

MRIによる左室容積の算出 —Modified Simpson 法による検討—

岡村正博¹, 近藤武², 安野直子¹
古田敏也¹, 坂倉一義¹, 黒川洋¹
安野泰史², 瓜谷富三², 菱田仁¹
渡辺佳彦¹, 水野康¹, 杉石宗隆³

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杉石病院内科

1. はじめに

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、近年、高速イメージング技術の開発によりシネ画像も撮像できるようになった¹⁾。また、MRI は非観血的で造影剤を必要とせず、しかも任意の断面を撮像できるので左室の長軸を正確に捉えることが可能であり、左室容積 (LVV) 計測には最も優れた方法の一つと考えられる。そこで、心臓シネ MRI を撮像し、我々の開発したオンラインの心機能解析プ

ログラムを用いて、LVV を算出し、その精度についてファントム実験 [研究 1] および健常者を対象とした検討 [研究 2] と臨床例を対象とした臨床研究 [研究 3] を行なった。

2. 対 象

[研究 1] ファントム実験

ほぼ楕円柱の点滴用プラスチックボトルに正確に 100, 200, 300 ml の水を入れて検討した。

[研究 2] 健常者における検討

対象は健常者 9 例で、男 8 例、女 1 例、平均年齢 31 歳 (22~42 歳) である。

キーワード

cardiac cine MRI, left ventricular volume, single-plane modified Simpson's rule method, biplane modified Simpson's rule method

[研究3] 臨床研究

対象は陳旧性心筋梗塞症 12 例，狭心症 6 例，肥大型心筋症 1 例，バルサルバ洞動脈瘤破裂 1 例の合計 20 例で，男 18 例，女 2 例，平均年齢 58 歳（39～69 歳）である。なお，全例左室造影後 6 カ月以内に MRI 検査を行ない，この間に再梗塞などの重大な合併症を起こした症例は除外

した。

3. 方 法

(1) MRI の撮像

装置として 0.5 テスラ超電導型磁気共鳴イメージング装置（東芝 MRT-50 A）を用いた。パ

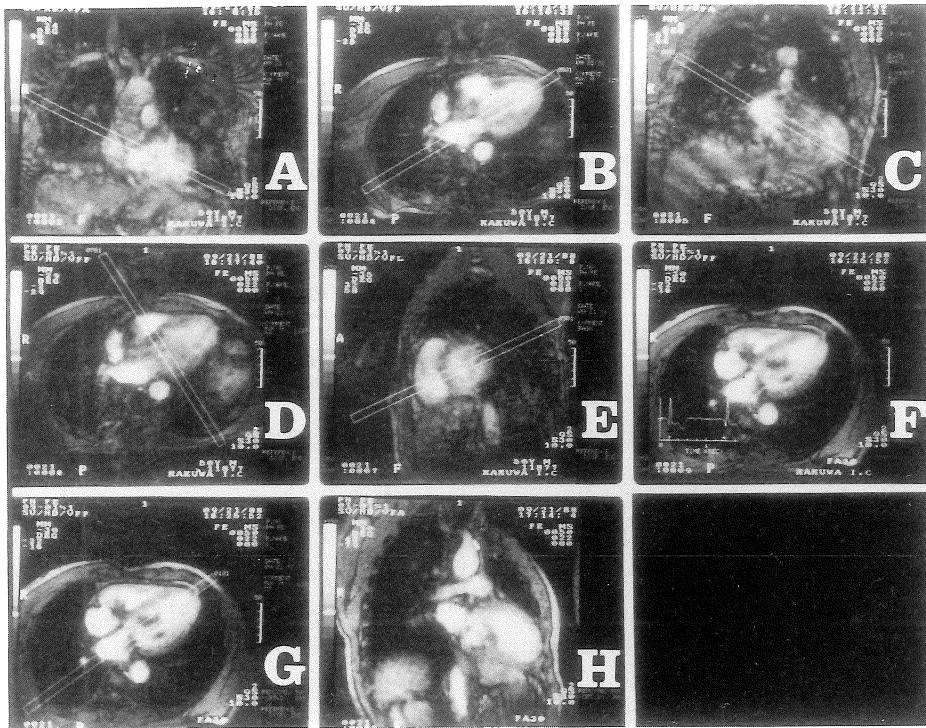


図 1 Double oblique technique を用いた左室水平長軸断面および左室垂直長軸断面の決定法

まず心臓を含むであろうと思われる中腋窩線の少し上方で体冠状断面を撮像し（図 1 A），ついで左室の心尖部と大動脈根部直下を通る斜位断面を撮像し，左室水平長軸断面に近い像を得た（図 1 B）。この画像上でやはり心尖部と僧帽弁輪部中央を通る左室垂直長軸断面に近い像（図 1 C）を得て，この画像上で再度心尖部と僧帽弁輪部中央を通る左

室水平長軸断面に近い像（図 1 D）を得た。ついで正確な四腔断面（左室水平長軸断面）を得るために，僧帽弁先端付近の心基部側で左室長軸に直交する左室短軸像（図 1 E）を得て，この短軸像上で左室の中心と右室の中心を通るような断面を設定し心電図同期法により最終的な左室水平長軸断面像（図 1 F）を得た。同様にこの左室水平長軸断面上（図 1 G）で心尖部と僧帽弁輪部中央を通る最終的な左室垂直長軸断面を決定した（図 1 H）。

受付年月日 1990年6月25日

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 岡村正博

ルス系列は flip angle 30 度, TE 22 msec, TR 50 msec の field echo (FE)・rephasing 法によりマトリックスサイズ 128×128, スライス厚 10 mm とし, [研究 1] のファントム実験では加算回数 4 回の心電図非同期法で撮像した。

[研究 2] の健常者での研究では加算回数 4 もしくは 8 回の心電図同期法で, 他の条件は [研究 1] と同一とした。心電図同期は R 波から 2 msec 遅れて開始し, 平均 RR 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。

断面の決定は心電図非同期法で, 図 1 に示すように, 左室長軸を捉えるように幅寄せを行ないながら順次直交断面を撮像する chain oblique (double oblique) 法を用いた。従ってこの方法では最初の断面が左室長軸から離れていても, 徐々に真の長軸を捉えられる。

この FE 法で撮像した直後に, TE 20 msec, TR は心拍数に依存する心電図同期 spin echo

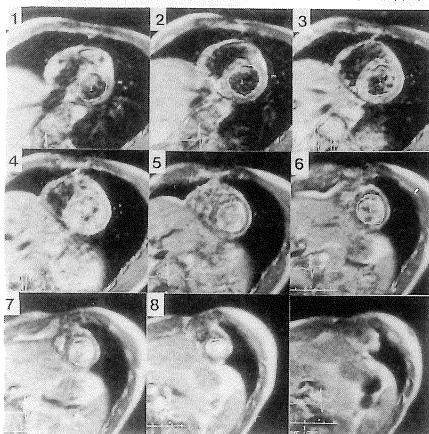
(SE) 法によりマトリックスサイズ 128×128, スライス厚 10 mm, 加算回数 2 回で, 拡張末期と収縮末期の左室短軸断面を撮像した。短軸断面数は心尖部から心基部まで全てカバーできるように 6~11 断面を撮像した (図 2)。

[研究 3] の臨床研究では [研究 2] で行なった FE 法と同様の方法で MRI を撮像した。短軸多断面を撮像する SE 法は長時間を要するため行なわなかった。

(2) MRI による LVV の算出

我々の開発したオンラインの LVV 算出プログラムは最も単純な ① axis 法 (左室を回転楕円体と仮定し, 長軸(a)と短軸(b)から $LVV = (1/6) \times \pi ab^2$ の式から求める)。Dodge ら²⁾ の ② area-length 法 (左室長軸(a)と左室の面積 S から短軸(b)を $b = 4S/\pi a$ として求め, 左室を回転楕円体と仮定し, $LVV = (1/6) \times \pi ab^2$ の式から求める)。Chapman ら³⁾ の ③ modified Simpson 法 (本法では左室を楕円体とは仮定せず, 図 3 に示すように single-plane では厚さ 0.5 mm 以下, biplane の場合も厚さ 0.5 mm 以下の楕円柱

A. SE 法による拡張末期左室短軸多断面



B. SE 法による収縮末期左室短軸多断面

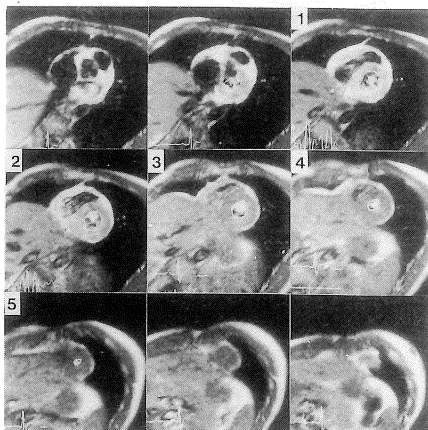


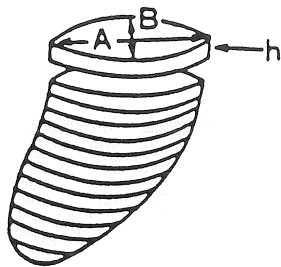
図 2 True Simpson 法による左室容積の算出
SE 法により拡張末期 (A 1~8) と収縮末期 (B 1~5) の心尖部から心基部までの左室短軸断面を

得て, 左室内腔をトレースして true Simpson 法により左室容積を算出した。

を積み重ねて体積を算出する。計算式は図3下に記載)の3つの方法でLVVを算出することが可能である。③の場合、厚さが0.5 mm以下となるのはトレースの際、心臓部を任意の倍率(n)で拡大するため、厚さは(0.5/n) mmとなる。①、②では左室を回転楕円体と仮定しているため左室内腔が著しく変形した場合には信頼性が低い。したがって、本研究では変形した場合にも比較的信頼性が高いとされている③ modified Simpson法を用いた。

[研究1]のファントム実験では断面積が大きい方の画像(図4A)で水の輪郭をトレースして、single-plane modified Simpson法により水の容積を算出した。また、図4Aに対する直交断面(図4B)でも水の輪郭をトレースして両断面を用いてbiplane modified Simpson法により水の容積を算出した。

[研究2]の健常者での研究では、左室垂直長軸断面もしくは左室水平長軸断面において、少なくとも2人の循環器専門医の合意により、心



$$\Delta V = \pi h (A \times B) / 4$$

$$V = \frac{\pi h}{3} \left(\sum_{\text{odd}} A_i B_i + \sum_{\text{even}} \frac{1}{2} A_j B_j \right)$$

図3 Chapmanらのmodified Simpson法を使用した左室容積の算出

左室を楕円体とは仮定せず、single-planeでは厚さ0.5 mm以下の円柱(A=B)、biplaneの場合は厚さ0.5 mm以下の楕円柱(A≠B)を積み重ねて体積を算出する。

尖部から僧帽弁輪中央部までを左室長軸とし、拡張末期と収縮末期の画像上でトラックボールにより用手的に左室内壁をトレースし(図5)、single-plane modified Simpson法を用いて、①左室拡張末期容積(LVEDV)、②左室収縮末期容積(LVESV)を算出した。また、お互いに直交する左室垂直長軸断面と左室水平長軸断面において、同様に拡張末期と収縮末期の画像上で左室内壁をトレースし(図5)、biplane modified Simpson法により、①LVEDV、②LVESVを算出した。さらに、SE法による心尖部から心基部までの拡張末期と収縮末期の左室短軸断面のそれぞれについて左室内壁をトレースして面積を算出し、スライス厚10 mmを掛けあわせて体積を求め、積み重ねてLVVを算出した(true Simpson法、図2)。

[研究3]では、左室垂直長軸断面と左室水平長軸断面においてsingle-plane modified Simpson法により①LVEDV、②LVESV、③LVEFを算出した。

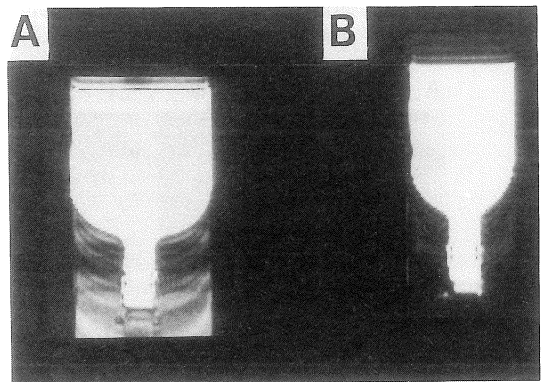
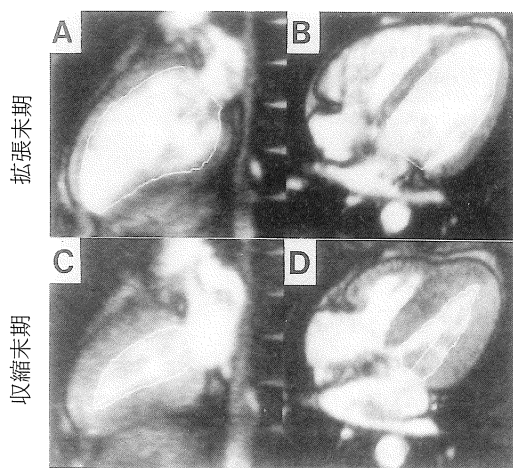


図4 水ファントム(水の入った楕円柱の点滴用プラスチックボトル)の長軸断面

実測値	100.0	200.0	300.0 ml
Aを用いたSS法	133.8	263.0	400.6 ml
AとBを用いたBS法	98.3	195.3	297.6 ml

SS法：single-plane modified Simpson法

BS法：biplane modified Simpson法



左室垂直長軸断面 左室水平長軸断面

図5 Single-plane および biplane modified Simpson法による左室容積の算出

左に左室垂直長軸断面、右に左室水平長軸断面を示す。拡張末期(上段)と収縮末期(下段)の画像上で左室内壁をトラックボールによりトレースし、AとCもしくはBとDの組合せでsingle-plane modified Simpson法により、①左室拡張末期容積(LVEDV)、②左室収縮末期容積(LVESV)、③駆出率(EF)を算出した。また、biplane modified Simpson法により、①LVEDVはAとBから、②LVESVはCとDから算出した。

(3) 左室造影

[研究3]の臨床研究では、装置として日立製心血管連続撮影装置を使用し、RAO 30度にて造影剤24~30 mlを6~10 ml/secの速度で左室に注入し、30コマ/secで左室造影を行なった。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、心尖部から僧帽弁輪中央部を通過する線を左室長軸とし、micro com-

puter (SONY SMC-70 G)を用いたX線写真自動解析システム(Σ5/E)で厚さ1 mmのスライスを積み重ねるsingle-plane modified Simpson法によりLVVおよびLVEFを算出した。

4. 結 果

[研究1] ファントム実験

水の容積が100, 200, 300 mlの場合single-plane modified Simpson法では、それぞれ133.8, 263.0, 400.6 mlで、biplane modified Simpson法ではそれぞれ98.3, 195.3, 297.6 mlであった(図4)。

[研究2] 健常者における検討

左室垂直長軸断面のsingle-plane modified Simpson法から得られたLVVは、true Simpson法から得られたLVVと $y=1.097x-8.450$, $r=0.947$ の有意($p<0.001$)な正相関を示した(図6A)。

左室水平長軸断面のsingle-plane modified Simpson法から得られたLVVはtrue Simpson法から得られたLVVと $y=0.850x+4.216$, $r=0.927$ の有意($p<0.001$)な正相関を示した(図6B)。

Biplane modified Simpson法から得られたLVVはtrue Simpson法から得られたLVVと $y=1.024x-6.536$, $r=0.974$ の有意($p<0.001$)な正相関を示した(図6C)。

[研究3] 臨床研究

(1) RAO左室造影と左室垂直長軸断面のMRIから得られたLVV, LVEFについて

左室垂直長軸断面のMRIから得られたLVVはRAO左室造影から得られたLVVと $y=0.864x+5.966$, $r=0.907$ の有意($p<0.001$)な正相関を認めた(図7A)。また、LVEFは $y=0.835x+6.523$, $r=0.822$ の有意($p<0.001$)な正相関を認めた(図7B)。

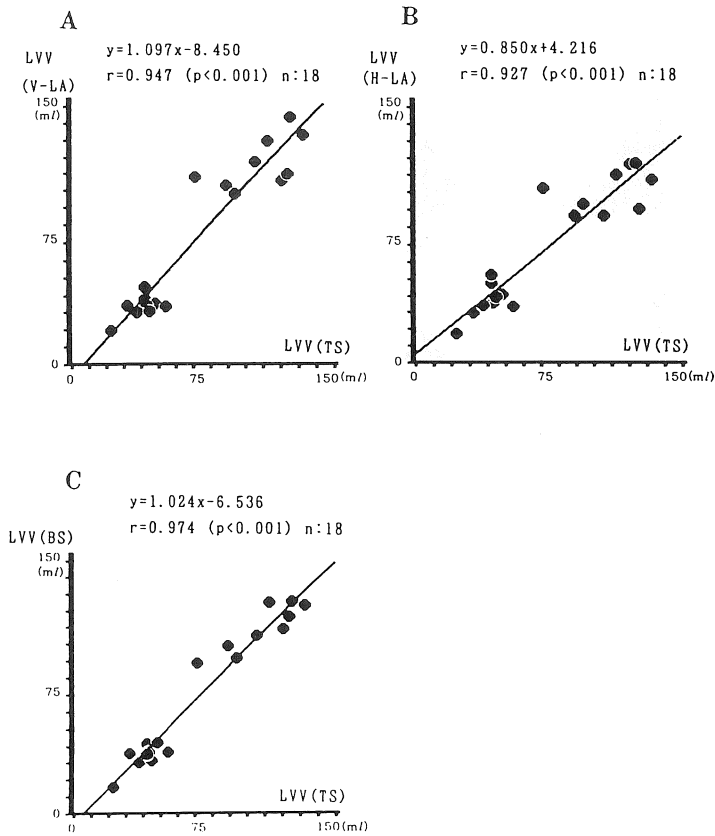


図 6 Single-plane および biplane modified Simpson (BS) 法と true Simpson (TS) 法による左室容積の対比
 A : 左室垂直長軸断面 (V-LA) における single-plane modified Simpson 法と true Simpson (TS) 法による左室容積の対比

B : 左室水平長軸断面 (H-LA) における single-plane modified Simpson 法と true Simpson (TS) 法による左室容積の対比
 C : Biplane modified Simpson (BS) 法と true Simpson (TS) 法による左室容積の対比

(2) RAO 左室造影と左室水平長軸断面の MRI から得られた LVV, LVEF について

左室水平長軸断面の MRI から得られた LVV は RAO 左室造影から得られた LVV と $y=0.788x+4.136$, $r=0.901$ の有意 ($p<0.001$) な正相関を認めた (図 7C). また, LVEF は $y=0.816x+9.801$, $r=0.938$ の有意 ($p<0.001$) な正相関を認めた (図 7D).

5. 考 按

(1) LVV算出におけるMRIと他の方法の比較
 LVV は心機能を評価する上で最も重要な情報の一つであり, 臨床の場では左室造影^{4,5}, 心エコー図^{6,7}, 心プールシンチグラフィ^{8,9} などにより計測されている. しかし, これらの方法には

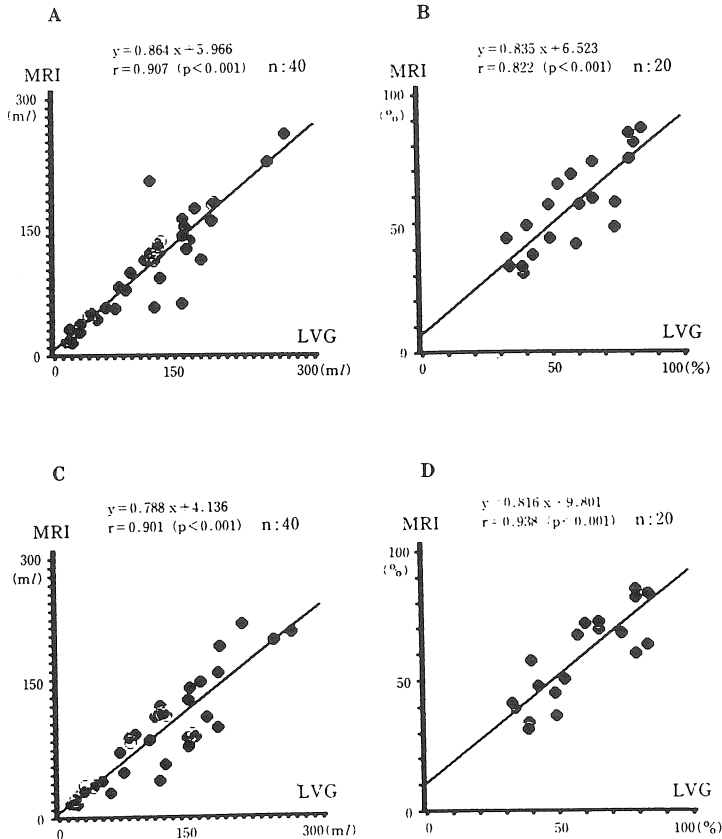


図7 MRIによる左室容積および左室駆出率と左室造影所見との対比

A：RAO左室造影と左室垂直長軸断面MRIによる左室容積の対比

B：RAO左室造影と左室垂直長軸断面MRIによる

左室駆出率 (EF) の対比

C：RAO左室造影と左室水平長軸断面MRIによる左室容積の対比

D：RAO左室造影と左室水平長軸断面MRIによる左室駆出率 (EF) の対比

それぞれ原理的および手技上の問題点が存在する。

左室造影はLVV算出のgold standardとされてきたが、観血的でしかも造影剤を必要とし、20~30 mlの容量負荷が不可欠である。また、一般に撮像方向はRAO 30度、LAO 60度で行なわれ、左室の長軸をいつも捉えているとは限らない。

心エコー図は非観血的で、real timeに画像が

得られ臨床的有用性は高いが、高齢者、肥満者、肺疾患合併者では記録が困難なこともある。Mモード法によるLVVの算出には多くの幾何学的仮定を必要とし、ことにasynergyを有する心筋梗塞では信頼性は低い⁶⁾。断層心エコー図では左室心尖部を全例で正確に描画することは難しく、左室の長軸を捉えにくい点に問題が残る。

心プールシンチグラフィにおけるcount based法は形に影響を受けにくく優れた方法であるが、

線減弱，散乱線などの複雑な補正が必要である^{8,9)}。

(2) MRI による LVV の算出方法

MRI による LVV の算出に関してはすでに数篇の報告がある¹⁰⁻¹⁷⁾が，信頼性が高く，しかも簡便でルーチンに臨床応用可能な方法は少ない。ことに chain oblique 法を用いて得られた正確な左室長軸断面から LVV を算出した報告はほとんどない。本研究で使用した MRI 装置 (MRT-50 A) は chain oblique 断面の撮像が可能で，正確な左室水平長軸断面および左室垂直長軸断面を得られる。そこで，これらの断面上で LVV を算出するプログラムを開発した。本プログラムは，① axis 法，② area-length 法，③ modified Simpson 法により LVV を算出することが可能であるが，①，② では左室を回転楕円体と仮定しているため asynergy により左室内腔が著しく変形した場合には信頼性が低い。複雑な左室の容積を正確に計測するには多くの平行な左室断面を得て true Simpson 法により算出するのが理想と思われる。この方法ではスライス厚を薄くすればするほど，より正確な LVV を算出することができる^{14,17)}が，その分だけ撮像に長時間を要し，撮像後の処理も一時相につき断面の数だけ左室内壁をマニュアルでトレースする必要がある。したがって，スライス厚を薄くするには限界があり，ほとんどの研究^{11,14,16,17)}ではスライス厚は 10 mm である。スライス厚が同じならば理論的には③ modified Simpson 法は true Simpson 法におよばないが，我々の開発した③ modified Simpson 法では，スライス厚を 0.5 mm 以下と薄くしてあるので，比較的正確な左室容積が算出できると考えられる。

(3) [研究 1] ファントム実験について

面積の大きい方 (図 4 A) の長軸断面で single-plane modified Simpson 法により容積を算出す

ると，当然過大評価した。図 4 A に直交する面積の小さい長軸断面 (図 4 B) も使って biplane modified Simpson 法で容積を算出するとほぼ正確に算出できた。このファントムの様に短軸断面が楕円形に近く，円形と著しく異なる場合には single-plane modified Simpson 法では正確な容積を算出できないが，biplane modified Simpson 法では短軸断面を楕円形と仮定するので正確に容積を算出できたと考えられた。

(4) [研究 2] 健常者における検討について

a) 左室長軸断面の設定について

Modified Simpson 法では左室長軸断面を正確に設定することが最も重要である。我々はまず FE 法により心電図非同期法で図 1 に示したようにいわゆる chain oblique (double oblique) 法を使って徐々に幅寄せし，最終的に左室垂直長軸断面と左室水平長軸断面を得た。厳密には心臓は拍動しているので，拡張末期と収縮末期で左室長軸が移動している可能性があるが，本法では心電図非同期で断面設定をおこなったので，拡張末期と収縮末期の左室長軸の中間的な位置に断面設定されたと思われる，誤差は少ないと考えられた。現在のところ，他の方法でもこのような拍動に伴う長軸の補正は困難であり，これが最善の方法と思われる。

b) SE 法による true Simpson 法について

複雑な形の左室の容積を正確に計測するには true Simpson 法により算出するのが理想と思われるので SE 法によりスライス厚 10 mm の収縮末期と拡張末期の左室短軸多断面を撮像し，true Simpson 法により LVV を算出し，これを真として FE 法の画像上で single-plane modified Simpson 法と biplane modified Simpson 法を用いて得られた LVV と対比検討した。その結果，両者とも true Simpson 法と良好な相関が得られ本法は信頼性の高い方法と考えられた。

(5) [研究3] 臨床研究について

臨床例の中には心筋梗塞などのように asynergy を有する症例も含まれているので、本来は true Simpson 法で行なうべきであるが、このためには 10 mm スライスでさえ 6～11 断面の拡張末期および収縮末期の左室短軸 SE 像を得る必要がある、1 時間以上を要するので、今回は対象を健康者にとどめ、臨床例では行なわなかった。

本研究では一断面のトレースで計算可能で、ルーチン検査に適した single-plane modified Simpson 法を用いて LVV を算出し、その精度について左室造影所見と対比検討した。その結果、single-plane modified Simpson 法を用いて得られた LVV および EF は左室造影の所見とよく一致し、心筋梗塞を含む臨床例においても信頼性の高い方法と思われた。この方法では拡張末期と収縮末期の 2 画像のトレースをおこなうだけで临床上重要な多くの心機能指標 (① LVEDV, ② LVESV, ③ EF, ④ 一回拍出量, ⑤ 心拍出量など) が精度よく得られる。そして、左室水平長軸断面から得た LVV も左室垂直長軸断面から得た LVV も左室造影と同程度に信頼できることが示されたので、時間的制約がある場合には一断面のシネ撮影で終了しても、その画像から LVV を算出することが可能である。以上より single-plane modified Simpson 法は簡便なルーチン検査に適した有用な方法と考えられた。

6. 総括

MRI は造影剤を必要とせず、造影剤の左室容積への影響を考慮する必要がなく、左室垂直長軸断面および左室水平長軸断面を容易に捉えられ、single-plane modified Simpson 法および biplane modified Simpson 法により左室容積、左室駆出率を精度よく算出し得た。以上のように本法は簡便で、精度も高くルーチン検査とし

て臨床応用可能であると考えられた。今後、超高速撮影法、コンピュータによる自動的な左室内壁の edge detection の方法などの技術開発により、さらに詳細な左室容積が MRI により簡単に算出可能になることが期待される。

文 献

- 1) A. Haase, J. Frahm, D. Matthaei, et al.: FLASH imaging. Rapid NMR imaging using low flip angle pulses. *J. Magn. Reson.*, 68 : 258-266, 1986
- 2) H.T. Dodge, H. Sandler, W.A. Baxley, et al.: Usefulness and limitation of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Am. J. Cardiol.*, 18 : 10-24, 1966
- 3) C.B. Chapman, O. Baker, J. Reynolds, et al.: Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation*, 18 : 1105-1117, 1958
- 4) H.T. Dodge, H. Sandler, D.W. Ballew, et al.: The use of biplane angiocardiology for measurement of left ventricular volume in man. *Am. Heart J.*, 60 : 762-776, 1960
- 5) J.W. Kennedy, S.E. Trenholme, I.S. Kasser: Left ventricular volume and mass from single-plane cine angiocardiology. A comparison of anteroposterior and right anterior oblique methods. *Am. Heart J.*, 80 : 343-352, 1970
- 6) L.E. Teichholz, T. Kreulen, M.V. Herman, et al.: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am. J. Cardiol.*, 37 : 7-11, 1976
- 7) 坂部慶幸, 菱田仁, 梶原克拓, 他: 心エコーの左室短軸面を用いた左室容積算出法の比較検討. 超医論文集, 40 : 377-378, 1982
- 8) R. Slutsky, J. Karliner, D. Ricci, et al.: Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography: A new method. *Circulation*, 60 : 556-564, 1979
- 9) 安野泰史, 竹内昭, 江尻和隆, 他: Count based 法を用いた平衡時心電図同期心プールシンチグラフィによる左室絶対容積の算出, 第二報 臨床例によ

- る検討. 核医, 24 : 1723-1729, 1987
- 10) R.B. Rehr, C.R. Malloy, N.G. Filipchuk, et al. : Left ventricular volumes measured by MR imaging. *Radiology*, 156 : 717-719, 1985
 - 11) 渡辺幹夫, 細田泰之, Longmore, D.B. : 心電図同期 MRI 心画像による左右心室容積および心機能の定量的評価. *J of Cardiography*, 16 : 343-352, 1986
 - 12) J. Mogelvang, C. Thomsen, J. Mehlsen, et al. : Evaluation of left ventricular volumes measured by magnetic resonance imaging. *European Heart Journal*, 7 : 1016-1021, 1986
 - 13) H. Just, C. Holubarsch, H. Friedburg, et al. : Estimation of left ventricular volume and mass by magnetic resonance imaging : Comparison with quantitative biplane angiocardiology. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 10 : 1-4, 1987
 - 14) U. Sechtem, P.W. Pflugfelder, R.G. Gould, et al. : Measurement of right and left ventricular volumes in healthy individuals with cine MR imaging. *Radiology*, 163 : 697-702, 1987
 - 15) W. Markiewicz, U. Sechtem, R. Kirby, et al. : Measurement of ventricular volumes by MRI. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 10 : 170-177, 1987
 - 16) U. Sechtem, P. Pflugfelder, C.B. Higgins : Quantification of cardiac function by conventional and cine magnetic resonance imaging. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 10 : 365-373, 1987
 - 17) P.T. Buser, W. Auffermann, W.W. Holt, et al. : Noninvasive evaluation of global left ventricular function with use of cine nuclear magnetic resonance. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 13 : 1294-1300, 1989

Evaluation of left ventricular volume by MRI using modified Simpson's rule method

MASAHIRO OKAMURA,¹ TAKESHI KONDO²
NAOKO ANNO,¹ TOSHIYA FURUTA¹
KAZUYOSHI SAKAKURA,¹ HIROSHI KUROKAWA¹
HIROFUMI ANNO,² TOMIZO URITANI²
HITOSHI HISHIDA,¹ YOSHIHIKO WATANABE¹
YASUSHI MIZUNO,¹ MUNETAKA SUGIISHI³

¹*Fujita Health University, School of Medicine, Department of Internal Medicine*

²*Fujita Health University, School of Hygien, Department of Radiological Technology
Toyoake, Aichi 470-11*

³*Sugiishi Hospital*

The conventional contrast left ventriculography (LVG) has been the gold standard for estimating left ventricular volume (LVV), but it is an invasive technique, and volume overload must be caused by contrast medium. The true left ventricular (LV) long axis may not be obtained by LVG in routine right anterior oblique (RAO) projection. MRI, on the other hand, is noninvasive, does not require contrast medium, and permits to obtain the true LV long axis sections. Thus, MRI seems the ideal technique for estimating LVV.

Acculately to estimate LVV, we have developed the on-line programs for calculating LVV by single-plane (SMS) or biplane modified Simpson's rule method (BMS), and have applied these programs to the water in the bottle with the elliptic short axis plane, normal volunteer and patients with various heart diseases.

In the water phantom, the water volume calculated by the BMS was more aculate than the SMS.

In nine normal volunteers, multiple LV short axis sections in each end-systole and end-diastole were obtained by ECG-gated spin echo MRI, LVV as standard was calculated by true Simpson's rule method (TS) on these images. Then both vertical and horizontal LV long axis sections were also obtained by ECG-gated field echo (FE) rephasing cine MRI, LVV was calculated by the BMS or SMS on these images. The BMS or SMS significantly correlated ($r=0.974$, $r=0.927$, 0.947) with TS for estimating LVV, respectively.

In 20 patients with various heart diseases, both vertical and horizontal LV long axis sections were obtained by FE cine MRI. LVV ($r=0.907$ and $r=0.901$) and EF ($r=0.822$ and $r=0.938$) calculated by the SMS on the vertical or horizontal LV long axis sections significantly correlated with the coventional RAO-LVG, respectively.

In conclusion, the MRI using our on-line programs would be clinically useful for estimating LVV and EF.