical Systems)

Keiki Yamaguchi

(Yokogawa Medical Systems)

Non-invasive MR-angiography has been recently reported by several authors. We carried out MR-angiography of lower extremities with a 0.5T MRI unit. Eight healthy male volunteers, 25 to 40 years of age, and 16 patients with vascular disease, 50 to 72 years of age, were examined. Among the patients, 14 of 16 patients had arteriosclerosis obliterance, and one patient had aneurysms of the bilateral popliteal arteries, and one had cystic adventitial degeneration of the left popliteal artery. We obtained images of MR-angiography using the phase contrast technique. With this method, the signal intensity depends upon the velocity of the moving spins. We used the fast scan technique and TR was 60 msec, TE was 30 or 32 msec, flip angle was 30 degrees. Number of excitation (NEX) was 16, field of view (FOV) was 25 cm, slice thickness was 5 cm and scan time was about 8 minutes. In all patients, MR-angiography was evaluated, comparing it with conventional angiography or IV-DSA. We could show some narrow collateral flow images in some patients, therefore, the spatial resolution of our method seems to be good. But the flow velocity of the patients was much lower than that of healthy volunteers, so the signal intensity of the flow becomes lower. And consequently, the signal to noise ratio in the patients was not so good as in the volunteers. So, generally speaking the images of MR angiography were somewhat inferior to IV-DSA. Further improvement in MR-angiography is needed so that it can be applied to clinical use, although we obtained certain results.