

シネ MRI による大動脈疾患の血流画像の検討

大西 修作*, 福井 須賀 男*
楠岡 英雄**, 北 畠 顕**, 鎌田 武 信**

*オリオノ和泉病院循環器センター

**大阪大学第一内科

緒 言

大動脈瘤, 解離性大動脈瘤の診断には従来より血管造影検査が用いられてきたが¹⁾, この方法は侵襲的であり造影剤を用いるために高齢者, 重症例での施行は困難である. 同様に非侵襲的な検査法としては超音波エコー法²⁾, X線 CT 検査などがあるが^{3), 4)}, 超音波エコー法は撮像視野が狭く空間分解能が悪く, X線 CT 検査も横断面像しか得られないなどの欠点がある. 一方, 最近開発された核磁気共鳴映像法 (MRI) は非侵襲的検査法で任意の断面の撮像が可能であり, 心血管系の診断に用いられてきた^{5), 6)}. 従来, 大動脈疾患の MRI 診断においては, スピンエコー (spin echo, SE) 法が用いられてきたが, SE 法では大動脈瘤の血流や, 解離性大動脈瘤での交

通孔を介する血流などを単一のスキャンで評価することは困難であった. 一方, グラディエントエコー (gradient echo, GE) 法は心血管系の血流の描出に適したパルス系列であり^{7)~9)}, 心血管腔内の血流は高信号で描出され, また高速スキャンにより一心周期に数十フレームの撮像が可能である. このため, 得られた画像をシネループ表示し, シネ MRI として血流動態を評価し得る. そこで本研究では大動脈瘤および解離性大動脈瘤例につき, シネ MRI 法を用いて心血管系の血流画像を得, 本法の臨床的意義について検討した.

方 法

臨床症状, 単純 X 線写真, 超音波検査および X 線 CT により診断された大動脈瘤 15 例, 解離

キーワード aortic aneurysm, aortic dissection, cine MRI, flow image

性大動脈瘤 5 例を対象に、1.5 Tesla 超伝導型 MR 装置 (MAGNETOM, Siemens 社製) を使用し、MRI 検査を行なった。パルス系列として SE 法と GE 法を用いた。まず SE 法にて冠状断面での scout view を得たのち、心電図同期マルチスライス法により横断面、冠状断面、矢状断面および斜位断面で single echo の SE 像を得た。TE は 15~32 msec, TR は心電図 RR 間隔であり、pixel size を 1.5~2.0 mm, slice thickness を 5~7 mm とした。GE 法の TE は 10~22 mm, TR は 30~60 mm であり、速度による位相の乱れを補正したパルス系列を用いて、先に得られた SE 像をもとに心周期を 17 等分した 17 時相の血流画像を得た。得られた GE 像をシネループ表示し、シネ MRI として血流動態を観察した。以上の MR 像より、大動脈瘤の範囲および内径、大動脈瘤と他の分枝血管との関係、血栓の有無、瘤内への流入および瘤からの流出血流および瘤内の血流について検討した。解離性大動脈瘤では剝離内膜 (intimal tear, intimal flap) の同定、真腔と偽腔の区別、両腔内の血流、エントリー、交通孔の同定および交通孔を介する血流について解析した。解離性大動脈瘤 5 例の MRI 検査施行時期は、4 例が発症 1 ヶ月以内、1 例が発症 2 年後であった。20 例中 18 例に X 線 CT を、10 例に血管造影検査を施行した。

結 果

対象 20 例の臨床的特徴および MRI 所見を表 1 に示す。疾患の内訳は大動脈瘤 15 例 (胸部 9 例、腹部 6 例)、解離性大動脈瘤 5 例 (DeBakey I 型 1 例、III 型 4 例) である。

(1) 胸部大動脈瘤

SE 像は大動脈瘤の部位、形態の診断、内外径の計測に有用であった。GE 法では血管および瘤

表 1

| 患者名 | 年齢・性 | 病変部位・病型 | 形状 | 最大径 | 壁在血栓 |
|----------------|------|-------------|-----|-------|------|
| 大動脈瘤 | | | | | |
| 1. UN | 50 男 | 下行大動脈 | 球状 | 47 mm | - |
| 2. FK | 53 男 | 同上 | 囊状 | 36 | - |
| 3. FA | 67 男 | 同上 | 球状 | 67 | + |
| 4. NI | 74 女 | 同上 | 紡錘形 | 51 | + |
| 5. KK | 63 男 | 弓部、下行大動脈 | 紡錘形 | 60 | + |
| 6. HH | 54 男 | 弓部 | 紡錘形 | 47 | - |
| 7. SK | 65 男 | 弓部 | 紡錘形 | 60 | + |
| 8. WM | 67 女 | 弓部 | 囊状 | 20 | + |
| 9. KY | 72 女 | 上行大動脈 | 球状 | 80 | - |
| 10. YM | 82 女 | 腹部大動脈 | 紡錘形 | 70 | + |
| 11. MY | 70 男 | 同上 | 紡錘形 | 50 | + |
| 12. NS | 79 男 | 同上 | 紡錘形 | 110 | + |
| 13. FY | 67 男 | 同上 | 紡錘形 | 36 | + |
| 14. YS | 71 女 | 同上 | 囊状 | 34 | - |
| 15. DG | 86 男 | 同上 | 囊状 | 30 | + |
| 解離性大動脈瘤 | | | | | |
| 16. HH | 64 男 | DeBakey I 型 | | | |
| 17. KY | 59 男 | III 型 | | | |
| 18. TY | 49 男 | III 型 | | | |
| 19. YM | 43 女 | III 型 | | | |
| 20. FS | 41 女 | III 型 | | | |

内部の血流が SE 法とは異なり高信号で描出された。このため、SE 像と GE 像とを同一断面で撮像することにより SE 像での低速度血流信号と血栓との鑑別が可能であり、瘤内径の計測にも有用であった (図 1)。大動脈瘤の病変部位は、下行大動脈が 4 例、弓部が 3 例、弓部と下行大動脈の両者にあるもの 1 例、上行大動脈 1 例であった。瘤の形態は紡錘形が 4 例、球状が 3 例、囊状が 2 例であった。内径は 80 mm のものが 1 例、60 mm 以上のものが 3 例、5 例が 60 mm 未満であった。弓部症例では 4 例中 2 例で、X 線 CT では不明瞭であった瘤の形態や壁在血栓を明瞭に描出できた。またシネ MRI を用いて瘤への流入血流、遠位血管への流出血流、瘤内部での血流動態を評価することができた (図 2)。

受付年月日 1989年9月25日

別刷請求先 (〒591) 大阪府堺市長曾根町1179-3 大阪労災病院循環器科 大西修作

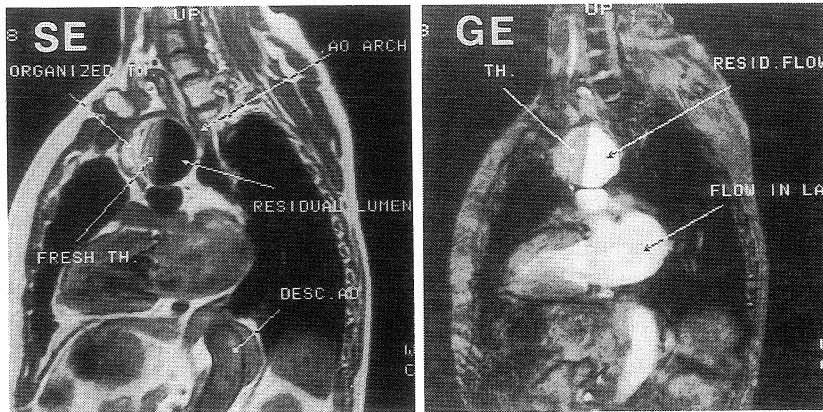


図1 胸部大動脈瘤（症例5）の斜位断面 SE 像（左）および GE 像（右）
SE 像にて弓部および下行大動脈の拡張と、その内壁に沿った部分に信号を認める。GE 像から瘤内部の信号を有する部分には血流の無いことが証明され、壁在血栓と診断した。

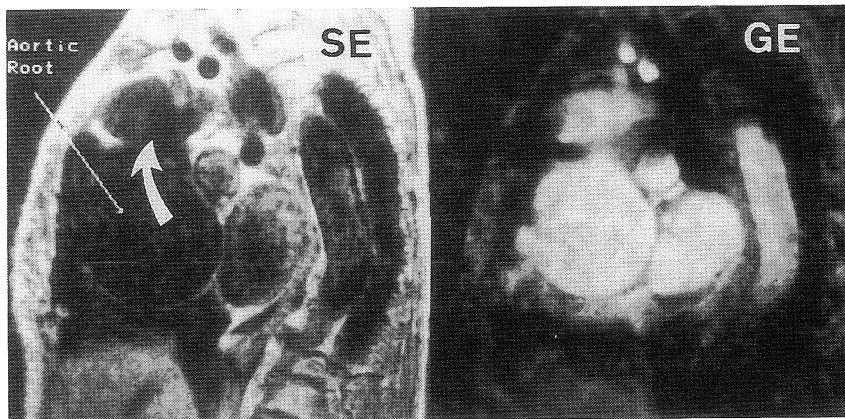


図2 胸部大動脈瘤（症例9）の斜位断面 SE 像（左）および GE 像（右）
SE 像にて大動脈根部の球状の拡大を認め、さらにその頭側にも内部に淡い信号を有する血管外腔（矢印）を認める。同一の断面での GE 像から両腔の内部の血流と両腔が交通していることが示され、この血管外腔は瘤からの perivascular leak と考えられた。

(2) 腹部大動脈瘤

腹部大動脈瘤は 6 例全例が腎動脈以下の発症であった。形態は紡錘形が 4 例、嚢状が 2 例であった。内径は 80 mm 以上のものが 1 例、60 mm 以上のものが 1 例、残る 4 例は 60 mm 未満であった。6 例中 5 例で壁在血栓を認め、そのうち

症例 12 を除く 4 例の血栓の形態は類似し、紡錘形に拡大した瘤の周囲に求心的に形成されていた（図 3）。症例 12 は短径 90 mm、長径 110 mm にもおよぶ症例であるが、壁在血栓は瘤の後壁にわずかに認められるのみであった。また同症例では、シネ MRI により瘤内部に粗大で緩徐な

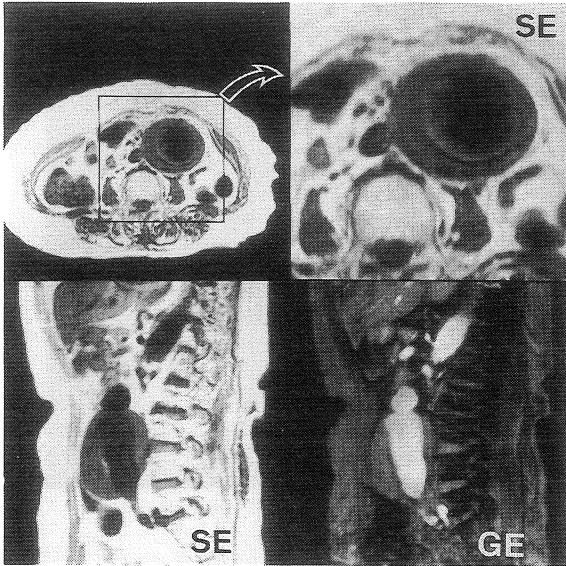


図3 腹部大動脈瘤(症例10)の横断面SE像(上段), 矢状断面SE像(下段左)およびGE像(下段右)

SE像にて腹部大動脈遠位の紡錘形の拡張を認め, GE像より内壁に沿い求心的に形成された壁在血栓を確認した。

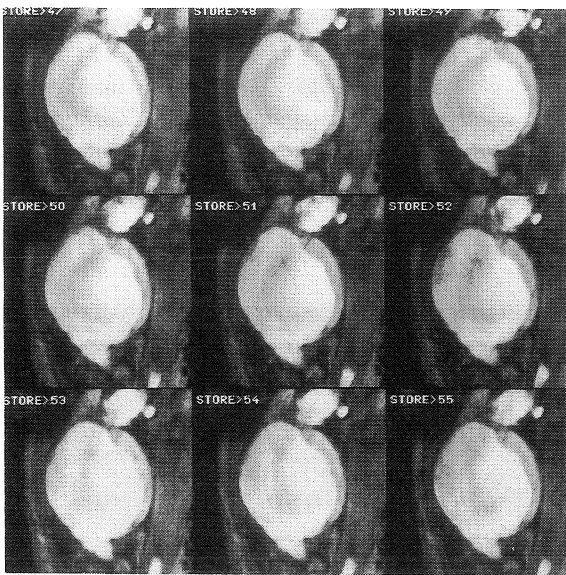


図4 腹部大動脈瘤(症例12)の矢状断面シネMR像

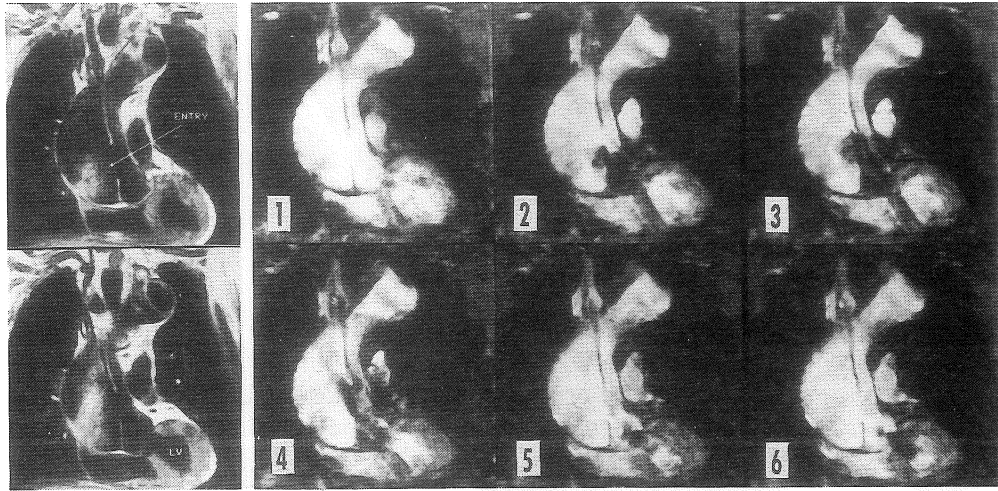
左上から右下に向かう9時相を示し, 紡錘形に拡張した巨大な瘤の内部で渦を巻くような血流が低信号として観察される。瘤背側には壁在血栓を認める。

回転性の血流が観察された(図4)。

(3) 解離性大動脈瘤

DeBakey I型の1例(症例16)では, 解離の範囲が弁輪部直上から左右の総腸骨動脈にまで及んだ(図5)。DeBakey III型の4例については, 症例17では胸部大動脈に限局し, 症例18,

19では腹部大動脈まで, 症例20では左右の総腸骨動脈にまで及んだ。全例とも剝離内膜およびintimal flapがSE画像上で確認されたが, 真腔と偽腔の識別については横断面像のみでは困難な例もあり, 長軸断面像が必要であった。シネMRI法により, 真腔と偽腔との信号強度の差や



解離の形態のみならず，心時相に応じた血流や隔壁の動きなども描出された。シネ MR 像上での両腔の血流信号強度は真腔のほうが偽腔よりも高く，SE 像と逆であった。SE 像上でエントリーの部位は剝離内膜の中断像としてみられた。一方，シネ MR 像では真腔偽腔間の交通血流を，剝離内膜の中断像の見られた部位における血流信号の欠落として認め，エントリーの診断確定

図5 解離性大動脈瘤 (DeBakey I 型, 症例 16) の冠状断面 SE 像 (左列) とシネ MR 像 (1 ~ 6)

SE 像にて上行大動脈の解離, entry, intimal flap が描出されている。シネ MRI にて, 収縮期に真腔から偽腔への血流 (2 ~ 4) が, 拡張期に大動脈弁逆流 (5, 6) が描出されている。

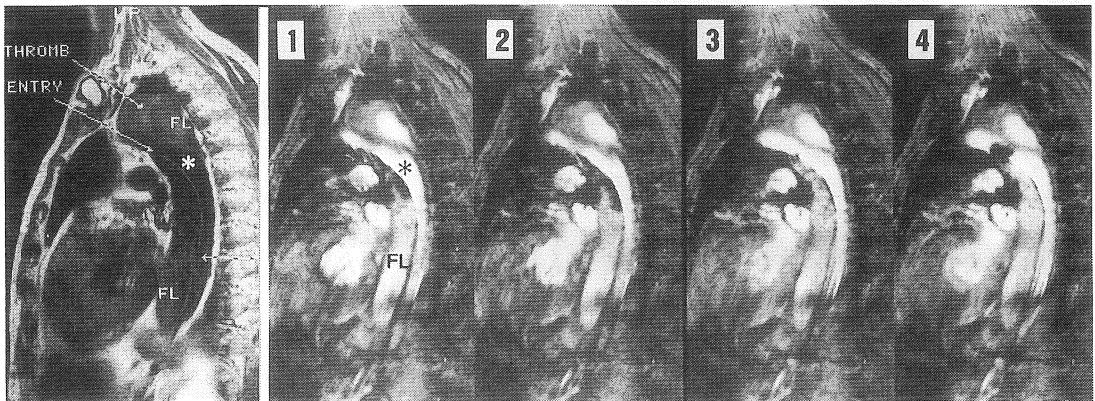


図6 解離性大動脈瘤 (DeBakey III 型, 症例 18) の矢状断面 SE 画像 (左) とシネ MR 像 (1 ~ 4) SE 像にて下行大動脈の解離を認め, 真腔 (*) は上下を偽腔 (FL) に挟まれ狭小となっている。シネ MRI にて, 収縮期 (1, 2) に真腔より偽腔に向かうジェット状の血流が信号欠落領域として描出され, 拡張期 (3, 4) には逆に偽腔より真腔に吹く血流が描出されている。

に有用であった。対象 5 例中 3 例でエントリーを介する両方向性の血流を認め、3 例ともに収縮期に真腔より偽腔に向かい、拡張期に逆に向かう流れであった(図 6)。MRI により診断されたエントリーの部位は、血管造影未施行の 2 例を除き 3 例(症例 16~18)で造影所見と一致していた。また、症例 16 では下行大動脈の遠位端でリエントリーと考えられる血流を両腔間に認めた。さらに、症例 18 に合併した大動脈弁閉鎖不全による逆流も冠状断面シネ MR 像にて描出された。

考 案

社会の高齢化に伴い動脈硬化性疾患の増加した今日、大動脈瘤および解離性大動脈瘤はその頻度も高く、外科的治療の適応を含め正確な病態診断が要求される。従来より大動脈瘤、解離性大動脈瘤の診断には血管造影法が重要な検査法であり、広く用いられてきたが、この方法は侵襲的であり造影剤の投与も必要である。したがって、重症例、腎機能障害例および造影剤に過敏な例では施行できない。近年開発された MR 法は非侵襲的で任意の断面での撮像が可能であり、造影剤を必要としないために心血管系の診断に用いられるようになった。大動脈瘤、解離性大動脈瘤の診断にも MR 法は応用されているが、使用されるパルス系列としては spin echo (SE) 法が主であった。この方法は心血管の形態診断には適しているが、血流情報の評価には適さない。一方 gradient echo (GE) 法は心血管系の血流の描出能に優れた検査法であり⁷⁻⁹⁾、さらに高速スキャンを用いて得られた像をシネ表示することにより血流動態を可視化できる。本研究では大動脈瘤および解離性大動脈瘤例について SE 法と GE 法にて MR 像を得、GE 法の有用性について検討した。

大動脈瘤の治療方針を決定するためには、①

大動脈瘤の範囲と内径、②大動脈瘤内の血流動態、③血栓の有無、④大動脈壁の状態、⑤大動脈瘤と分枝血管との関係、⑥病変部の傍大動脈の構造への影響などを評価しなければならない。大動脈瘤 4 例について MR 像を得た結果、SE 法では 4 例全例に動脈の拡張を認め、大動脈瘤の診断は可能であった。SE 法による大動脈瘤の診断については多くの報告があるが^{10,11)}、SE 法においては大動脈瘤内の血栓と緩徐な血流との鑑別がしばしば困難である。Glazer らは大動脈瘤 7 例を SE 法の double echo 法で検討し、大動脈瘤内の血栓の緩徐な血流との区別につき報告し、両者の鑑別が可能であるとしている¹¹⁾。しかし double echo 法ではしばしば第 2 エコー像で信号強度が低下するため必ずしも常に良好な像が得られると限らない。また、double echo 法では一回のスキャンで描出できるスライス枚数が single echo 法に比較して少なくなるため、病変の広がりへの把握には不利である。一方、GE 法では血管腔内の血流は高信号で描出され、血栓や大動脈壁などの周囲構造物では比較的 low signal に描出される。このため SE 法に GE 法を併せることにより血栓の形態が容易に把握できた。さらにシネ MRI 法による大動脈瘤の診断上の利点は瘤内部とその近位および遠位血管との間の血流が心時相にともなう信号強度の変化として表されることである。本研究でも、巨大腹部大動脈瘤症例の瘤内で渦をまく緩徐な血流が動画として観察された。このことは今後、大動脈瘤の形成過程の解析を行なう際に有用な情報を与えるものと思われた。

解離性大動脈瘤の診断では①解離腔の範囲、②真腔および偽腔の同定、③エントリーおよびエントリーの部位、④交通孔の有無およびそれを介する血流などの把握が重要である。解離性大動脈瘤の診断における SE 法の有用性については多くの報告がある^{12,13)}。これらの報告ではいずれも剝離内膜の同定と真腔と偽腔との鑑別が可

能であるとしている。本研究でも対象とした5例全例で解離による2腔の存在とその剥離内膜、およびエントリーと思われる内膜の中断像を認めた。しかし、この中断像は内膜上の石灰化の可能性もありエントリーと確定できない。SE法によるエントリーの同定については、血流の遅い偽腔は真腔に比して高信号に描出され、エントリーの部位は剥離内膜の中断像とともに偽腔内に無信号領域を認めることで診断されるとの報告がある^{14),15)}。本研究では、シネMRI法を用いることによりエントリーを通過する血流を描出し得た。シネMRI法では交通孔を通過する血流を直接的に描出できるばかりでなく、心時相によるその変動も観察できることからエントリーの部位診断も容易であった。また従来、解離性大動脈瘤における血流は真腔からエントリーを通じて偽腔に向かい、リエントリーから真腔に戻ると考えられていたが¹⁶⁾、本研究の対象5例中3例で真腔と偽腔間にエントリーを介した両方向性の血流を認めたことは興味深い事実である。一方、de RoosらもシネMRIを解離性大動脈瘤の診断に用いた報告を行い、真腔および偽腔内の血流の信号強度が異なること、およびそれらが時相により変化することを報告し、両者の鑑別に有用であったとしている¹⁶⁾。著者らの研究でも、シネMR像の真腔内の信号強度は偽腔内のそれよりも高かった。一般にGE法においては、いわゆる unsaturated spin が撮像スライスに流入することにより、その部分の信号強度が上昇することが知られている。真腔内の血流速度は偽腔内のそれよりも高く、TE時間内に撮像スライスに流入する未飽和スピンの数は真腔内の方が多くなるため真腔の信号は増強する。また、真腔よりエントリーを通じて偽腔内に流入する血流は乱流を生じ偽腔内の信号を低下させる。これらの結果、真腔内は偽腔内よりも相対的に信号強度が高く描出されるものと考えられる。これはSE法(非同期)で一般に偽腔のほう

が高い信号強度を有する¹⁴⁾のとは逆の関係であり、両者を対照することにより、真腔、偽腔の鑑別はより容易となる。SE法と異なるシネMRI法のもう一つの利点は、大動脈弁閉鎖不全の評価が可能なことであり、逆流は拡張期左室内に無信号領域として描出される。これは、DeBaakey I型の症例の重症度分類および手術適応の決定に有用な情報を与える。

以上の結果から gradient echo 法を用いたシネMRIは非侵襲的に血流情報を得られる点から、従来のMRIによる大動脈瘤および解離性大動脈瘤の診断に加えて、より多くの有用な情報を与えることが示された。今後さらに空間分解能の改善、撮像時間の短縮が成されれば、大動脈疾患の診断および病態解析においてさらに有用な検査法となりうる。

文 献

- 1) Dinsmore RE, Willerson JT, Buckley MJ: Dissecting aneurysm of the aorta: Aortographic features affecting prognosis. *Diagn Radiol* 105: 567, 1972
- 2) Mathew T, Nanda NC: Two-dimensional and Doppler echocardiographic evaluation of aortic aneurysms and dissection. *Am J Cardiol* 54: 379, 1984
- 3) Goodwin JD, Herfkens RL, Skioldebrand CG, et al.: Evaluation of dissections and aneurysms of the thoracic aorta by conventional and dynamic CT scanning. *Radiology* 136: 125, 1980
- 4) Goodwin JD, Breiman RS, Speckman JM: Problems and pitfalls in the evaluation of thoracic aortic dissection by computed tomography. *J Comput Assist Tomo* 6: 750, 1982
- 5) Higgins CB: Overview of MR of the heart—1986. *Am J Roentgenol* 146: 907-918, 1986
- 6) Pohost GM, Canby RC: Nuclear magnetic resonance imaging: current applications and future prospects. *Circulation* 75: 88-95, 1987
- 7) Haase A, Frahm J, Matthaeis D, et al.: FLASH

- imaging. Rapid NMR imaging low flipangle pulses. *J Mag Resonance* 67 : 258-266, 1986
- 8) Sechtem U, Pflugfelder PW, White RD, et al. : Cine MR imaging : Potential for the evaluation of cardiovascular function. *Am J Roentgenol* 148 : 239-246, 1987
- 9) 大西修作, 福井須賀男, 渥美千里, 他 : 高速スキャンによる心血管腔内血流動態の検討. *日本磁気共鳴医学会雑誌* 8 : 3-9, 1988
- 10) Lee JK, Ling D, Heiken JP, et al. : Magnetic resonance imaging of abdominal aortic aneurysms. *Am J Roentgenol* 143 : 1197-1202, 1984
- 11) Glazer HS, Gutierrez FR, Levitt RG, et al. : The thoracic aorta studied by MR imaging. *Radiology* 157 : 149-155, 1985
- 12) Dinsmore RE, Wedeen VJ, Miller SW, et al. : MRI of dissection of the aorta : Recognition of the intimal tear and differential flow velocities. *Am J Roentgenol* 146 : 1286-1288, 1986
- 13) Goldman AP, Kotler MN, Scanlon MH, et al. : The complementary role of magnetic resonance imaging. Doppler echocardiography, and computed tomography in the diagnosis of dissecting thoracic aneurysms. *Am Heart J* 111 : 970-981, 1986
- 14) 渡辺 滋, 小林史朗, 榊原 誠, 他 : MRI による血流の評価. *脈管学* 28(12) : 1235-1241, 1988
- 15) 向谷伸彦, 吉田 裕, 中村和夫 : 磁気共鳴画像法 (MRI) による大動脈解離の診断—特に真腔・偽腔の交通孔について—. *J of Cardiology* 16 : 607-626, 1986
- 16) de Roos A, Doornbos J, Bluemm R, et al. : Fast multiphase imaging (FMI) of flow in aortic dissection. *J Med Imag* 2 : 24-30, 1988

A Study of Intraluminal Flow in Patients with Aortic Disease by Cine Magnetic Resonance Imaging

SHUSAKU OHNISHI,* SUGAO FUKUI*
HIDEO KUSUOKA,** AKIRA KITABATAKE**
TAKENOBU KAMADA**

**Division of Cardiology, Oriono-Izumi Hospital*

***The First Department of Medicine Osaka University Medical School*

To evaluate the usefulness of cine magnetic resonance (MR) imaging in the diagnosis of aortic disease, we applied cine MR sequences with conventional spin echo (SE) sequence to 15 patients with aortic aneurysm and 5 patients with aortic dissection. ECG gated multi slice SE images (single echo) were obtained in transverse plane and the planes along the long axis of aorta. TE of SE sequence was ranged from 15 to 32 msec. Cine MR Smages were obtained in 17 frames, where TR was ranged from 30 to 60 msec and TE was from 10 to 22 msec.

We got these results as follows. For aortic aneurysm, SE images showed aneurysmal dilatation in thoracic aorta in 9 cases, and in abdominal aorta in 6 cases. Cine MR images showed us the intraluminal flow with high signal intensity. We could differentiate the slow flow image from mural thrombus using SE and cine MR sequences in the same plane. We could evaluate the dynamic flow image within a cavity of aneurysm and in in-flow and out-flow portions of aorta by cine MR imaging. For aortic dissection, SE images delineated the intimal tear and two separated lumens in all cases. We could obtain flow images within true and false lumen by cine MR imaging. The signal intensity within true lumen was higher than that within false lumen. It seemed that was due to the difference of flow velocity and the turbulence within false lumen. Entry to false lumen was seen as the interruption of dissected intima on SE images. Cine MR images clearly depicted the blood flow communication between two lumens through the entry. In 3 of 5 cases the blood flow through the entry was been in both directions, from true to false lumen in systole and inversely in diastole. Thus, cine MR imaging will add the useful hemodynamic informations in the diagnosis of aortic disease by conventional MR imaging.