

## 心房細動例に対する心臓シネ MRI の有用性

坂倉一義<sup>1\*</sup>, 安野泰史<sup>2</sup>, 近藤 武<sup>2</sup>, 木造大夏<sup>3</sup>,  
 徳田 衛<sup>1</sup>, 安野直子<sup>1</sup>, 立木秀一<sup>2</sup>, 山口弘次郎<sup>3</sup>,  
 菱田 仁<sup>1</sup>, 渡辺佳彦<sup>1</sup>, 水野 康<sup>1</sup>, 片田和廣<sup>2</sup>,  
 古賀佑彦<sup>3</sup>, 山田和宏<sup>4</sup>, 杉石宗隆<sup>4</sup>

<sup>1</sup>藤田保健衛生大学医学部内科

<sup>2</sup>同 衛生学部診療放射線技術学科

<sup>3</sup>同 医学部放射線医学教室

<sup>4</sup>杉石病院内科

### 目 的

心電図同期法, 高速撮像法の開発により, 心臓シネ MRI 法は非観血的検査法として日常臨床において, 心機能測定, 弁逆流の診断などにその有用性が高く評価されるようになった<sup>1)2)</sup>. しかし, 心不全例, 弁膜症例などの心疾患を有する患者では心房細動などの不整脈を合併することが少なくない. 心電図同期心臓シネ MRI 法では画像構成に数百心拍を必要とするが, 心房細動例における精度, 信頼性について検討した報告はなく, 従来より比較的適応外とされ検査の施行が避けられているのが現状である. そこで本研究では心房細動例に対して心臓シネ MRI 法の臨床応用が可能であるか否かについて, ① MR 画像の画質 (SN 比, 分解能など), ②画質劣化に影響をおよぼすと思われる諸因子, ③左心機能評価, ④左心系弁逆流の検出率の 4 点について検討を行った.

### 対 象

各種心疾患に心房細動を合併した男性 5 例,

女性 6 例, 計 11 例, (平均年齢 62 歳) を対象とした. また, SN 比について検討するため, 同時期に撮像された一連の洞調律 9 例をコントロール群とした (Table 1).

### 方 法

MRI 法は東芝製 MRT-50A (0.5T) を用いた. 撮像方法は rephasing を加えた ECG gated multiphasic gradient field echo 法 (FA 30 度, TE 22ms, TR 50ms, slice 厚 10mm, 撮像モード 160×320 ダブルマトリックス法, 加算回数 4 回) とした. また, 撮像フレーム数は断面設定時にモニター上で観測した最小 R-R 間隔を TR (50ms) で除して求めた. MRI 法の撮像断面は chain oblique 法により数回の補正を加えて得られた左室水平長軸断面とした<sup>3)</sup>.

#### 1) MR 画像の画質に関する検討

収縮末期画像上の左室心筋内, 同位相方向の体外, および胸壁内にそれぞれ同じ大きさの関心領域 (ROI) を設定し, その ROI 内の平均信号強度を求めた (Fig.1). 次に, 心筋, 胸壁領域の値を体外 ROI の値で除すことにより, 簡易的に SN 比を求め, 心房細動群と洞調律群との

**キーワード** cardiac cine magnetic resonance imaging, atrial fibrillation, signal-to-noise ratio, image quality

\* 現 愛知県済生会病院循環器科

Table 1. Subjects (Diagnosis by color Doppler echocardiography)

No.	Name	Age	Sex	UCG diagnosis
1	H.T.	76	M	MR (severe) · AR (moderate)
2	C.K.	66	F	MSR (moderate) · AR (moderate)
3	I.E.	66	F	MSR (moderate) · AR (trace)
4	H.O.	55	M	VSD
5	T.Y.	62	F	MSR (mild) · AR (trace)
6	C.N.	75	F	MR (mild)
7	Y.F.	59	M	MR (mild)
8	E.M.	73	M	MR (trace)
9	W.H.	40	F	MR (severe)
10	Y.H.	45	M	MR (mild)
11	K.N.	66	F	MSR (mild) · AR (mild)

MSR: 僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症  
 M R: 僧帽弁閉鎖不全症  
 A R: 大動脈弁閉鎖不全症  
 VSD: 心室中隔欠損症

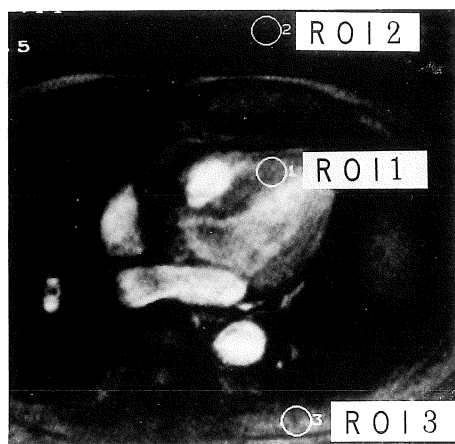


Fig. 1. Region of interest (ROI) for estimation of the signal-to-noise (S/N) ratio. ROI 1 : myocardium ROI 2 : outside body in the same direction of the phase encoding axis as ROI 1 ROI 3 : chest wall

比較を行った。また、心室壁の外縁および内縁の明瞭性、空間分解能、コントラストの4項目について、対象者がどちらの群に属するかを知らない心血管系を担当する放射線専門医師2名による視覚的な採点(0~3の4段階)を実施し、心房細動群と洞調律群の画像を比較検討した。

2) 画質劣化に影響をおよぼす諸因子についての

検討

心房細動例における撮像時の平均心拍数およびR-R間隔の標準偏差とSN比の相関について検討した。

3) 左心機能に関する心臓超音波法との比較検討

MRI法では左室拡張末期、収縮末期の画像上で心内心尖部と僧帽弁輪の中央を通る左室長軸を設定し、次に左室内腔をトレースし、single plane modified Simpson法<sup>4)</sup>から左室拡張末期容積、収縮末期容積を求め、一回拍出量、駆出率を算出した(Fig.2)。心臓超音波法による左室容積の計測は、乳頭筋レベルにおける左室短軸断層面上で、左室内腔の中心を通る断面のMモード像から拡張末期と収縮末期の左室短軸径を連続した20心拍で計測し、Teichholzの計算式<sup>5)</sup>を用いて求めた。そして、その平均値をMRI法から得られた値と比較した。なお、原則として心臓超音波法の実施直後にMRI法を施行した。

4) 左心系弁逆流の検出率についての検討

Flow void<sup>6),7)</sup>による僧帽弁逆流、大動脈弁逆流の検出率について、超音波カラードップラー法と比較検討を行った。

結 果

1) 心房細動例と洞調律例の画質の比較

心筋領域のSN比は心房細動例が平均12.28±2.54, 洞調律例が15.17±2.59で, 心房細

動例で有意 (P<0.05) にSN比が低かった。胸壁領域においてはそれぞれ平均8.32±3.09と9.63±3.51で有意差は認められなかった (Fig.3)。

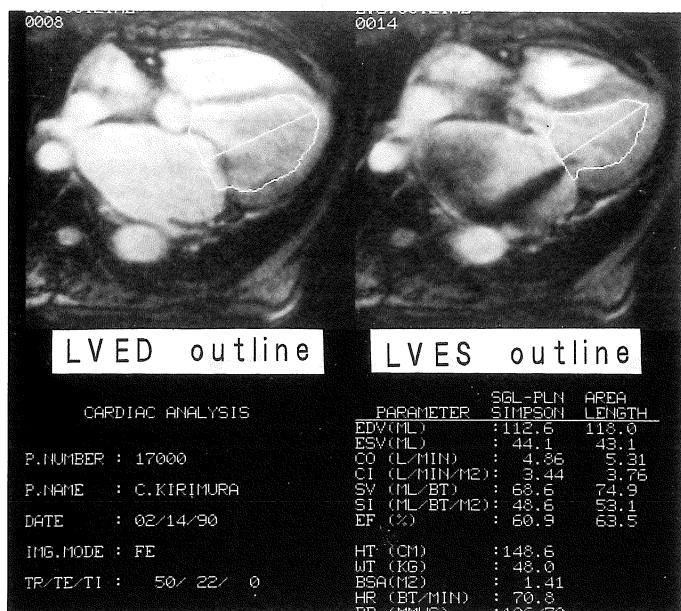


Fig.2. Left ventricular (LV) volumetry by single plane modified Simpson's rule. LV inner edges were traced in the end-diastolic and end-systolic phases on four chamber view.

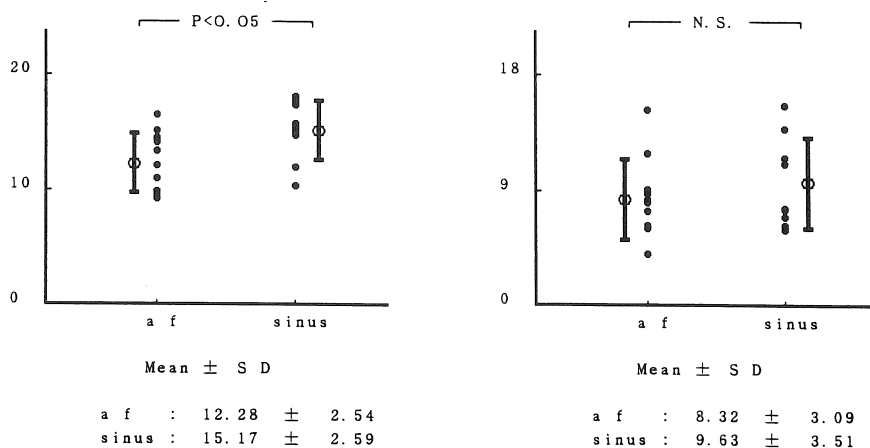


Fig.3. Comparison of the S/N ratio of the myocardium and chest wall between patients with atrial fibrillation (a f) and those with sinus rhythm.

Left : myocardial ROI The S/N ratio of myocardium in patients with a f was significantly (P<0.05) smaller than those with sinus rhythm. Right : chest wall ROI The S/N ratio of chest wall was not significantly different between the two groups.

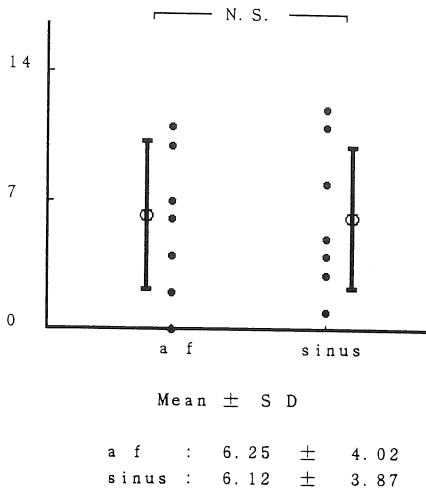


Fig.4. Visual assessment of image quality by marking method on a scale of 12 points. No significant difference was present between the two groups.

画質の採点は4項目の合計で満点は12点であるが、心房細動群の2名の医師の平均点は6.25±4.02点で、洞調律群の平均点は6.13±3.87点であり、有意差は認めなかった (Fig.4)。

2) 心房細動例における平均心拍数、R-R 間隔の標準偏差と心筋領域のSN比との相関

平均心拍数とSN比は相関係数  $r=0.80$  の有意 ( $P<0.05$ ) な正の相関を認めた。R-R 間隔の標準偏差とSN比は  $r=-0.92$  の有意 ( $P<0.001$ ) な負の相関を認めた (Fig.5)。すなわち、徐脈でR-R 間隔の変動の大きい症例ほどSN比が低くなる結果であった。

3) 左心機能に関する心臓超音波法との比較

左室拡張末期容積ではMRI法 (Y軸) と超音波法 (X軸) との間に一次回帰直線が  $Y=-10.9+0.931X$ 、相関係数  $r=0.94$  の有意 ( $P<0.001$ ) な正の相関を認めた。左室収縮末期容積では一次回帰直線が  $Y=-2.4+1.056X$ 、相関係数  $r=0.95$  の有意 ( $P<0.001$ ) な正の相関を認めた (Fig.6)。左室1回拍出量では一次回帰直線が  $Y=-3.2+0.796X$ 、相関係数  $r=0.82$  の

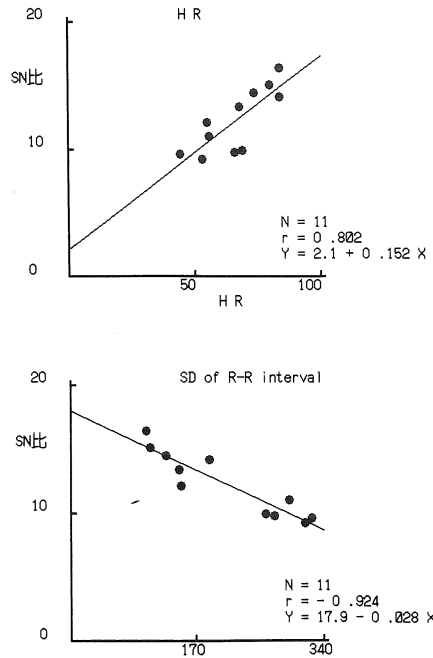


Fig.5. Relationship between the S/N ratio of the myocardium and R-R interval in patients with a f. Upper : heart rate (HR) The S/N ratio was significantly ( $r=0.80, p<0.05$ ) correlated with mean HR. Lower : standard deviation of R-R interval The S/N ratio was significantly and inversely ( $r=-0.92, p<0.001$ ) correlated with standard deviation of R-R interval.

有意 ( $P<0.05$ ) な正の相関を認めた。駆出率では一次回帰直線が  $Y=-4.2+0.962X$ 、相関係数  $r=0.89$  の有意 ( $P<0.001$ ) な正の相関を認めた (Fig.7)。

4) 左心系弁逆流の検出率の比較

僧帽弁逆流、大動脈弁逆流とも11例中10例で一致した所見を得た (accuracy=90.9%)。したがって、心房細動を有していてもMRI法により弁逆流の診断が可能であることが示された (Table 2)。

考 案

心房細動例に対する心臓シネMRI

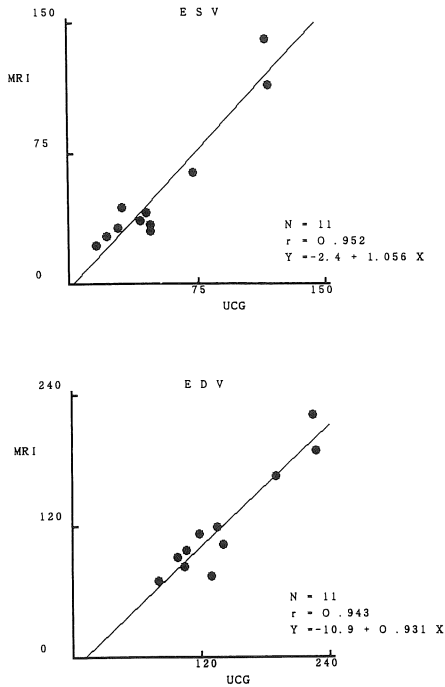


Fig.6. Relationship between LV volume estimated by MR imaging and that by M-mode echocardiography. Upper : ESV (end systolic volume) Lower : EDV (end diastolic volume) The values measured by these two methods were correlated significantly ( $r=0.95, 0.94$   $p < 0.001$ ).

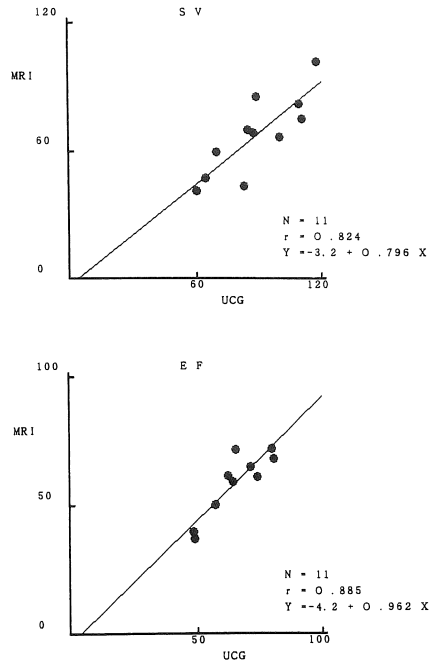


Fig.7. Relationship between LV volume estimated by MR imaging and that by M-mode echocardiography. Upper : SV (stroke volume) Lower : EF (ejection fraction) The values measured by these two methods were correlated significantly ( $r=0.82, P < 0.05, r = 0.89, p < 0.001$ ).

Table 2. Comparison of detection rate of valvular regurgitation by MR imaging and color Doppler echocardiography. The diagnoses of mitral valve regurgitation by these two methods agreed in 10 of 11 patients. The diagnoses of aortic valve regurgitation by these two methods agreed in 10 of 11 patients.

		U C G			
		僧帽弁逆流		大動脈弁逆流	
		+	-	+	-
M R I	+	10	1	4	0
	-	0	0	1	6

1) 心房細動例と洞調律例における画質の比較

心房細動群のSN比は有意に洞調律群より低い結果となった。これは心房細動例では心拍ごとに左室拡張末期容積が異なること、最終RFパルスと次の同期信号までの時間が一定でないことなどにより、加算画像の精度が低下したためと考えられる。しかし、通常に行われている心機能解析<sup>4)</sup>に際して、その精度に最も影響を及ぼす因子は心内腔の用手的トレースであり、心室壁の輪郭の明瞭性は臨床応用に際して最も重要な問題と思われる。そこで、放射線専門医2名による採点法によりその点について検討を行ったが、結果としては両群の値に有意差は認めなかった。これは撮像モードとしてダブルマトリックス

クス法を採用していること、4回加算で撮像を行っていることが大きな要因と考えられた。

## 2) 画質劣化に影響をおよぼす諸因子についての検討

心房細動例での画質に最も影響を及ぼす因子としてR-R間隔の変動があげられ、予想通りR-R間隔の標準偏差と心筋部のSN比は有意な負の相関を示した。したがって、R-R間隔の変動幅の大きい症例は検査対象として除外すべきであることが示唆された。一方、近藤らの心房細動例におけるR-R間隔の変動と各心時相との関係を検討した研究<sup>8)</sup>によると、R-R間隔の変動幅が大きい場合でも収縮期、および拡張早期の急速流入期の持続時間は比較の変動幅が小さいと報告している。したがって、心房細動であっても収縮期と拡張早期では各心拍間の心時相はほぼ一致していると考えられる。今回の研究における撮像心時相はR-R間隔の変動幅の大きい症例ほど短くなり、心電図R波よりせいぜい急速流入期の終わりまでと思われ、画像合成に際して心時相のずれによる画像の劣化は少ないと考えられた。

## 3) 左心機能に関する心臓超音波法との比較

従来、左心機能評価には左室造影法がgold standardとされてきた<sup>9)</sup>。しかし、左室造影法は侵襲的で造影剤の注入を必要とするため負荷のない正確な左心機能評価ができないこと、通常、RAO 30度とLAO 60度の2方向で撮像されているため常に左室長軸を捉えているとは限らないこと<sup>10)</sup>、さらに、今回の検討では心房細動例を対象とした研究であるため、各心拍ごとの左室容積の変動を考慮する必要があり、連続した20心拍以上についての左室容積の計測が必要であるなどの理由から、本研究では非侵襲的で連続した心拍ごとの左室容積の計測が可能で、同時に弁逆流の評価ができる心臓超音波法(カラードップラー法を含む)<sup>11)~13)</sup>を選択した。

心臓超音波法による左心機能計測は本来、心尖部アプローチによる四腔断面上で左室内腔をトレースし、area length法から求める方法が最

も適切であると思われるが、良好な四腔断面が得られない症例があったため、本研究では左室短軸像からTeichholzの計算式<sup>5)</sup>を用いて左室容積を算出した。今回の対象には心筋梗塞例などの壁運動異常を有する症例は含まれていなかったが、心機能がかなり低下している症例もあり、各指標は比較的高い相関関係を示したが、超音波法の方が左室容積を若干過大評価する傾向が認められた<sup>5)</sup>。

## 4) 左心系弁逆流の検出率についての検討

カラードップラー法と心臓シネMRI法の弁逆流の検出率の比較に関する報告はいくつか認められるが<sup>14),15)</sup>、岡村らによる正常洞調律例105例を対象とした検討<sup>16)</sup>では、カラードップラー法を真とした場合のMRI法の僧帽弁逆流に対するsensitivityは85.1%、specificityは84.2%、accuracyは84.8%、大動脈弁逆流ではsensitivity 80.6%、specificity 97.3%、accuracy 92.4%と報告されている。今回の研究では対象数が少なかったため統計的検討は行わなかったが、僧帽弁逆流、大動脈弁逆流ともaccuracyは90.9%と正常洞調律例での結果とほぼ同等であった。また、大動脈弁逆流ではMRI法で検出できなかった症例が1例認められたが、この原因としてMRI法での断面設定は僧帽弁輪の中央と左室心尖部を結ぶ線を左室長軸とし断面を設定したため、左室流出路が十分描出されていなかったためと思われた。一方、カラードップラー法では超音波ビームがうまく入らない場合には弁逆流の診断精度は低下する。本研究においても1症例で僧帽弁逆流を検出できなかった。

## ま と め

心房細動例を対象として心臓シネMRI法の有用性を検討し以下の結論を得た。

1) 心房細動例の画像は、正常洞調律例の画像と比較してSN比が若干低下したが、心内腔のトレースに障害をおよぼすほどの低下ではなく、左室機能の解析に十分耐えうるものであった。

- 2) 心房細動例において心筋部の SN 比は平均心拍数と有意な正の相関を、R-R 間隔の標準偏差と有意な負の相関を示し、頻脈傾向で R-R 間隔の変動が少ない場合には心房細動であっても充分良好なシネ MR 画像が得られた。
- 3) MRI 法から得られた左室容積、駆出率は、心臓超音波法と有意な正の相関を示した。
- 4) 左心系の弁逆流に関しては、カラードップラー法とほぼ同等の検出率であった。

## 文 献

- 1) Van der Meulen P, Groen J P, Cuppen J J M : Very fast MR imaging by field echoes and small angle excitation. *Magn Reson Imag*, 3. 297-299. 1977.
- 2) Hasse A, Frahm J, Matthaei D, et al. : FLASH imaging. Rapid NMR imaging using low flip angle pulse. *J Magn Reson*, 68 : 258-266, 1986.
- 3) 近藤 武, 安野泰史, 瓜谷富三, 他 : Cine MRI による左室容積の算出と各種心疾患への臨床応用. *心臓*, 22 : 63-72, 1990.
- 4) Chapman C B, Baker O, Reynolds J, et al. : Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation*, 18 : 1105-1117, 1958.
- 5) Teichholz L E, Kreulen T, Herman M, et al. : Problems in echocardiographic volume determinations. Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol*, 37 : 7-11, 1976.
- 6) Sechtem U, Pflugfelder P W, White R D, et al. : Cine MR imaging. Potential for the evaluation of cardiovascular function. *AJR*, 148 : 239-246, 1987.
- 7) Evans A J, Blinder R A, Herfkens R J, et al. : Effects of turbulence on signal intensity in gradient echo images. *Invest Radiol*, 23 : 512-518, 1988.
- 8) 近藤 武, 菱田 仁, 金子賢三, 他 : 心電図同期心プールシンチグラフィによる左室充満の評価, *J Cardiology*, 10 : 1097-1108, 1980.
- 9) Dodge H T, Sandler H, Ballew D W, et al. : The use of biplane angiocardiology for measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J*, 60 : 762-776, 1960.
- 10) 岡村正博, 近藤 武, 坂倉一義, 他 : MRI による左室容積の算出—Modified Simpson 法による検討—*日磁医誌*, 10 : 345-356, 1990.
- 11) 坂部慶幸, 菱田 仁, 梶原克祐, 他 : 心エコーの左室短軸断面を用いた左室容積算出法の比較検討. *日超音波医学会 40 回研究発表会講演論文集*, 377-378, 1982.
- 12) Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, et al. : The development of real time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired valvular diseases. With special references to the evaluation of valvular regurgitation. *Jpn Heart J*, 25 : 325-340 1984.
- 13) Helmcke F, Nanda N C, Hsiung M C, et al. : Color Doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal plane. *Circulation*, 75 : 175-183, 1987.
- 14) Nishimura T, Yamada N, Itoh A, et al. : Cine MR imaging in mitral regurgitation. Comparison with color Doppler flow imaging. *AJR*, 153 : 721-724, 1989.
- 15) 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.
- 16) 岡村正博, 安野泰史, 坂倉一義, 他 : 心臓シネ MRI による弁逆流および短絡血流に関する検討. *日臨生理会誌*, 21 : 167-174, 1991.

## Clinical Usefulness of Cardiac Cine Magnetic Resonance Imaging in Patient with Atrial Fibrillation

Kazuyoshi SAKAKURA<sup>1</sup>, Hirofumi ANNO<sup>2</sup>, Takeshi KONDO<sup>2</sup>,  
Taika KIZUKURI<sup>3</sup>, Mamoru TOKUDA<sup>1</sup>, Naoko ANNO<sup>1</sup>,  
Shuichi TACHIKI<sup>2</sup>, Kojiro YAMAGUCHI<sup>3</sup>, Hitoshi HISHIDA<sup>1</sup>,  
Yoshihiko WATANABE<sup>1</sup>, Yasushi MIZUNO<sup>1</sup>, Kazuhiro KATADA<sup>2</sup>,  
Sukehiko KOGA<sup>3</sup>, Munetaka SUGIISHI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Internal Medicine, Fujita Health University, School of Medicine  
1-98 Dengakugakubo, Kuitsukake-cho, Toyoake, Aichi 470-11*

<sup>2</sup>*Department of Radiological Technology, Fujita Health University School of Health Sciences*

<sup>3</sup>*Department of Radiology, Fujita Health University School of Medicine*

<sup>4</sup>*Department of internal Medicine, Sugiishi Hospital*

We studied the clinical usefulness of cine mode magnetic resonance (MR) imaging in patients with atrial fibrillation (a f) from aspects of image quality and cardiac function. The signal-to-noise (S/N) ratio in the myocardium was significantly ( $P < 0.05$ ) lower in patients with a f than those with normal sinus rhythm.

Two radiologists who did not know any patient's information evaluated the image quality visually by marking method on a scale of 12 points. There was no difference of image quality between the two groups.

The standard deviation of R-R interval was significantly ( $r = -0.92$ ,  $P < 0.001$ ) correlated with the S/N ratio in myocardium.

Consequently, it was not favorable to estimate visually cardiac cine MR image in patient with a f, when standard deviation of R-R interval was large.

The left ventricular (L V) end diastolic, end systolic and stroke volumes and ejection fraction were closely ( $r = 0.82 \sim 0.95$ ,  $P < 0.05 \sim 0.001$ ) correlated between MR imaging and M-mode echocardiography, respectively. The ability to detect left side valvular regurgitation was almost equal in both MR imaging and color Doppler echocardiography. This result was coincided to previous papers in patients with normal sinus rhythm.

In conclusion, cine mode MR imaging was also useful to analyze cardiac function and detect valvular regurgitation in patients with a f.