

心臓シネ MRI による定量的左室局所壁運動評価

黒川 洋¹, 岡村正博¹, 近藤 武², 板倉一義¹,
安野直子¹, 安野泰史², 瓜谷富三², 菱田 仁¹,
渡辺佳彦¹, 水野 康¹, 竹内 昭², 古賀佑彦³,
杉石宗隆⁴, 山口弘次郎⁵, 梁島 隆⁵

¹藤田学園保健衛生大学医学部内科

²同衛生学部診療放射線技術学科

³同医学部放射線科

⁴杉石病院内科

⁵東芝那須工場

対 象

はじめに

左室局所壁運動の障害は虚血性心疾患の重症度と予後を決定する重要な因子である¹⁾。近年、虚血性心疾患の治療として冠動脈血栓溶解療法、経皮的冠動脈形成術が盛んに行われるようになってきたが、これらの療法の適応の決定および効果判定には左室局所壁運動評価が必要である^{2)~3)}。Magnetic resonance imaging (MRI) は、心電図同期撮像法の導入により拍動する心大血管系にも応用可能となり、高速イメージング技術の開発⁴⁾によりシネ画像も撮像できるようになった。また、MRI は非観血的で造影剤を必要とせず、繰返し実施可能で、しかも任意の断面を撮像できるので左室の長軸や短軸を正確に捉えることができる。したがって、局所壁運動評価には最も優れた方法の一つと考えられる。そこで、臨床例を対象に心臓シネ MRI を撮像し、定量的左室局所壁運動評価を行ない、左室造影法と対比してその信頼性について検討を行なった。

対象は心筋梗塞症 8 例、狭心症 5 例、心室性頻拍症 2 例、肥大型心筋症 1 例、大動脈弁閉鎖不全症 1 例、大動脈弁閉鎖不全兼僧帽弁閉鎖不全症 1 例の合計 18 例で、男 16 名、女 2 名、平均年齢 57.1 歳 (39~72 歳) であった。

方 法

1) MRI の撮像

装置として 0.5 T 超伝導型磁気共鳴イメージング装置 (東芝 MRT-50 A) を用いた。パルス系列は TR : 50 ms, TE : 22 ms, flip angle 30° で心電図同期フィールド・エコー・リフェージング・シネ・モード法により 128×128 マトリクス、スライス厚 1 cm, 加算回数 4 もしくは 8 回で撮像した。心電図同期は R 波から 2 ms 遅れて開始し、平均 R-R 間隔の 80~85% を約 13~16 分割した。拡張末期時相として 1 枚目を採用し、収縮末期時相は、検査直前に心電図と心音図を同時記録し R~II s 時間を計測し、こ

キーワード cardiac cine MRI, left ventricular regional wall motion, asynergy, contrast left ventriculography

れを参考に MRI をシネ表示して左室内腔が最小となるフレームとした。

断面の決定は我々の方法⁵⁾、すなわち心電図非同期で、chain oblique 法を用いて左室水平長軸断面と左室垂直長軸断面を決定した。

なお、一断面のシネモードの撮像時間は加算回数 4 回の場合、約 8 分であった。

2) Cine MRI による定量的左室局所壁運動評価

左室造影では通常、水平長軸断面像に相当する方向からの撮影はしないので、左室垂直長軸断面の MRI を右前斜位 (RAO) 方向の左室造影に相当するものとして対比検討した。局所壁運動解析は我々の開発したオンライン・ソフトウェアを用いた。まず拡張末期と収縮末期の左室垂直長軸断面の画像で心尖部と僧帽弁輪部の中点を結び左室長軸とし、次いでトラック・ボー

ルにより用手的に左室内壁のトレースを行なった (図 1)。

本ソフトウェアでは radial method⁶⁾により左室局所の短縮率と、左室を 12 分割したそれぞれの segment の面積収縮率⁷⁾を算出可能である。左室の拡張末期と収縮末期のトレース像の重ね合わせに関しては、①そのまま拡張末期と収縮末期のトレース像を重ね合せて、拡張末期の a) 重心点もしくは b) 長軸の中点から放射状に線を引き壁運動を解析する方法と、②拡張末期と収縮末期の a) 重心点もしくは b) 長軸の中点を重ね合わせて、しかも収縮末期のトレース像を回転させて、左室の長軸を一致させ、拡張末期の a) 重心点もしくは b) 長軸の中点から放射状に線を引き局所壁運動を解析する方法が可能である。

心尖部を中心に放射状に時計回転および反時

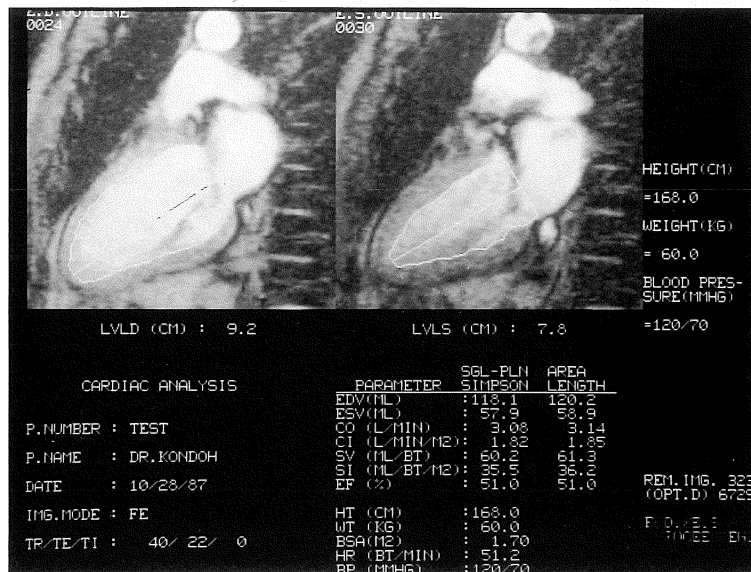


図 1. 左室内腔のトレース法

拡張末期 (左) と収縮末期 (右) の左室垂直長軸断面 (本症例では静止磁場と切断面のなす角度が大きいため通常の RAO 像と左右の向きが反転している。) で、まず直線で示す左室長軸を決定し、次いで左室内腔のトレースを行なった。このトレースにより右下に示すように拡張および収縮末期容積、左室駆出率などの心機能指標が表示される。

1990 年 12 月 7 日受理 1991 年 1 月 28 日改訂

別刷請求先 〒 470-11 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98 藤田学園保健衛生大学医学部内科 黒川 洋

計回転方向に1度ずつの360本の線を引き、左室局所の短縮率を算出し、横軸に角度、縦軸に局所短縮率のグラフを出力可能である。また、同時に心尖部を中心に時計回転および反時計回転方向に30度ずつ12本の線を引き左室12分割し、各segmentの面積収縮率を算出することも可能である。

今回の検討では最も単純で、視覚的評価と所見が一致しやすい①のトレース像をそのまま重ね合わせ、拡張末期のa)重心点から放射線状に線を引き壁運動を解析する方法を用いた(図2)。また、各segmentの面積収縮率を算出し、大動脈弁および僧帽弁の領域に相当する部分を除き、RAOの左室造影におけるAmerican Heart Association (AHA) の分類⁸⁾に相当す

るように、2つの領域を1つのsegmentとして、左室全体を5 segmentsに再分割し、これらのsegmentsの面積収縮率を算出した(図3)。

3) 左室造影

装置として日立製心血管連続装置を使用し、RAO 30度にて造影剤24~30 mlを6~10 ml/sの速度で左室に注入し、30コマ/sで連続撮影を行なった。ELMO angiogram projection system (ELK CAP-35 B) によりシネ表示を行ない、同時記録した心電図を参考に拡張末期と収縮末期を決定した。ついでdigitizer上でライトペンにより左室内壁をトレースし、micro computer (SONY SMC-70 G) を用いたX線写真自動解析システム(Σ 5/E)でMRIと同様な方法により定量的に左室局所壁運動評価を行なっ

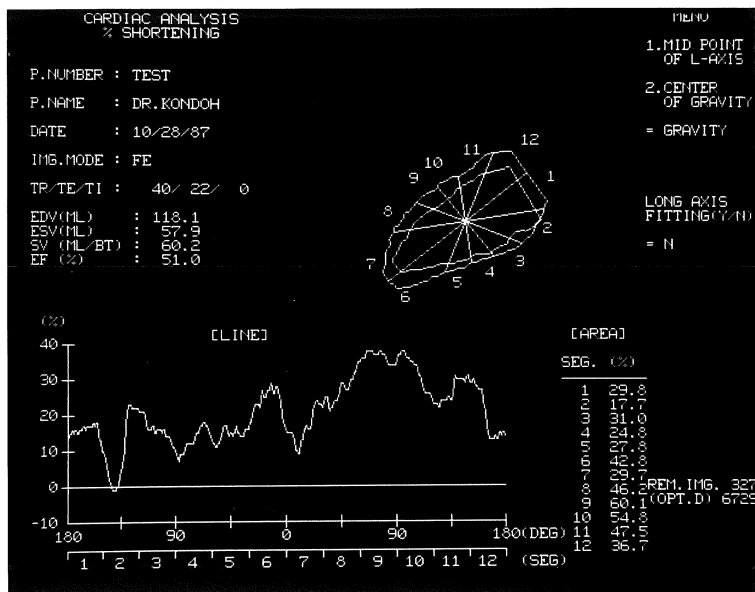


図2. トレース像の重ね合せと定量的左室局所壁運動評価

拡張末期と収縮末期の左室垂直長軸断面の左室内腔のトレース像をそのまま重ねあわせて、拡張末期の重心から心尖部を中心に30度ごとに放射状に12本の線を引き左室を12分割し(右上)、それぞれのsegmentの面積収縮率(右下)を算出した。左下のグラフはradial methodを用いたhemiaxis法による短縮率を心尖部を0度として時計回転をプラス(右方へ)、反時計回転をマイナス(左方へ)として展開したものである。本ソフトウェアでは以上の結果が出力される。

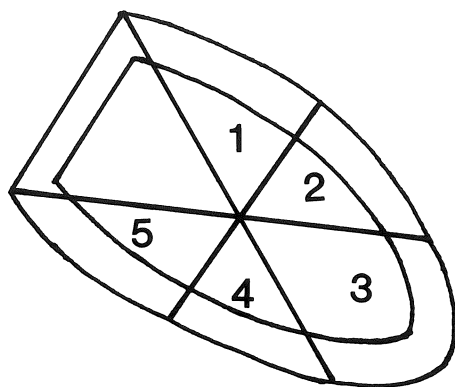


図3. 本研究で用いた左室の分割法

左室左上方の大動脈弁および僧帽弁の領域に相当する部分を除き、図2で示した左室の12分割を、RAOの左室造影におけるAmerican Heart Association (AHA)の分類¹⁾に相当するように5 segmentsに再分割しなおして、それぞれのsegmentの面積収縮率を算出した。

た。

なお、全例左室造影後6ヵ月以内にMRI検査を行ない、この間に再硬塞などの重大な心合併症を起こした症例は除外した。

結 果

左室造影像とMRIの全segmentsを対象とした面積収縮率の対比では比較的良好な有意 ($p<0.001$) の正相関 ($y=0.695x+11.63$, $r=0.748$) を得た (図4 A)。また、各segment別の対比ではsegment 1で $y=0.605x+28.92$, $r=0.809$ の有意 ($p<0.001$) の正相関を (図4 B)、segment 2では $y=0.813x+6.73$, $r=0.886$ の有意 ($p<0.001$) の正相関を (図4 C)、segment 3では $y=0.720x-0.584$, $r=0.806$ の有意 ($p<0.001$) の正相関を示した (図4 D) が、segment 4では $y=0.522x+6.903$, $r=0.712$ で (図4 E)、segment 5では $y=0.749x+12.022$, $r=0.698$ であり (図4 F)、それらほど高い正相関は得ら

れなかった。

考 按

現在、臨床の場では左室局所壁運動評価は左室造影、心エコー図、心プールシンチグラフィ、超高速CTなどで行なわれている。断層心エコー図は種々の断面をリアルタイムに観察可能であるが、肥満者、肺気腫などでは良好な画像が得られない場合も多く、ことに左室長軸断面においてはacoustic windowが限られているため困難な場合が多い^{9),10)}。左前斜位 (LAO) 方向の平衡時心プールシンチグラフィでは右室と左室を分離できるが、RAO方向の像では両心室が重なり局所壁運動評価には適さない¹¹⁾。RAOの第一回循環法を用いれば左室だけの局所壁運動評価が可能であるが、カウントが少なく信頼性が低下する。超高速CTでは造影を必要とし、斜位断面の撮像には制限がある¹²⁾。左室造影では造影剤の注入が必須で、局所壁運動への影響も懸念される。しかし、現在のところ臨床応用可能な理想的な左室局所壁運動評価法はないので、S/N比が高く、空間分解能、時間分解能に優れ、歴史的に臨床例の蓄積の多い左室造影を真としてMRIの左室局所壁運動評価における信頼性について検討をおこなった。

MRIによる左室局所壁運動に関する論文は数篇^{13)~17)}あるが、double (chain) oblique法を用いて左室の長軸断面を撮像して検討した報告は少ない。最近のLotanらの報告¹⁷⁾ではoblique法を用いて左室局所壁運動評価を行ない左室造影の所見と良好な相関を得たと報告しているが、5段階の視覚的な半定量評価にとどまっている。

今回用いた装置 (MRT 50 A) はchain oblique法が可能で、任意の断面の撮像ができるので、左室水平長軸断面および左室垂直長軸断面を撮像した。一方、ルーチンの左室造影ではRAOとLAOの左室造影を行なうが、LAOにおける左室造影像は円形に近く、MRIの左室水平長軸断面には相当しない。従って、MRIの左室

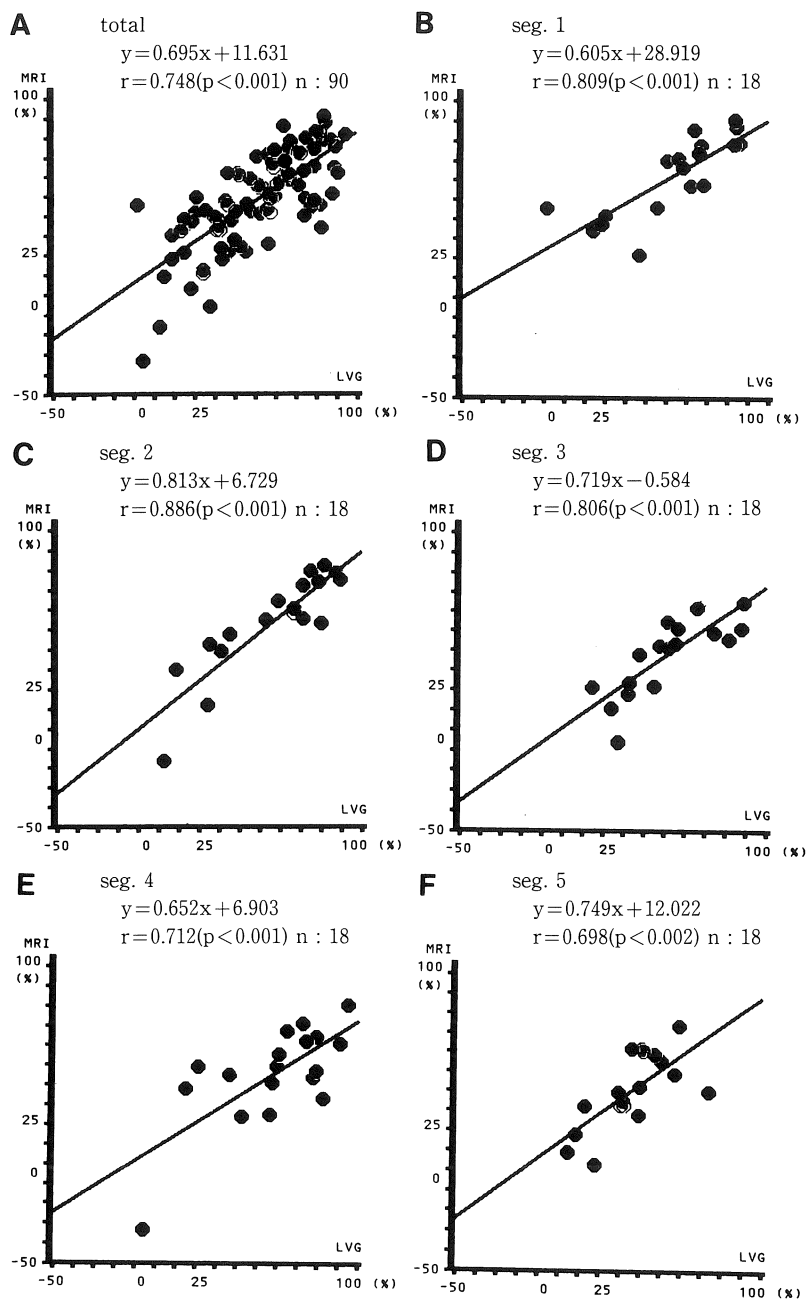


図4. MRIによる左室局所壁運動と左室造影所見との対比

全てのグラフにおいて横軸に左室造影による面積収縮率を、縦軸にMRIによる面積収縮率を示す。

- A : 全 segments における対比 B : segment 1. における対比
 C : segment 2. における対比 D : segment 3. における対比
 E : segment 4. における対比 F : segment 5. における対比

水平長軸断面と左室造影の対比は行なわなかった。

局所壁運動解析を定量的に行なうために、我々はまずオンラインのソフトウェアを開発した。本ソフトウェアでは radial method⁶⁾により短縮率と 12 分割した各 segment の面積収縮率⁷⁾を算出可能である。壁運動の定量的評価においては拡張末期と収縮末期のトレースをどのように重ね合わせるかについて種々の意見^{6),7),18)~20)}があるが、どの方法を用いても問題がある。本ソフトウェアでは左室の重心点もしくは長軸の中点を重ね合わせることも、かつまた収縮末期のトレースを回転させて、拡張末期の左室の長軸と重ね合わせることも可能であるが、今回は視覚の評価と所見が一致しやすいトレース像をそのまま重ね合わせる方法を用いた。

下後壁 (segment 4, 5) では Nishikawa ら²¹⁾が報告しているように高い相関が得られなかったが、これは MRI 撮像に呼吸同期を併用しなかったために、横隔膜の運動により下壁を鮮明に描画できなかったためと思われる。画質改善のためには呼吸同期を併用すべきであるが、併用すれば MRI 撮像に長時間を要しルチン検査としては好ましくないと考えられた。

本法では下壁の局所壁運動評価には改良の余地があるものの、左室前壁 (segment 1, 2) および心尖部 (segment 3) では MRI の所見は左室造影のそれと良好な相関を得、十分臨床応用が可能と思われる。

総 括

MRI は造影剤を必要とせず、造影剤の左室局所壁運動への影響を考慮する必要がなく、任意の断面すなわち左室自身の長軸もしくは短軸断面の撮像が可能であり、局所壁運動解析には最も優れた手法の一つと考えられた。また、我々の開発したオンラインの radial method による局所壁運動解析ソフトウェアを用いれば、下壁 (segment 4, 5) の評価には改良の余地がある

ものの、拡張末期と収縮末期における断面の画像をトレースするだけで簡単に、しかも比較的高い精度で、前壁 (segment 1, 2) および心尖部 (segment 3) 領域の定量的な左室局所壁運動評価が可能であった。

文 献

- 1) G. Sanz, A. Gastaner, A. Betriu, et al. : Determinants of prognosis in survivors of myocardial infarction : A prospective clinical angiographic study. *N Engl J Med*, 306 : 1065-1070, 1982.
- 2) J. L. Ritchie, M. Cerqueira, C. Maynard, et al. : Ventricular function and infarct size : The Western Washington intravenous streptokinase in acute myocardial infarction trial. *J Am Coll Cardiol*, 11 : 689-697, 1988.
- 3) G. O. Hartzler, B. D. Rutherford, D. R. McConahay : Percutaneous transluminal angioplasty with and without thrombolytic therapy for treatment of acute myocardial infarction. *Am Heart J*, 106 : 965-973, 1988.
- 4) A. Haase, J. Frahm, D. Matthaei, et al. : FLASH imaging. Rapid NMR imaging using low flip angle pulses. *J Magn Reson*, 67 : 258-266, 1986.
- 5) 岡村正博, 近藤 武, 安野直子, 他 : MRI による左室容積の算出—Modified Simpson 法による検討一. *日磁医誌*, 10 : 345-356, 1990
- 6) A. Rickards, R. Seabra-Gomes, P. Thurston : The assessment of regional abnormalities of the left ventricle by angiography. *Eur J Cardiol*, 5 : 167-182, 1977.
- 7) N. B. Ingels, G. T. Daughters, E. B. Stinson, et al. : Evaluation of methods for quantitating left ventricular segmental wall motion in man using myocardial markers as a standard. *Circulation*, 61 : 966-972, 1980.
- 8) W. G. Austin, J. E. Edwards, R. L. Frye, et al. : A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease : Report of the Ad Hoc Committee for grading of coronary disease. Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation*, 51 (suppl. 4) : 30, 1975
- 9) J. F. Ren, M. N. Kotler, A. H. Hakki, et al. :

- Quantitation of regional left ventricular function by two-dimensional echocardiography in normals and in patients with coronary artery disease. *Am Heart J*, 110 : 552-560, 1985.
- 10) R. V. Haendchen, H. L. Wyatt, G. Maurer, et al.: Quantitation of regional cardiac function by two-dimensional echocardiography. 1. Pattern of contraction of the normal ventricle. *Circulation*, 67 : 1234-1245, 1983.
 - 11) R. A. Steckley, M. W. Kronenberg, M. L. Born, et al. : Radionuclide ventriculography : Evaluation of automated and visual methods for wall motion analysis. *Radiology*, 142 : 179-185, 1982.
 - 12) W. F. Lipton, C. B. Higgins, D. Farmeret, et al.: Cardiac imaging and high speed cine CT : Preliminary results. *Radiology*, 152 : 579-582, 1984.
 - 13) R. C. Hawkes, G. N. Holland, W. S. Moore, et al.: Nuclear magnetic resonance imaging (NMR) of the normal heart. *J Comput Assist Tomogr* , 5 : 605-612, 1981.
 - 14) B. F. Byrd, N. B. Schiller, H. E. Botvinic, et al. : Normal cardiac dimensions by magnetic resonance imaging . *Am J Cardiol* 55 : 1440-1442, 1985.
 - 15) S. R. Underwood, R. S. O. Rees, P. E. Savage, et al. : Assessment of regional left ventricular function by magnetic resonance. *Br Heart J*, 56 : 334-406, 1986.
 - 16) P. W. Pflugfelder, U. P. Sechtem, R. D. White, et al. : Quantification of regional function by rapid cine MR imaging. *A J R*, 150 : 523-529, 1988.
 - 17) C. S. Lotan, G. B. Cranney, A. Bouchard, et al. : The value of cine nuclear magnetic resonance imaging for assessing regional ventricular function. *J Am Coll Cardiol*, 14 : 1721-1729, 1989.
 - 18) K. R. Karsch, U. Lamm, H. Blanke, et al. : Comparison of nineteen quantitative models for assessment of localized left ventricular wall motion abnormalities. *Clin cardiol*, 3 : 123-128, 1980.
 - 19) H. J. Gelberg, B. H. Brundage, S. Glantz, et al. : Quantitative left ventricular wall motion analysis : A comparison of area, chord and radial methods. *Circulation*, 59 : 991-1000, 1979.
 - 20) V. Bhargava, S. Warren, W. V. R. Vieweg, et al.: Quantitation of left ventricular wall motion in normal subjects : Comparison of various methods. *Cathet Cardiovasc Diagn*, 6 : 7-16, 1980.
 - 21) J. Nishikawa, T. Ohtake, K. Machida, et al. : Effectiveness of ECG-gated magnetic resonance imaging in diagnosing cardiovascular diseases. *J Cardiology*, 15 : 1187-1189, 1985.

Quantitative Evaluation of Left Ventricular Regional Wall Motion by Cardiac Cine Magnetic Resonance Imaging

Hiroshi KUROKAWA¹, Masahiro OKAMURA¹, Takeshi KONDO²,
Kazuyoshi SAKAKURA¹, Naoko ANNO¹, Hirofumi ANNO²,
Tomizo URITANI², Hitoshi HISHIDA¹, Yoshihiko WATANABE¹,
Yasushi MIZUNO¹, Akira TAKEUCHI², Sukehiko KOGA³,
Munetaka SUGIISHI⁴, Koujiro YAMAGUCHI⁵, Takashi YANASIMA⁵

¹*Department of Internal Medicine, Fujita Health University, School of Medicine
1-98 Dengaku-ga-kubo, Kutsukake, Toyoake, Aichi 470-11*

²*Department of Radiological Technology, Fujita Health University, School of Hygien*

³*Department of Radiology, Fujita Health University School of Medicine*

⁴*Sugiishi Hospital*

⁵*Toshiba Nasu Works*

The purpose of this study is to evaluate quantitatively the left ventricular (LV) regional wall motion abnormalities by cardiac cine magnetic resonance imaging (MRI) with the on-line wall motion analysis software that is developed by us. Eighteen patients with various heart diseases were studied by field echo cardiac cine MRI (TR/TE/flip angle=50/22/30°) with chain oblique technique. The LV of the RAO left ventriculography (LVG) and vertical long-axis MRI was divided into 5 segments corresponding to those specified by the American Heart Association (AHA), respectively. The area contraction ratio of all segments using LVG and MRI showed significant ($p<0.001$) positive correlation ($r=0.748$). As for each segment evaluated independently, correlation was significant ($p<0.001$) and positive for segments 1 to 3 ($r=0.809$ in segment 1, $r=0.886$ in segment 2, and $r=0.806$ in segment 3). On the other hand, strong correlation was not seen in segment 4 ($r=0.712$, $p<0.001$), nor in segment 5 ($r=0.698$, $p<0.002$). This was because, due to the absence of respiratory gating, movement of the diaphragm hindered clear delineation of the inferior wall in some cases.

In conclusion, the newly developed on-line software permits outlining of LV vertical long-axis images at the end diastole and the end systole, and readily provides quantitative analysis of the LV wall motion. We believe that this method will prove to be useful clinically.