

## MRI を用いた PTMC 前後の左房内血流の解析

中森久人<sup>1</sup>, 小糸仁史<sup>1</sup>, 松浦隆<sup>1</sup>, 鈴木淳一<sup>1</sup>,  
唐川正洋<sup>1</sup>, 神嶋宏<sup>1</sup>, 下條途夫<sup>2</sup>, 津田信幸<sup>2</sup>,  
岩坂壽二<sup>1</sup>, 稲田満夫<sup>1</sup>, 加藤勤<sup>3</sup>, 片上和敏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>関西医大第二内科   <sup>2</sup>関西医大香里病院第一内科  
<sup>3</sup>関西医大放射線科

### はじめに

磁気共鳴画像 (MRI) で現在, 広く用いられているスピネコー法 (以下 SE 法) では血流部分の特に速度の速いところでは黒く抜けるが, 速度の遅いところでは信号として捉えるという特性がある<sup>1),2)</sup>. より速い血流を信号として捉えるために種々のフェーズリフォーカシング法も考案されている<sup>3),4)</sup>. これらパルス系列を組み合わせることにより僧帽弁狭窄症 (以下 MS) の左房内における血流現象を解析することを試みた.

また, Percutaneous Transvenous Mitral Commissurotomy (以下 PTMC) 前後の左房内血流の変化や解剖学的所見についても検討した.

### 方 法

#### 1) MRI

使用機種は三洋電機社製 0.15T 永久磁石型 MRI (SNR-15P) で, パルス系列は, TE40 または 80ms の SE 法および流れ (速度成分) による位相のずれを補正するような勾配磁場をさら

に選択励起方向と周波数エンコード方向で印加した SE 法すなわち FR (Flow Rephase) 法 (TE 80ms) を用いた.

心拍同期をおこなうため, TR は各症例の RR 間隔に依存するが全例 2 倍の RR 間隔 (平均 1700 ms, 1500-2100 ms) で撮像し, 左房が最も大きく描出される水平断面を選択した.

a) 信号強度については, 信号のないものをグレー

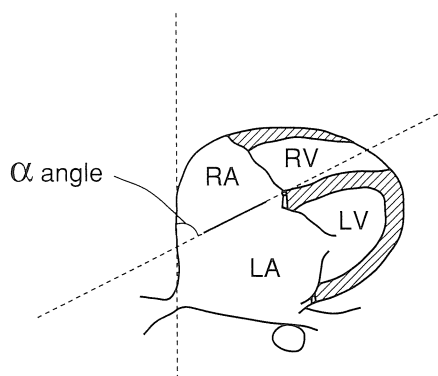


Fig.1.  $\alpha$  angle : angle of atrial septum and sagittal plane, RA : right atrium, RV : right ventricle, LA : left atrium, LV : left ventricle.

キーワード PTMC, blood flow, MRI

ド (Gr) 0, 広背筋の信号に相当する信号強度までを Gr 1, 皮下脂肪の信号強度までを Gr 2, それ以上を Gr 3 とした 4 段階の信号強度に分類し評価した。

b) また, 水平断面像における心房中隔 (心房中隔の付着点を結んだ直線) と体軸矢状面とのなす角度を測定した (Fig.1)。

## 2) 心臓カテーテル検査との対比検討

PTMC 前後に左房圧と左室拡張末期圧を測定しその圧差を算出した。

患者 11 例に対し PTMC 前後にスワンガンツカテーテルを挿入し一回心拍出量係数 (systolic index : 以下 SI) を測定した。

## 対 象

対象は MS 15 例で, 性別は男 4 名, 女 11 名, 年齢は平均 47 才 (32~66 才) である。非弁膜症者 7 例をコントロールとした (25~64 歳)。

心房細動は MS 群 15 例中 11 例にみられた。15 例中 14 例に対し PTMC を行った。そのうち 13 例に対し PTMC 前後に MRI を施行した。

## 結 果

正常例はいずれの撮像条件でも左房内信号強度が Gr 0 で信号を認めなかった。

Table 1 は MS 患者 15 例の各パルス系列にお

Table 1. Patient Profile before PTMC

pt. No	age	sex	NYHA	SE 40	SE 80	FR	MVA	$\alpha$ Angle	Ecg	thrombosis	TR(ms)
1	64	F	III	2	1	3	0.6	78	Af	(-)	1500
2	46	F	III	2	1	3	1.6	67	Af	(+)	1800
3	32	M	II	2	0	3	1.5	65	NSR	(-)	1700
4	42	F	II	2	1	3	1.3	60	NSR	(+)	2100
5	44	M	II	2	1	3	1.6	72	Af	(-)	1700
6	46	F	III	2	1	3	1.1	65	NSR	(+)	2000
7	33	M	II	2	1	3	0.8	95	Af	(-)	2000
8	41	F	II	1	0	3	1.1	68	Af	(-)	1500
9	50	F	III	2	0	3	1.5	85	Af	(-)	1600
10	66	F	III	2	1	3	1.1	60	Af	(+)	1500
11	45	F	II	1	0	3	1.0	80	NSR	(-)	1500
12	64	M	II	1	0	2	1.4	70	Af	(+)	1500
13	64	F	II	1	0	2	1.5	75	Af	(+)	1500
14	64	F	II	2	1	3	0.9	65	Af	(-)	2000
15*	53	F	III	2	1	2	0.5	70	Af	(-)	1400

\* : patient for surgical treatment.

NYHA : New York Heart Association functional classification.

SE 40, SE 80, FR : signal intensity of left atrium with each method.

MVA : mitral valve area.

1994年1月13日受理 1994年4月18日改訂

別刷請求先 〒570 守口市文園町1番地 関西医大附属病院心臓血管病センター内科CCU内 中森久人

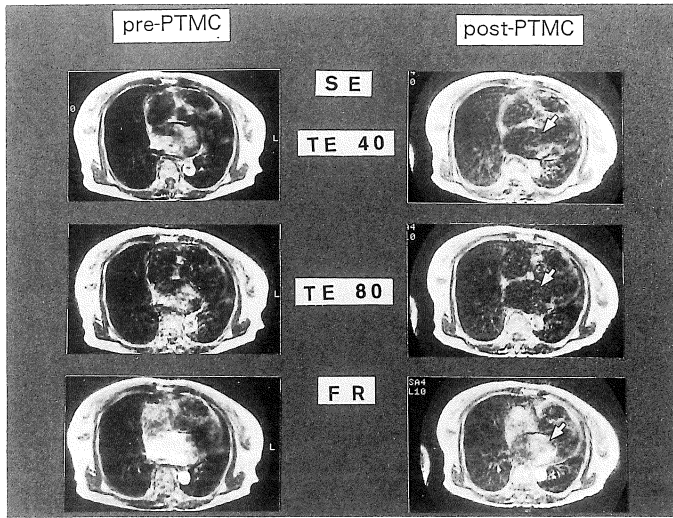


Fig.2. Case 6. 46-year-old woman with mitral stenosis, before and after PTMC, arrow : left atrium.

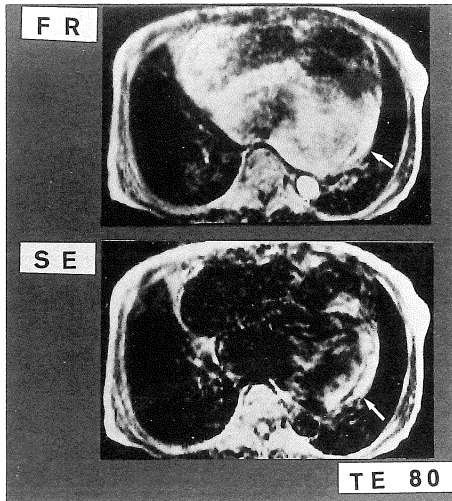


Fig.3. Case 15. 53-year-old woman with mitral stenosis, arrow : thrombus in left atrium.

Table 2. Patient Profile after PTMC

pt. No	SE 40	SE 80	FR	MVA	$\alpha$ Angle	TR(ms)
1	0	0	2	1.0	85	1500
2	1	0	2	2.4	70	1800
3	(-)	(-)	(-)	2.1	60	1700
4	1	0	3	2.2	60	2100
5	0	0	2	2.2	72	1700
6	1	0	2	2.3	68	2000
7	0	0	3	1.6	84	2000
8	1	0	2	2.7	68	1500
9	2	0	3	3.0	85	1900
10	1	0	3	1.8	58	1500
11	0	0	1	1.6	80	1300
12	0	0	1	1.7	70	1500
13	0	0	1	2.4	70	1500
14	1	0	2	1.8	65	1500

ける信号強度を心エコーによる弁口面積、NYHA 心機能分類などとともにまとめて示した。NYHA IIは9例、NYHA IIIは6例であった。

TE 40ms 画像で全例に Gr 1 から 2 の信号が

認められ、さらに左房内信号強度はFR 法により全例でグレードが一段階増強した。塞栓症の既往を持つ例は6例で、これら6例では左房内血栓は認めなかった。MS の実例を示す。症例

6 (Fig.2) は 46 歳女性例で、心エコー上、僧帽弁弁口面積は  $1.1\text{cm}^2$  である。上段の SE 法 TE 40ms で Gr 2 の信号強度が認められ、中段の TE 80ms では Gr 1 の信号強度であった。下段にします FR 法では Gr 3 と明らかに信号の増強が認められた。

症例 15 は 53 歳女性 (Fig.3) で、MRI にて左房内に血栓を認め、心エコーでも血栓を認めたため、僧帽弁置換術を施行した。

PTMC 前後で、SE 法 (TE 40ms) にて 11 例、SE 法 (TE 80ms) にて 8 例、FR 法 (TE 80ms) にて 9 例が信号強度の軽減を認めた (Table 2)。

左房-左室拡張末期圧格差は有意に低下し ( $10.2 \pm 4.8$  vs  $2.9 \pm 3.1$  mmHg :  $p < 0.01$ , Fig. 4) 一回心拍出量係数は有意に増加した ( $42.4 \pm 8.8$  vs  $50.5 \pm 9.2$  ml/m<sub>2</sub> :  $p < 0.01$ , Fig.5)。

体軸矢状面と心房内隔とのなす角度は、僧帽弁狭窄症患者が  $72.8 \pm 10.0^\circ$  で非弁膜症例の

$33.1 \pm 3.4^\circ$  に比べ有意に高値であった ( $p < 0.01$ , Table 1)。

## 考 察

MRI は従来、解剖学的所見を捉えるのに有用であると言われてきた<sup>5),6)</sup>。最近、血流を MRI でとらえることが注目されている<sup>7)~10)</sup>。

グラディエントエコー法を用いたシネ MRI では心腔内血流を高い信号で捉えるが<sup>11),12)</sup>、SE 法では心腔内が黒く抜けることが多い<sup>5)</sup>。しかし、弁狭窄、心機能低下例あるいは心時相などによって、しばしば心腔内に血流信号を認める<sup>9),11)</sup>。このような画像を利用すれば、MRI は他の画像診断に比べ血流動態の解析に優れている。そこでフェーズリフォーキング法の一つである FR 法を用いて、他の画像診断では捉えにくい左房内血流を解析することを試みた。FR 法とは従来の SE 法に、その位相のずれを補償するためスラ

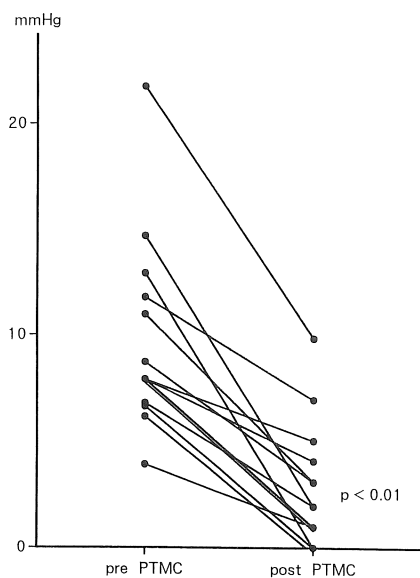


Fig.4. Mean diastolic gradient across the mitral valve before and after PTMC.

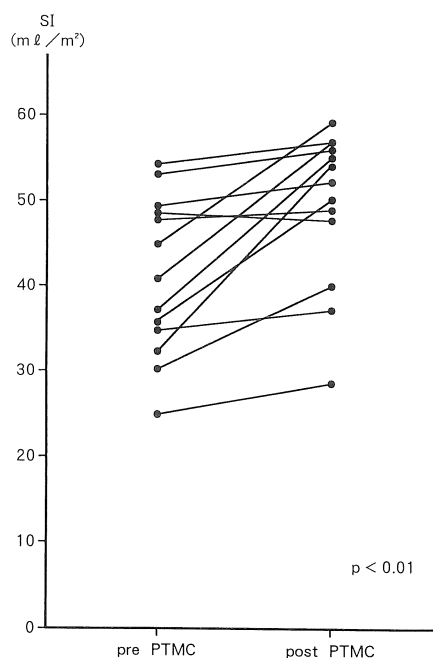


Fig.5. Systolic volume index before and after PTMC.

イス選択方向と読みだし方向にさらに勾配磁場を印加した撮像法である<sup>3),4)</sup>。したがって、血流の特に速度の遅い乱流などが存在する場合、その位相ずれが抑制されるため、SE法ではflow voidとして捉えられなかった血流が、信号として表現されることになる。このようにFR法はある速度の血流を信号として捉えるのに非常に有用である。

正常例において、Schlthessらの報告では左房内に最も血流の停滞する収縮末期では正常の約60%に左房内信号を認めたが拡張末期において左房内に血流信号を認めない<sup>9)</sup>。本検討では撮像はすべて拡張末期像を捉え、正常例では、いずれのパルス系列にても左房内に信号を認めなかった。

MSは生体において左房内血流速度を低下させる臨床モデルと考え、これらを対象として本検討をおこなった。MS例において、パルスシーケンスがSE法TE 40msでは全例に左房内血流信号を認めた。さらにFR法を加えることで血流信号強度は全例より強調され、より明瞭となった。NYHA分類が重症なほど、また僧帽弁弁口面積が小さいほど左房内血流信号は強くなる傾向が見られた。一回心拍出量係数が10ml/m<sup>2</sup>以上改善していたのは症例1, 2, 6, 8, 14の5例であるがそのうち4例はいずれのシーケンスでも信号の低下を認め、逆にいずれのシーケンスでも信号の低下を認めた5例のうち4例で一回心拍出量係数が10ml/m<sup>2</sup>以上改善していた。しかし圧較差の改善の程度と信号改善の程度の間には関係がなかった。これは、今回の方法論の限界でもあるが、左房の大きさ、僧帽弁の形態、狭窄程度、心拍数、左心機能、基本調律は個々の症例で異なり、これらの因子でも血流信号は微妙に変化してくるためと考えられる。また、左房の一面内流で評価しており、速度成分のみの評価である。左房内は渦流が存在していると考えられ、厳密な評価には(現在は未開発であるが)一定時間内に左房全体を評価でき、加速度成分を加えたシーケンスの撮像を要すると思われる。

今回の撮像では、症例15のように左房内血栓の検出にも有用である。しかし、実際、血栓と停滞血流の鑑別は非常に難しい。血栓はその形成時期により信号が変化する。SE法でTEの長いシーケンス(例えばTE 80ms)にて高信号を示し時相を変えても信号が変わらない例は、血栓の確率が高い。また、FR法血流信号を強調するシーケンスであるためFR法にて信号が強調されれば、停滞血流の可能性が高いと考えられる。

一方、僧帽弁狭窄症においてPercutaneous Transvenous Mitral Commissurotomy(以下PTMC)は、1982年に井上らにより始められて以来、外科手術に代わる新しい治療法として確立されつつある<sup>13)</sup>。PTMCを行なう前にその合併症を予防するため左房およびその他の心腔の大きさ、位置関係、血栓の有無を調べることが重要である。

また、PTMCはMSによって低下した左房内血流を解除するよい臨床モデルである。そこでPTMC前後の左房内血流の変化に加え、解剖学的所見についても検討した。

PTMC施行後、左房-左室拡張末期圧較差は有意に低下し、一回拍出量は有意に増加した( $p > 0.01$ ,  $p < 0.01$ )。また、左房内の信号はPTMC前と比較してSE法TE 40msにて11/13例(85%)、SE法80msにて8/13例(61%)、FR法にて9/13例(69%)に、いずれかの撮像法では12/13例(92%)に血流信号の低下を認めた。

MSの左房内に認められた信号は左房内の血流うっ滞によるもので、PTMCによりその血流うっ滞が解除されたことをMRIという画像診断により捉えたものと考えられる。

体軸矢状面と心房中隔とのなす角度は、僧帽弁狭窄症患者がコントロールに比べ有意に高値である。これは、左房の拡大と右心室の拡大により心室および心房中隔が時計軸方向に回転したため、この解剖学的変化を理解することは、PTMCを施行するにあたり経中隔左心房穿刺の

手技<sup>14)</sup>に参考となり、血行動態の変化の表現でもあると考えられる。

また PTMC 後再狭窄は治療上、問題点の一つである<sup>13)</sup>。こういった場合、心エコーなどで形態を経過観察することも重要であるが、MRI でも繰り返し経過観察することが可能でまた血流動態も把握できる。

以上より SE 法に加えて FR 法を用いることは、MS における左房内血流の評価、および PTMC の術前後検査として有用と考えられる。

### ま と め

- 1) SE 法および FR 法を用いて僧房弁狭窄症 (MS) における左房内血流について検討した。
- 2) 正常例では SE 法および FR 法ともに左房内に信号を認めなかった。
- 3) MS 例では全例に SE 法にて左房内信号を認めさらに FR 法により信号強度は増強し、より明瞭に示された。また、左房の拡大により心房中隔が時計軸方向に偏位していた。
- 4) 左房内信号強度は心機能の低下している例、塞栓症の既往のある例で強かった。
- 5) PTMC 前後で、13 例中、SE 法 (TE 40ms) にて 11 例、SE 法 (TE 80ms) にて 8 例、FR 法 (TE 80ms) にて 9 例が信号強度の軽減を認めた。左房-左室拡張末期圧格差は有意に低下し、一回心拍出量係数は有意に増加した ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.01$ )。

### 結 論

SE 法に加えて FR 法を用いることは、MS における左房内血流の評価、および PTMC の術前後検査として有用と考えられる。

### 文 献

- 1) Singer JR : Blood-flow rates by NMR measurements. Science, 130 : 1652-1653, 1959.

- 2) Bradley WG, Waluch V : Blood Flow : Magnetic Resonance Imaging. Radiology, 154 : 443-450, 1985.
- 3) 加藤 勤, 沢田 敏, 野口由美ほか : MRI における Phase Refocusing 法の臨床応用. 日磁医誌, 9 : 28-35, 1989.
- 4) 加藤 勤, 沢田 敏, 田中敬正 : Phase Refocusing 法. 画像診断, 9 : 936-941, 1989.
- 5) Higgins CB, Holt W, Pflugfelder P, et al. : Functional evaluation of the heart with magnetic resonance imaging. Mag Res Med, 6 : 121-139, 1988.
- 6) Rumancik WM, Naidich DP, Chandra R, et al. : Cardiovascular disease : Evaluation with MR phase imaging. Radiology, 166 : 63-68, 1988.
- 7) Stahlberg F, Henriksen O, Thomsen C, et al. : Determination of flow velocities from magnetic resonance multiple spine-echo images. Acta Radiologica, 28 : 643-648, 1987.
- 8) Wehrli FW, Shimakawa A, Gullberg GT, MacFall JR : Time-of-flight MR flow imaging : Selective saturation recovery with gradient refocusing. Radiology, 160 : 781-785, 1986.
- 9) Schlthess GK, Fisher MR, Crooks LE, et al. : Gated MR imaging of the heart : Intracardiac signals in patients and healthy subjects. Radiology, 156 : 125-132, 1985.
- 10) Deimling M, Mueller E, Lenz G : Description of flow phenomena in magnetic resonance imaging. Diag Imag Clin Med, 55 : 37-51, 1986.
- 11) Pflugfelder PW, Sechtem UP, White RD : Non invasive evaluation of mitral regurgitation by analysis of atrial signal loss in cine magnetic resonance. Am Heart J, 117 : 1113-1119, 1989.
- 12) Wagner S, Auffermann W, Buser P, et al. : Diagnostic accuracy and estimation of the severity of valvular regurgitation from the signal void on cine magnetic resonance images. Am Heart J, 118 : 760-767, 1989.
- 13) Inoue K, Owaki T, Nakamura F, Miyamoto N : Clinical application of transvenous mitral commissurotomy by a new balloon catheter. J Thrac Cardiovasc Surg, 87 : 394-402, 1984.
- 14) Brockenbrough EC, Braunwald E : A new technique for left ventricular angiography and transseptal left heart catheterization. Am J Cardiol, 6 : 1062, 1960.

## **An Analysis of Blood Flow in Left Atrium with MRI before and after PTMC**

Hisato NAKAMORI<sup>1</sup>, Hitoshi KOITO<sup>1</sup>, Takashi MATSUURA<sup>1</sup>,  
Junichi SUZUKI<sup>1</sup>, Masahiro KARAKAWA<sup>1</sup>, Hiroshi KAMIHATA<sup>1</sup>,  
Michio SHIMOJO<sup>2</sup>, Nobuhiko TSUDA<sup>2</sup>, Tsutomu KATO<sup>3</sup>,  
Kazutoshi KATAGAMI<sup>3</sup>, Toshiji IWASAKA<sup>1</sup>, Mitsuo INADA<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Second Department of Medicine, Kansai Medical University  
1 Fumizono-cho, Moriguchi city, Osaka 570*

*<sup>2</sup>First Department of Medicine, Kori Hospital of Kansai Medical University*

*<sup>3</sup>Department of Rediology, Kansai Medical University*

We analysed blood flow of the left atrium (LA) in patients with mitral stenosis (MS) using a 0.15T MRI. We used conventional spine echo image and flow rephasing method which is one of the new refocusing method. Fifteen patients with MS and 7 normal volunteers were evaluated. All patients with MS had high signal intensity in the LA. On the other hand, 7 normal volunteers had no increased signal intensity. Thirteen of 15 patients with MS were studied before and after percutaneous transvenous mitral commissurotomy (PTMC). Increased signal intensities in the LA were decreased after PTMC. Only one patient had indication for surgical treatment due to thrombus in the LA. Anatomical changes of cardiac chamber in patients with MS before PTMC were easily recognized by MRI.

MRI is a useful modality to examine patients with MS before and after PTMC, because it provides anatomical and blood flow relating information.