

# 原 著

## 高速スキャンによる心血管腔内血流動態の検討

大西修作 (オリオノ和泉病院循環器センター)

福井須賀男 ( 同 上 )

渥美千里 ( 同 上 )

守田瑠璃子 ( 同 上 )

楠岡英雄 (大阪大学医学部第一内科)

藤井謙司 ( 同 上 )

北島 颯 ( 同 上 )

滝沢 修 (シーメンスメディカル)

### キーワード

intracardiac flow, valvular regurgitation, cine-mode MRI, gradient echo, signal loss

### 緒 言

心血管腔内の血流動態を把握することは心血管系疾患の形態診断および機能評価を行う上で重要である。従来より心血管腔内の血流の評価には超音波ドプラー法<sup>1),2)</sup>, 心血管造影法<sup>3),4)</sup>などが用いられてきたが, 超音波ドプラー法には計測範囲に制約があり, 心血管造影法は侵襲的であること, 造影剤を使用することから反復検査が困難である。一方, MRI は非侵襲的であり, 心臓の任意の断面像が得られる利点がある。

MRI による心血管動態検査において, 従来のスピネコー法は繰り返し時間 (TR) が心電図の RR 間隔に依存するため, 一回のスキャンで心周期の多時相における画像を得ることは困難であった。またスピネコー法では血流は緩徐な血流を除き無信号として描き出されるため血流の評価は困難であった。最近開発された gradient echo 法を用いた高速スキャンでは TR の短縮が可能であり, 短時間に同一断面における多時相の画像作成が可能である<sup>5)</sup>。また血流部分は

通常高信号として描出され, 得られた画像をシネモードで表示することにより血流動態を動画として観察できる<sup>6)~8)</sup>。今回筆者らは健常人および心疾患患者を対象に, gradient echo 法による高速スキャンを用いて MRI による血流イメージを作成し, 特に弁逆流について心腔内の血流動態を検討した。

### 対象・方法

対象は健常人 3 例, 肥大型心筋症 (HCM) 3 例, 弁逆流疾患 8 例 (大動脈弁逆流 3 例, 僧帽弁逆流 2 例, 三尖弁逆流 2 例, 肺動脈弁逆流 1 例) であり, 男 5 例, 女 9 例, 年齢 31~85 歳である。肥大型心筋症および弁逆流疾患の診断は心エコー法および超音波ドプラー法により行った。

使用 MR 装置は 1.5 Tesla 超伝導型 (Siemens 社製) であり, 横断面, 冠状断面, 矢状断面および斜位断面で撮像した。高速スキャンのパルス系列としては, FLASH (Fast Low

-Angle Shot)法を用い, flip angle=30°, TR=60~100 ms, TE=10~15 msとした. 図1はFLASH法のパルス系列を示す. 本法はスピネコー法の180°パルスにあたるRF波を用いずread out および slice selection の gradient の位相を反転させることによりMR信号を得る方法である. 本法を用いてRR間隔を11分割した時相の連続画像を得た後, CRT上にシモネード表示し動画として観察した.

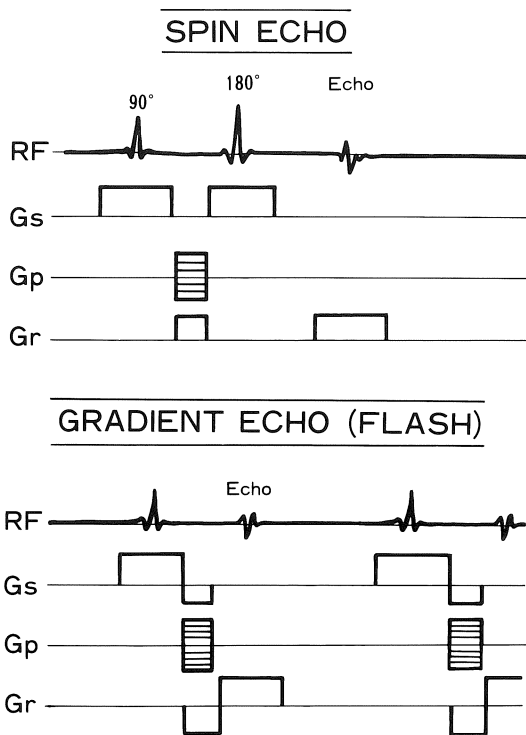


図1 スピネコー法および Gradient Echo (FLASH) 法のパルス系列

結 果

(1) 健常人における血流動態

図2-Aは本法により得られた健常人での上行

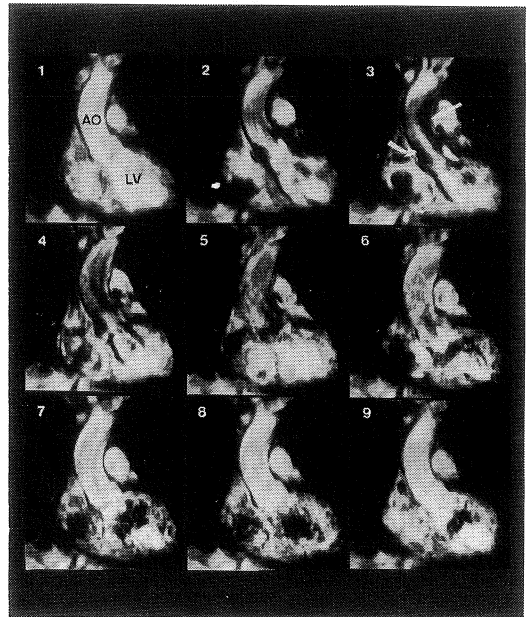


図2-A FLASH法による健常人の冠状断面連続9画像. 左上のフレームはR波から10msの画像, 各フレームの間隔は80ms. 心腔内および大動脈内の血液が高信号に描出され, 同時に左心室(LV), 大動脈(AO)等の周囲構造物も描出されている. 心室収縮による駆出にともない上行大動脈内に無信号領域(矢印)が出現している.

大動脈と左心室を縦断する冠状断面像を示す. 左右心室, 大動脈および弁などの心臓の構造物が描出されるとともに心血管内腔に血流が高信号で描出されている. 収縮期には大動脈内腔の弁上部に無信号領域を認め, その無信号領域は順次上行大動脈上部へと進む. 同時に図2-Bは横断面像である. 左右心房, 左右心室, 心室中隔, 僧帽弁, 三尖弁および下行大動脈が描出されている. 拡張期に高信号の血流が左右心房から心室へ流入する像が認められた.

このように, 健常人において高速スキャンに

受付年月日 昭和63年3月12日

別刷請求先 (〒594)大阪府和泉市伏屋町348-1 オリオノ和泉病院 循環器センター 大西修作

図2-B

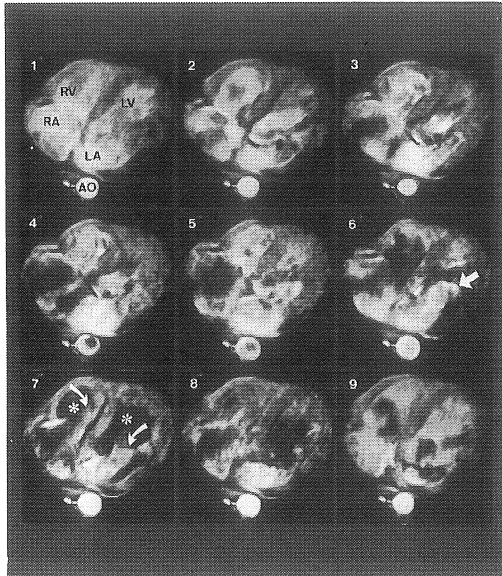


図2-B 同例の横断面像。左心房(LA)、左心室(LV)、右心房(RA)、右心室(RV)および下行大動脈(AO)が描出されている。第6、第7フレームに房室弁の開放と心房から心室への高信号の血液流入(矢印)が示されている。これにともない両心室内に無信号領域(\*印)が出現している。

より得られた画像をシネモード表示することにより、冠状断面で駆出血流が、横断面で流入血流が把握できた。

(2) 肥大型心筋症例の血流動態

肥大型心筋症3例ではいずれも心室中隔、心尖部の肥厚と狭小な左室流出路が描出されたが、その血流画像については健常人と差を認めなかった。

(3) 弁逆流疾患の評価

大動脈弁逆流3例では、冠状断面像にて拡張期に大動脈弁口部より左心室内に無信号領域を認めた。この無信号領域は弁口部に頂点を置く涙滴状(teardrop shape)であり(図3)、拡張期全画像に認めたことから弁逆流を示すものと考えられた。

図3

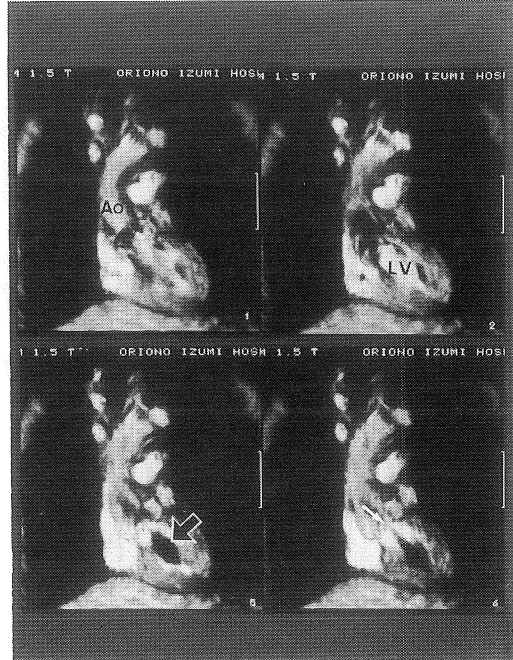


図3 大動脈弁逆流の冠状断面像。左心室内腔は収縮期(上段)に高信号を示す。拡張期(下段)には大動脈弁口部(細い矢印)を頂点とする涙滴状(teardrop shape)の無信号領域(太い矢印)を認める。

僧帽弁逆流2例では横断面像にて収縮期に左心室から左心房への無信号領域を観察した。この無信号領域は大動脈弁逆流例の涙滴状とは異なり一定の形態をとらなかった(図4)。

図5に三尖弁逆流例の横断面像および斜位断面像を示す。右心房の拡大を認め、収縮期に右心室から右心房へ無信号領域が描出されている。この無信号領域は僧帽弁逆流と同様に不定形を示した。また、右心室長軸を含む面での斜位断面像を加えることにより弁逆流の頭尾方向への広がり評価できた。肺動脈弁逆流例は逆流量が少なく、軽症例であったために検出の困難性はあったが、斜位断面像にて涙滴状の無信号領域を描出し得た。

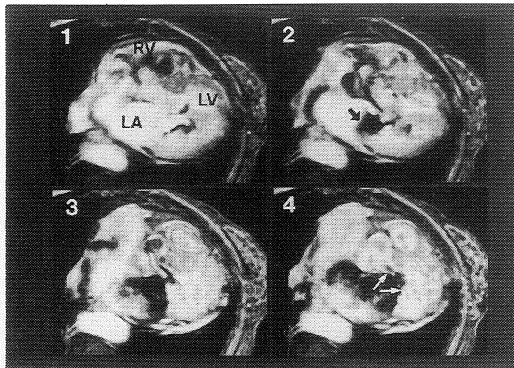


図4 僧帽弁逆流例の横断面像。左心室 (LV)、左心房 (LA) および右心室 (RV) が描出され、左心房の拡大を認める。拡張終期 (1) に高信号を示す左心房内腔に収縮期 (2~4) に無信号領域 (太い矢印) が徐々に広がる。細い矢印は開放直前の僧帽弁尖を示す。

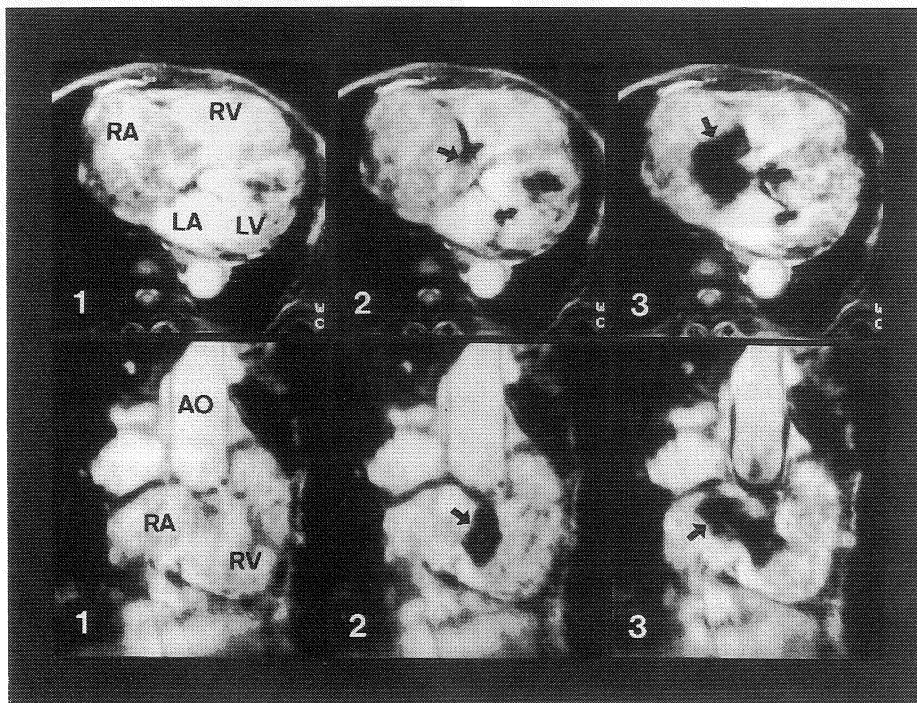


図5 三尖弁逆流の横断面像 (上段) および斜位断面像 (下段)。右心房 (RA)、右心室 (RV)、左心房 (LA)、左心室 (LV) および大動脈 (AO) が描出され、右心房の拡大を認める。拡張期 (1) に高信号を示す右心房内に収縮期 (2~3) に無信号領域 (矢印) がある。

## 考 案

心血管腔内の血流を把握することは心血管疾患の診断上重要であるが、血流の検出には超音波ドプラ法<sup>1),2)</sup>、心血管造影法<sup>3),4)</sup>、などが用いられてきた。しかし、超音波ドプラ法は非侵襲的であるが計測の困難な例もあり計測視野も

十分ではない。心血管造影検査は侵襲的であり、造影剤の使用を必要とすることから反復検査は

困難である。一方、MRI は非侵襲的であり、広い撮像視野が得られ、任意の断面での撮像が可能なことなどの利点があり有用な検査法である。

MRI による血流の画像化について従来のスピエコー法では、心機能低下例<sup>9)</sup> および心筋梗塞例の左室内の血流信号<sup>10)</sup>、肺高血圧症例における肺動脈の血流信号が描出されたとの報告があるが<sup>11)</sup>、いずれも緩徐な血流であり高流速の血流は描出されなかった。本研究では gradient echo 法による高速スキャンを用いて心周期を 11 分割した時相の画像を得た。本法では撮像スライス内へ飽和されていないスピンの流入が常に行われるため、血流は周囲構造物よりも高信号で描出される。また、TR が短いため一度のスキャンで心周期の多時相にわたっての描出が可能であり、これらをシネモード表示することにより血流動態を観察することができた。

本研究において、健常人、肥大型心筋症、弁逆流疾患症例で心臓の構造物とともに心腔および血管内腔の血流が高信号に描出された。さらに弁逆流はこの高信号部分内に無信号領域として描出された。逆流以外にも、大動脈弁近位部の駆出血流および心房、心室内への流入などによる無信号領域を認めたが、これらは時相、出現部位などから逆流とは識別可能であった。無信号領域の生じる理由としては、① 励起された血液の計測スライス面からの離脱、② スピンの位相の均一度が、血流速度、血流加速度、血流方向に依存することの 2 点が考えられる。FLASH 法では 180° パルスを用いないため前者の影響は無い。一方、後者については FLASH 法における勾配磁場の印加により、スピンの位相が血流の速度、加速度および方向に依存して変化すると考えられる。一般に血流速度、加速度が大きくなれば位相の乱れが大きい。また、血流の加速する部位ではしばしば渦流が生じ、これらが位相を乱し無信号領域が生じるものと考えられる<sup>12),13)</sup>。

MRI による弁逆流疾患の診断においては描出する断面設定も重要である。大動脈弁逆流については左心室と大動脈弁口部とを縦断する冠状断面にて逆流が最もよく描出された。この場合さらに背側に断面を設定すると、左心房から左心室への流入血流により拡張早期に無信号領域が描出されることがある。しかし、この無信号領域は逆流による涙滴状とは異なり不定形となり、その辺縁も明瞭でないことが多く両者の識別が可能である。僧帽弁および三尖弁逆流ではそれぞれの弁口部を含む横断面および斜位断面にてよく描出された。肺動脈弁逆流には肺動脈弁口部、右室流出路を縦断する斜位断面が有用であった。

以上、FLASH 法を用いて MRI による健常人、肥大型心筋症および弁逆流疾患の血流動態の評価を行ったが、今後さらに精度をあげるため、① 断面の設定、② 血流信号の意義、③ 他の評価法との比較、④ 逆流量の推定などの検討が必要である。

#### 文 献

- 1) S. Satomura, S. Matsubara, M. Yoshikawa : A new method of mechanical vibration measurement and its applications. *Memoirs of the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University* 13 : 125-133, 1956.
- 2) K. Namekawa, C. Kasai, M. Tsukamoto, A. Kayano : Imaging blood flow using autocorrelation. *Ultrasound Med Biol* 8 : 138, 1982.
- 3) F.M. Sones Jr., E.K. Shirey : Cine coronary arteriography. *Mod Concepts Cardiovasc Dis* 31 : 735-738, 1962.
- 4) L.W. Klein, J.B. Agarwal, G. Stets, R.I. Rubinstein, W.S. Weintraub, R.H. Helfant : Videodensitometric quantitation of aortic regurgitation by digital subtraction aortography using a computer-based method analyzing time - density curves. *Am J Cardiol* 58 : 753-756, 1986.
- 5) A. Haase, J. Frahm, D. Matthaeis, W. Hänicke,

- K.-D. Merboldt : FLASH imaging. Rapid NMR imaging low flip-angle pulses. *J Mag Resonance* 67 : 258-266, 1986.
- 6) J.C. Watertrou, J.P.R. Jenkins, X.P. Zhu, H.G. Love, I. Isherwood, D.J. Rowlands : Magnetic resonance (MR) cine imaging of the human heart. *Brit J Radiology* 58 : 711-716, 1985.
- 7) G.L. Nayler, D.N. Firmin, D.B. Longmore : Blood flow imaging by cine magnetic resonance. *J Comput Assist Tomogr* 10 : 715-722, 1986.
- 8) D.B. Longmore, D.N. Firmin, G.L. Nayler, S.R. Underwood, R.H. Klipstein : Cine magnetic resonance blood flow imaging in clinical use (abstract). *Mag Reson Imaging* 4 : 157, 1986.
- 9) C.B. Higgins : Overview of MR of the heart - 1986. *Am J Roentgenol* 146 : 907-918, 1986.
- 10) N.G. Flipchuk, R.M. Peshock, C.R. Malloy, J.R. Corbett, R.B. Rehr, L.M. Buja, D.E. Jansen, G. R. Redish, G.I. Gabliani, R.W. Parkey, J.T. Willerson : Detection and localization of recent myocardial infarction by magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 58 : 214-219, 1986.
- 11) G.K. von Schulthess, M.R. Fischer, C.B. Higgins : Detection of abnormal pulmonary flow pattern by magnetic resonance imaging in pulmonary arterial hypertension. *Ann Intern Med* 103 : 125-132, 1985.
- 12) M. Deimling, E. Mueller, G. Lenz, K. Barth, P. Fritschy, M. Seiderer, E.R. Reinhardt : Description of flow phenomena in magnetic resonance imaging. *Diagn Imaging Clin Med* 55 : 37-51, 1986.
- 13) W.G. Bradley Jr., V. Waluch, K.-S. Lai, E.J. Fernandez, C. Spalter : The appearance of rapidly flowing blood on magnetic resonance images. *Am J Roentgenol* 143 : 1167-1174, 1984.

## A Study of Intracardiac Blood Flow by MRI Using Gradient Echo Method

---

Shusaku Ohnishi

(Div. of Cardiology, Oriono-Izumi Hosp.)

Sugao Fukui

(Div. of Cardiology, Oriono-Izumi Hosp.)

Chisato Atsumi

(Div. of Cardiology, Oriono-Izumi Hosp.)

Ruriko Morita

(Div. of Cardiology, Oriono-Izumi Hosp.)

Hideo Kusuoka

(The 1st Dept. of Medicine, Osaka Univ. Med. school)

Kenshi Fujii

(The 1st Dept. of Medicine, Osaka Univ. Med. School)

Akira Kitabatake

(The 1st Dept. of Medicine, Osaka Univ. Med. School)

Osamu Takizawa

(Siemes Medical Systems)

---

In order to investigate the possibility of MR imaging for the evaluation of intracardiac blood flow especially valvular regurgitant flow, we obtained MR images using a 1.5 tesla superconductive magnet system (Siemens Medical) in 3 healthy volunteers, 3 patients with hypertrophic cardiomyopathy and 8 patients with valvular heart disease. Rapid FLASH (Fast Low-Angle Shot) imaging technique was applied to collect 11 time frames per section throughout one cardiac cycle in axial, coronal, saggital and oblique sections. Then these sequential frames were displayed in a cine mode on CRT.

RESULTS : (1) Intracardiac and intravascular blood flow were visualized with high signal intensity in each frame and cardiac structures such as atria, ventricles, and aorta were also identified in all subjects. (2) Ventricular ejection flow was easily visualized in coronal section as the signal loss in the ascending aorta. Ventricular filling was visualized in axial and oblique sections as the high signal influx of atrial blood into the ventricle. (3) In 3 patients with aortic regurgitation, regurgitant flow was detected during diastole as the teardrop shaped signal loss originating from aortic valve cusps. (4) Both mitral and tricuspid regurgitant flow were detected during systole as the signal loss in atrium in axial and oblique sections in 2 patients with MR and 2 patients with TR. (5) Pulmonary regurgitant flow was observed in oblique section along the long axis of right ventricular outflow tract.

These results indicate that intracardiac forward and regurgitant flow could be identified with rapid FLASH imaging in normal subjects and in patients with valvular heart diseases, and cine mode MR imaging is a useful tool for the evaluation of intracardiac blood flow.