

磁気共鳴画像診断法における左室短軸断面の臨床的重要性

Left ventricular short-axis plane for magnetic resonance imaging: Its clinical importance and applications

鈴木 順一
坂本 二哉
川久保 清
羽田 勝征
天野 恵子
竹中 克
長谷川一朗
塩田 隆弘
杉本 恒明
西川 潤一*

Jun-ichi SUZUKI
Tsuguya SAKAMOTO
Kiyoshi KAWAKUBO
Yoshiyuki HADA
Keiko AMANO
Katsu TAKENAKA
Ichiro HASEGAWA
Takahiro SHIOTA
Tsuneaki SUGIMOTO
Jun-ichi NISHIKAWA*

Summary

Left ventricular short-axis images were obtained by ECG-gated magnetic resonance imaging (MRI) in nine patients with hypertrophic cardiomyopathy and seven patients with chest pain, all of whom had diagnostic cardiac catheterization including angiography.

The accuracy and usefulness of the short-axis image in MRI for measuring wall thickness and dimension and for calculating ejection fraction were evaluated.

All patients were examined on an examination couch in the right anterior oblique position in optimal positions to obtain the left ventricular long-axis images in the Z-X plane (conventional coronal plane). Next, the paraxial mode was used to obtain the short-axis images by rotating the Y-Z plane (conventional sagittal plane) around the Y axis. The intervals between the trigger on the middle point of the upstroke of the R wave and the 90 degree pulse of saturation recovery spin echo sequence were 40 msec and 340 msec with a 34 msec echo delay time for the end-diastolic and end-systolic images, respectively.

Short-axis images in MRI in end-diastole were utilized to measure wall thickness and dimension in patients with hypertrophic cardiomyopathy and the measurements obtained were compared with those of echocardiography.

As for calculating ejection fraction in patients with chest pain, the length of the left ventricular

東京大学医学部 第二内科
*同 放射線科
東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine and
*Department of Radiology, Faculty of Medicine, Uni-
versity of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo
113

Received for publication October 27, 1986; accepted December 23, 1986 (Ref. No. 33-17)

long axis (L) was measured using the MRI long-axis image. The intraventricular sectional area at four levels (S1, S2, S3, S4) were measured using the MRI short-axis image in end-diastole and in end-systole. Left ventricular end-diastolic and end-systolic volumes were calculated using the following formula:

$$V = 1/2 \times (L - 4.5) \times S1 + 1.5 \times (S1 + S2 + S3) + 1/3 \times 1/2 \times (L - 4.5) \times S4$$

Ejection fraction by MRI was compared with that by cardiac catheterization (single plane, area-length method).

The measurements of wall thickness and dimension by MRI correlated well with those by echocardiography ($r=0.97, p<0.01$). Ejection fraction calculated by MRI correlated significantly with that by cardiac catheterization ($r=0.82, p<0.05$).

We concluded that the left ventricular short-axis image in MRI is satisfactorily accurate for measuring wall thickness and dimension, and useful for evaluating the left ventricular ejection fraction.

Key words

Magnetic resonance imaging Left ventricular short-axis image Ejection fraction

はじめに

近年, 磁気共鳴画像診断法 (magnetic resonance imaging: MRI) に心電図同期法が導入され¹⁻⁶⁾, また, 従来の水平, 前額, 矢状断面に加え, 直交座標系に斜交する断面 (斜方向断面 paraxial plane) の設定が可能となり^{7,8)}, 周期的拍動を繰り返す心・大血管系の MRI による撮像条件が整った.

本報告では斜方向断面内に描出された左室短軸像を用い, 本断層像の左室形態診断における有用性を確認し, さらに, 左室短軸複数断面による左室駆出分画算出法を案出し, その有用性を検討した.

方 法

1. 対象と左室短軸像描出法

肥大型心筋症 9 例と心臓カテーテル検査を施行した虚血性心疾患 7 例, 計 16 例を対象とした.

装置はシーメンス製 MAGNETOM (1.5 テスラ), 心電図同期スピノエコー法を用い, 2次元フーリエ法にて撮像した. 本装置の直交座標系は, Fig. 1 に示す如く, 水平仰臥位の患者の左右方向を X 軸, 前後方向を Y 軸, 上下方向を Z 軸としている. マトリックスは 256×256 で, 512 心拍ないし 1,024 心拍にて 1 画像を得た.

心電図 R 波立ち上り中央の時点をも trigger とし, trigger からスピノエコー法 90 度パルスまでの時間 (TD) を 40 msec および 340 msec とし, エコー時間 (TE) 34 msec 後の第一エコー画像を, それぞれ 拡張末期 および 収縮末期画像とし

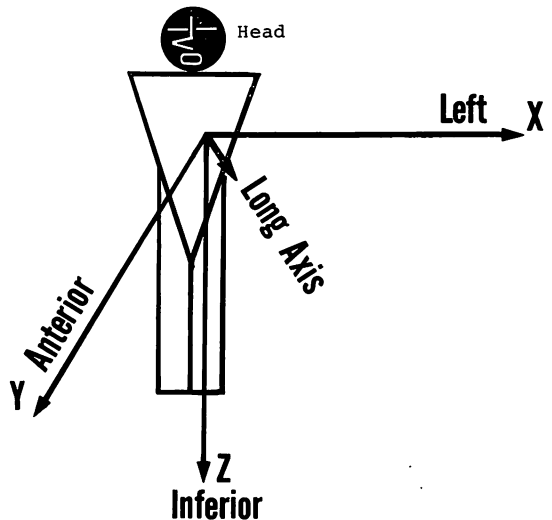


Fig. 1. Schematic representation of the X, Y and Z axes fixed in the instrument (MAGNETOM).

The directions of the X, Y and Z axes are right-left, posteroanterior and superoinferior, respectively, when patients are in the supine position on an examination couch.

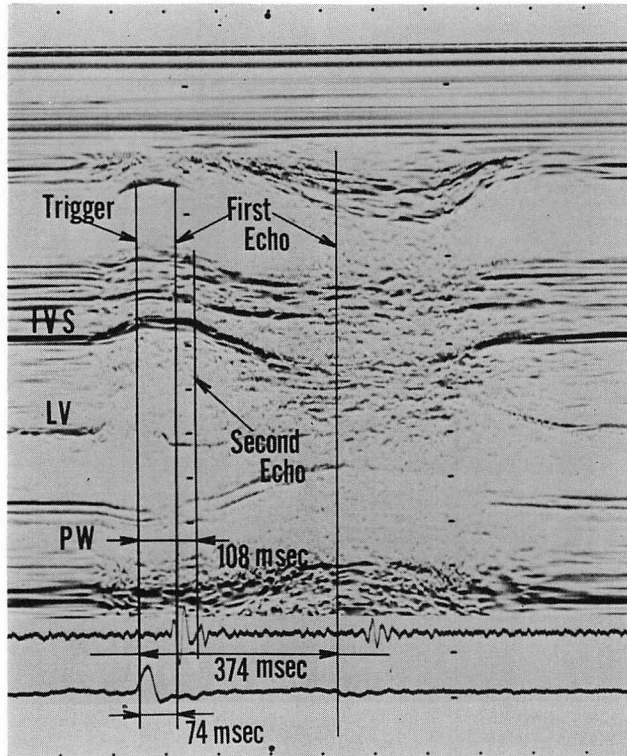


Fig. 2. M-mode echocardiogram showing the phase analysis of trigger, and end-diastolic and end-systolic images.

The first echo image for end-diastole is obtained at a point about 74 msec after the triggered point (TD=40 msec, TE=34 msec). The end-systolic image is described at a point about 374 msec after the triggered point (TD=340 msec, TE=34 msec).

IVS=interventricular septum; LV=left ventricle; PW=left ventricular posterior wall; TD=delay time; TE=echo time.

た。Fig. 2 は、trigger、拡張末期画像および収縮末期画像の時相関係を示す。

撮像には患者を水平仰臥位とし、水平断面像(X-Y平面)より右前斜位のための至適角度を求めた。次に患者を右前斜位とし、Z-X平面に平行な断面内に左室長軸像を描出した(Fig. 3 左下)。最後にY-Z平面をY軸の回りに回転させることにより、Z-X平面に直交し、かつ左室長軸に直交する斜方向断面内に左室短軸像を描出した(Fig. 3 右下)。房室弁レベルより任意の距離を指定し、任意のレベルの左室短軸像を得た。

2. 左室形態診断の有用性の検討

肥大型心筋症9例に関し、MRI左室短軸断面拡張末期画像より、左室壁厚5箇所、左室内径2箇所を計測し、同日に施行した心エコー図法の同一レベル、同一部位の拡張末期における計測値と比較した(Fig. 4)。

3. 左室駆出分画算法

MRI左室長軸像より、拡張末期および収縮末期の左室長軸の長さ(L)を求め、拡張末期像の長軸の midpoint より心基部側へ0.7 cm, 2.2 cmのレベル、および心尖部側へ0.8 cm, 2.3 cmの計4レベルにおいて、拡張末期および収縮末期の左室

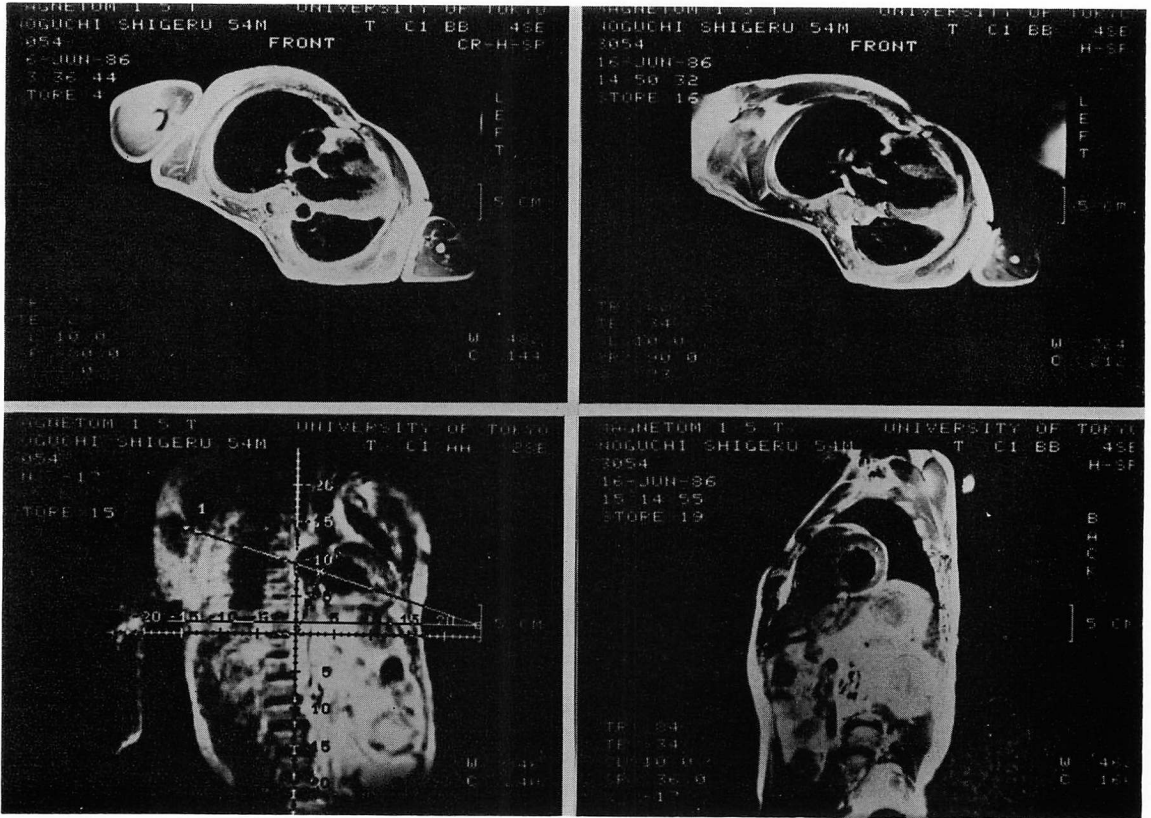


Fig. 3. MRI images illustrating methods for imaging in the left ventricular short-axis plane.

Upper left: Transverse image depicted in the X-Y plane (conventional transaxial plane) of a patient in the right anterior oblique position with the optimum degree for the position.

Lower left: Left ventricular long-axis image depicted in the Z-X plane (conventional coronal plane).

Upper right: Left ventricular long-axis image depicted in the paraxial plane which crosses the Z-X plane vertically.

Lower right: True left ventricular short-axis image obtained in the paraxial plane which crosses vertically the Z-X plane and the long-axis of the left ventricle.

短軸像より、左室内腔断面積 (S_1, S_2, S_3, S_4) を実測した。次に左室内腔を Fig. 5 の如く 5 つに区分し、それぞれの体積を心基部側より順に V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 とし、 $V_1 \sim V_4$ は柱体とし、 V_5 は錐体として各部分の体積を近似した。拡張末期画像の L および $S_1 \sim S_4$ より左室拡張末期容積を、収縮末期画像の L および $S_1 \sim S_4$ より左室収縮末期容積を次式により算出し、左室駆出分画 (EF) を求めた (Fig. 6)。

$$V = \sum_{i=1}^5 V_i = 1/2 \cdot (L - 4.5) \cdot S_1 + 1.5(S_1 + S_2 + S_3) + 1/3 \cdot 1/2 \cdot (L - 4.5) \cdot S_4$$

MRI 施行前後 2 週間以内に心臓カテーテル検査の行われた 7 例につき、心臓カテーテル法 (single plane, area-length 法) による EF と本法より求めた EF とを比較した。

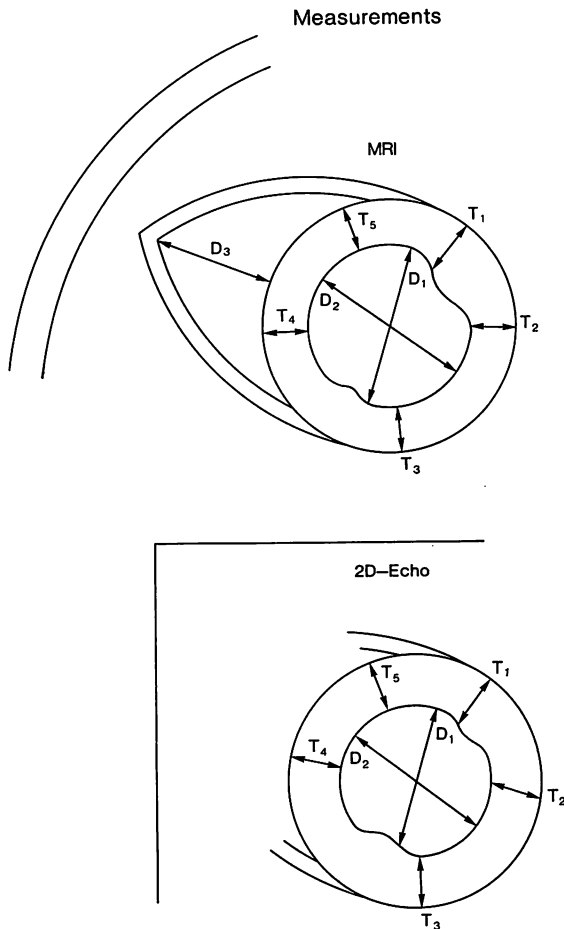


Fig. 4. Methods for measuring wall thickness and left ventricular dimension using MRI (top) and echocardiography (bottom).

The measurements are made using left ventricular short-axis images in end-diastole.

T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 =measured wall thicknesses; D_1, D_2, D_3 =measured dimensions.

成 績

1. 肥大型心筋症例における左室計測

肥大型心筋症 9 例につき、MRI と心エコー図法の両計測法より得た、同一レベルの左室短軸断面の同一部位における左室壁厚 5 ヲ所、および左室内径 2 ヲ所の計測値を Table 1, 2 に示す。心

エコー図法では壁厚 7 ヲ所、内径 2 ヲ所で計測不能であった。両検査法にてともに計測可能であった壁厚 38 ヲ所、および内径 16 ヲ所、計 54 ヲ所での計測値の相関係数は $r=0.97$ ($p<0.01$) であった (Fig. 7)。

2. MRI 左室短軸断面による駆出分画

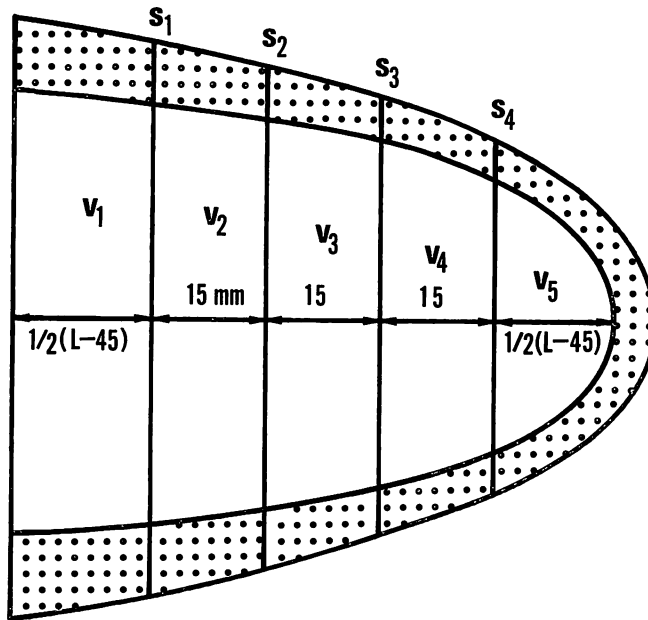
MRI および心臓カテーテル法より得た左室拡張末期容積、収縮末期容積および駆出分画の計測値を Table 3 に示す。拡張末期容積には有意な正相関はなかったが ($r=0.65$, NS), 収縮末期容積には有意な正相関を認め ($r=0.86$, $p<0.05$), EF も有意に相関した ($r=0.82$, $p<0.05$) (Fig. 8)。

考 接

斜方向断面は、水平、前額、矢状の 3 断面のいずれか 1 断面を X 軸、Y 軸、Z 軸のいずれか 1 座標軸の回りに回転させ、平行移動することにより得られる。斜方向断面の設定は回転角度と平行移動距離の指定よりなる。

真の左室短軸断面の描出には、2本の座標軸の回りの回転と平行移動が必須であり、第一段階の斜方向断面には真の左室短軸像は描出し得ない。この真の短軸像を得るには、斜方向断面をさらに座標軸の回りに回転させるか、あるいは、右前斜位、左前斜位等の体位変換と斜方向断面との組み合わせが必要となる。また、短軸断面を切るに際し、正確なレベルの指定には、短軸断面描出の前段階として、左室長軸像が描出されているべきである。本研究では 1 例ごとに至適角度の右前斜位をとらせ、まず Z-X 平面に平行な断面内に左室長軸像を描出し、次に Y-Z 平面を Y 軸の回りに回転させ、斜方向断面内に左室短軸像を描出するという方法をとった。

MRI による左室計測の正確さを心エコー図法と対比し検討する際、当然、同一部位を比較すべきである。今回の MRI 左室短軸像描出法により、心エコー図法における左室短軸像と同一レベルの断層像を得ることができ、今回は、確実に同一部位の計測値を比較することができた。



$$V_1 = \frac{L-4.5}{2} \cdot S_1$$

$$(V_2, V_3, V_4) = 1.5 \cdot (S_1, S_2, S_3)$$

$$V_5 = \frac{1}{3} \cdot \frac{L-4.5}{2} \cdot S_4$$

Fig. 5. Methods for calculating left ventricular volume.

Left ventricular short-axis images are obtained using MRI at 4 levels ($S_1 \sim S_4$) and left ventricular volume is obtained by adding 5 parts ($V_1 \sim V_5$). Each partial volume is calculated using formulae shown in the figure.

L =length of left ventricular long axis; S_1, S_2, S_3, S_4 =cross sectional intraventricular area at 4 levels of short-axis images by MRI; V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 =volumes of 5 parts of the left ventricle.

左室容積算出に際し、左室長軸断面を用いる area-length 法は、必ずしも局所の壁異常運動を計算値に反映し得るとは限らず、また、左室形態が回転楕円体に近似し得ない症例では、大きな誤差を生じ得る。MRI は任意のレベルにおける、任意の時相の左室短軸像の描出を可能とするため、複数レベルの拡張末期および収縮末期の左室短軸像が得られる。今回は 4 レベルの拡張末期および収縮末期左室短軸像より EF を算出した。

稲坂ら⁹⁾によれば、駆出前期は $-0.31 \times (\text{心拍数}) + 122 \text{ msec}$ の式、Q 波から II 音大動脈成分までの時間 (QIIA) は $-2.0 \times (\text{心拍数}) + 527$

msec の式で得られる。Q 波から trigger までの時間は 25 msec 前後であるため、心拍数が毎分 50~80 の範囲内では、 $TE=34 \text{ msec}$, $TD=40 \text{ msec}$ を拡張末期の条件、 $TE=34 \text{ msec}$, $TD=340 \text{ msec}$ を収縮末期の条件として近似し得ると考えた。1 例ごとに拡張末期、収縮末期の時相を確認し、描出することは望ましいが、簡便性を図るために、また上述の事実より、今回は一律に、 $TD=40 \text{ msec}$ を拡張末期、 $TD=340 \text{ msec}$ を収縮末期の条件とした。

今回の検討より、MRI 左室短軸像による左室計測は正確であり、本断層像を用いる EF 算出法



Fig. 6. Left ventricular short-axis images at four different levels used to calculate ejection fraction.

Left: end-diastole, right: end-systole.

Table 1. Wall thickness and dimension measured using MRI

Case	Optimum degree for RAO	T ₁ mm	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	D ₁	D ₂	D ₃
1	40°	21	12	11	12	20	48	48	47
2	10°	24	14	12	30	33	50	48	15
3	25°	18	11	10	10	28	40	35	20
4	35°	24	15	10	11	15	38	53	36
5	25°	21	14	13	26	29	43	41	30
6	5°	23	12	11	11	21	45	51	33
7	35°	24	14	12	13	16	42	50	36
8	20°	23	23	11	30	42	46	33	16
9	45°	11	12	11	13	22	50	45	32
Mean	27°	21	14	11	17	25	45	45	29
SD	14°	7	4	1	9	11	9	7	11

SD=standard deviation. Other abbreviations are the same as in Fig. 4.

The optimum degree of the right anterior oblique position (RAO) for imaging the left ventricular short-axis plane is also described.

Table 2. Wall thickness and dimension obtained using echocardiography

Case	T ₁ mm	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	D ₁	D ₂
1	21	—	12	13	18	36	38
2	22	—	11	28	33	46	—
3	—	—	11	12	28	40	35
4	24	—	12	14	18	39	—
5	20	14	11	25	29	41	45
6	23	12	11	11	20	44	43
7	22	—	10	12	18	36	45
8	24	—	11	30	45	43	29
9	10	10	10	11	25	41	35
Mean	21	12	11	17	26	41	39
SD	5	2	1	8	9	3	6

Abbreviations are the same as in Fig. 4.

—: The echocardiographic measurements could not be performed.

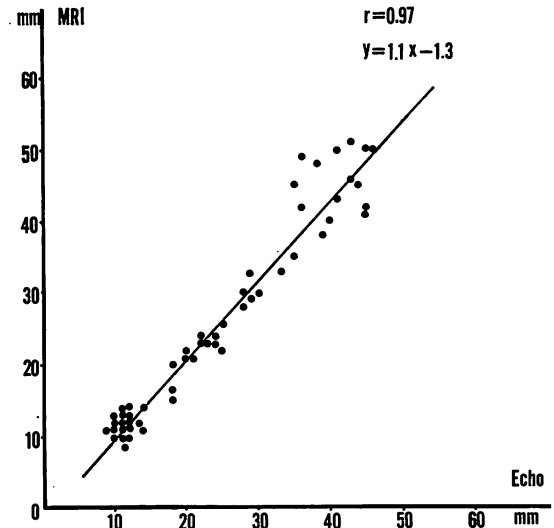


Fig. 7. Relationship between wall thickness and dimension obtained by MRI and those by echocardiography (echo).

Table 3. Left ventricular ejection fractions (EF) calculated using MRI and derived from left ventriculogram (LVG)

Case	MRI			LVG		
	LVEDV	LVESV	EF	LVEDV	LVESV	EF
10	142	50	0.65	173	53	0.69
11	161	84	0.48	134	74	0.45
12	108	29	0.73	109	24	0.78
13	153	71	0.54	131	53	0.60
14	137	60	0.56	114	47	0.59
15	94	38	0.60	95	46	0.52
16	96	25	0.74	113	39	0.65
Mean	127	51	0.61	124	48	0.61
SD	28	22	0.10	25	15	0.11

LVEDV=left ventricular end-diastolic volume; LVESV=left ventricular end-systolic volume.

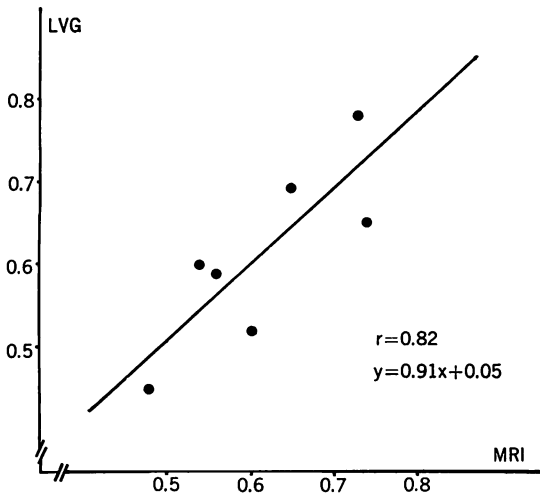


Fig. 8. Correlation of ejection fraction calculated by MRI and that by left ventriculography (LVG).

の有用性が示された。

要 約

心電図同期磁気共鳴画像診断法における左室短軸像を描出し、その左室計測上の有用性と、それによる左室駆出分画算出の可能性を検討した。

対象は肥大型心筋症 9 例と、心臓カテーテル検査に相前後して検討を加えた 7 例、計 16 例である。至適角度の右前斜位にて、Z-X 平面に平行な断面内に左室長軸像を、Y-Z 平面を Y 軸の回りに回転させ、得られた斜方向断面内に左室短軸像をそれぞれ描出した。心電図 R 波の立ち上がり中央の trigger より、スピンエコー法の 90 度パルスまでの時間を 40 msec および 340 msec とし、エコー時間 34 msec 後の第一エコー画像を拡張末期および収縮末期画像とした。

肥大型心筋症例で、MRI 拡張末期左室短軸像より左室壁厚と内径を計測し、心エコー図法の同一断面、同一時相、同一部位の計測値と比較し、両者間に計測値の良好な一致をみた ($r=0.97$, $p<0.01$)。

駆出分画の算出は 7 例について行った。拡張末期および収縮末期の長軸像より左室長軸長 (L) を、4 レベルにおける短軸像より内腔断面積 (S_1, S_2, S_3, S_4) を実測し、左室容積を次式により近似し、左室駆出分画を算出した。

$$V = 1/2 \cdot (L - 4.5) \cdot S_1 + 1.5 \cdot (S_1 + S_2 + S_3) + 1/3 \cdot 1/2 \cdot (L - 4.5) \cdot S_4$$

これを心臓カテーテル法 (single plane, area-

鈴木, 坂本, 川久保, ほか

length 法) により求めた駆出分画と比較し, 両者間に正相関を得た ($r=0.82$, $p<0.05$).

以上の事実より, MRI 左室短軸像は, 左室の形態の分析および機能の評価に用いると考えられた.

謝 辞

飯尾正宏, 飯塚昌彦, 高橋利之の諸先生に深謝致します.

文 献

- 1) Lanzar P, Botvinick EH, Schiller NB, Crooks LE, Arakawa M, Davis PL, Herfkens R, Lipton MJ, Higgins CB: Cardiac imaging using gated magnetic resonance. *Radiology* **150**: 121, 1984
- 2) Nishikawa J, Ohtake T, Machida K, Iio M, Yoshimoto N, Sugimoto T: Effectiveness of ECG-gated magnetic resonance imaging in diagnosing cardiovascular diseases. *J Cardiogr* **15**: 1187, 1985
- 3) Higgins CB, Byrd BF, Stark D, McNamara M, Lanzar P, Lipton MJ, Shiller MB, Botvinick E, Chatterjee K: Magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* **55**: 1121, 1985
- 4) Fletcher BD, Jacobstein MD, Nelson AD, Riemenschneider TA, Alfidi RJ: Gated magnetic resonance imaging of congenital cardiac malformations. *Radiology* **150**: 137, 1984
- 5) 渡辺 滋, 榊原 誠, 今井 均, 諸岡信裕, 宿谷正毅, 増田善昭, 稲垣義明: 磁気共鳴映像の心血管系診断への応用: とくに縦断像の有用性. *J Cardiogr* **15**: 1171, 1985
- 6) 佐伯文彦, 井上圭介, 山川和夫: 表面コイルを用いた心電図同期磁気共鳴画像法の検討. *J Cardiogr* **16**: 171, 1986
- 7) Feiglin DH, George CR, MacInlyre WJ, O'Donnell JK, Go RT, Pavlicek W, Meaney TF: Gated cardiac magnetic resonance structural imaging by electronic axial rotation. *Radiology* **154**: 129, 1985
- 8) Akins EW, Hill JA, Fitzsimmon JR, Pepine CJ, Williams CM: Importance of imaging plane for magnetic resonance imaging of the normal left ventricle. *Am J Cardiol* **56**: 366, 1985
- 9) 稲坂 暢, 杉本恒明, 野原哲夫, 平沢邦彦, 素野謙介, 浦田忠夫, 北川駿介, 佐藤 清, 武内重五郎: 血行動態の評価における左室収縮時間 (STI) 測定の意義. *心臓* **5**: 21-34, 1973