

右室・右冠動脈同時造影法による右室心筋重量測定法：

ファロー四徴症術後患者の右室機能評価における有用性の検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9438

右室・右冠動脈同時造影法による右室心筋重量測定法： ファロー四徴症術後患者の右室機能評価における有用性の検討

金沢大学医学部医学科小児科学講座 (主任：小泉晶一教授)

辻 春 江

先天性心疾患では、ファロー四徴症など圧や容量負荷等の右心負荷を呈する疾患が多い。また心室中隔欠損症や動脈管開存症などの左室容量負荷疾患においても左一右短絡の増加に伴う肺高血圧症により右室圧負荷を合併する場合が少なくない。右室心筋重量の変化を知ることは先天性心疾患患者の経過を追い、治療効果を判定する上で非常に有用である。心血管造影法は侵襲的検査ではあるが形態的診断の正確さや、心房、心室、血管各部位での圧測定、酸素飽和度測定の必要性から、先天性心疾患では施行されることが多い。しかし、心血管造影法単独では右室の心筋重量を推測することは従来より困難とされてきた。本研究では、通常の心臓カテーテル検査の際に、右室・右冠動脈同時造影法を用いて右室自由壁の描出を試み、右室心筋重量を測定し、これを核磁気共鳴検査結果と比較した。外来通院中のファロー四徴症術後患者10名、右心負荷の認められない川崎病患者18名を対象とした。右室・右冠動脈同時造影法と核磁気共鳴検査で求めた右室心筋重量は単相関係数 $r=0.92$ の正の相関を認めた。右室・右冠動脈同時造影法にて計測された右室心筋重量はファロー四徴症術後患者で $14.2\sim 100.4\text{g}$ 、川崎病患者で $10.3\sim 45.3\text{g}$ であり、 $p=0.0096$ の有意差を認めた。体表面積あたりの右室心筋重量はファロー四徴症術後患者で $33.7\sim 65.9\text{g}/\text{m}^2$ ($48.5\pm 3.4\text{SEM}$) に対し川崎病患者で $17.2\sim 28.3\text{g}/\text{m}^2$ (23.4 ± 0.9) であり、 $p<0.0001$ の有意差があった。以上より、この右室・右冠動脈同時造影法は、通常のカテーテル検査時に右室心筋重量をも同時に計測可能であり、先天性・後天性右心負荷疾患の診断に非常に有用であった。

Key words right ventricular mass, cardioangiography, right coronary angiography, magnetic resonance imaging (MRI)

緒 言

ヒトの心臓の重量は、生直後においては左室重量と右室重量は概ね等しいと言われている。生後3ヶ月までに心臓全体で重量は33%増加するが、最初の1ヶ月間に右室は萎縮し、逆に左室は成長を続ける。そして心筋重量の左室/右室比は、生後6ヵ月までにはほぼ成人の値に達するといわれている¹⁾。右室の壁厚は、ある種の先天性心疾患で増大する。後天的な疾患と異なり、先天性心疾患において右室の肥大や拡張が著明となるのは、生直後からの心負荷が心筋細胞の肥大と同時に心筋細胞数の増加をも引き起こすことと関係している²⁾。肺動脈狭窄症、心房中隔欠損症、ファロー四徴症などの先天性心疾患では圧負荷や容量負荷などの右室負荷を呈する疾患が多い。また、心室中隔欠損症や動脈管開存症などの左室容量負荷疾患においても左一右短絡量の増加に伴う肺高血圧症により右室圧負荷を合併する場合が少なくない。従って、右室機能の一つの指標として右室心筋重量の変化を知ることは、右心負荷を伴った先天性心疾患の経過を追う際や、治療効果判定の上で有用であると思われる。

これまで左室の容積、重量測定に関しては種々の方法が報告されており、左室容積と重量の両者ともほぼ臨床応用については確立されているといえる^{3)~14)}。一方、右室容積についての基礎および臨床研究の報告は少ないが、Reedyら¹⁵⁾の左室、右室同時造影から左室容積分を減ずる方法、右室の鋳型を作成し容積を求める方法¹⁶⁾、鋳型の容積とレントゲン写真を基に推定した右室容積とを比較する方法¹⁷⁾¹⁸⁾などの報告があり、このうちGrahamら¹⁸⁾はシンプソン法 (Simpson's rule method)、2腔法 (two-chamber method)、面積一長さ法 (area-length method) を比較し、シンプソン法でもっともよい結果を得たと報告している。しかし、心筋重量については、右室の形が複雑でモデル化しにくく、肉柱の発達のため計算が複雑になること、右室自由壁全体を描出できる検査法がなく、少数の地点での壁厚値で右室の全体を代表させざるを得なかったことなどの原因で、旧来の検査法での測定の報告や基礎的研究は限られていた^{19)~21)}。1990年Mackeyら²²⁾がMRIを使って成人を中心として右室心筋重量を評価し、以後、MRIが成人における右室心筋重量測定法としては標準的となってきている^{23)~25)}。しかしながら、小児における右室心筋重量の正常値や各種先天性心疾患における右

平成11年7月1日受付、平成11年8月25日受理

Abbreviations : BSA, body surface area; EDV, end diastolic volume; EF, ejection fraction; Fr, French size; LV, left ventricle; MCLS, mucocutaneous lymphnode syndrome; PSP, peak systolic pressure; RV, right ventricle; TE, time of echo; TOF, tetralogy of Fallot

Table 1. Background of patients with tetralogy of Fallot

Case number	BSA (m ²)	Age (years)		The content of the operation
		At the study	At the last op.	
1	0.35	0.4	0.2	l-BT ^{a)}
2	0.42	1.8	0.2	r-BT ^{b)}
3	0.73	7.3	6.5	Radical
4	1.03	8.0	2.8	Radical
5	1.42	14.3	3.6	Radical
6	1.44	18.8	4.8	Radical
7	1.50	16.3	4.8	Radical
8	1.57	15.9	2.6	Radical
9	1.57	14.9	5.0	W, l-BT ^{c)}
10	1.68	19.0	4.6	Radical
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	1.17 ± 0.16	11.7 ± 2.2	3.5 ± 0.7	

a) Left Blalock-Taussig operation. b) Right Blalock-Taussig operation. c) Patient received Waterston procedure when 0.2 years old and left Blalock-Taussig operation at 5 years old. BSA, body surface area; op, operation; Radical, radical operation.

Table 2. Background of patients with mucocutaneous lymphnode syndrome

Case number	BSA (m ²)	Age at the study (years)	Years after catching the disease (years)
11	0.56	2.5	0.8
12	0.60	3.3	2.8
13	0.64	4.2	1.1
14	0.70	4.8	1.9
15	0.73	4.4	1.8
16	0.81	6.3	4.9
17	0.82	6.8	4.6
18	0.95	8.4	5.7
19	1.25	12.4	9.4
20	1.31	11.6	6.2
21	1.43	13.1	10.5
22	1.50	11.5	10.1
23	1.50	15.8	13.4
24	1.69	15.6	10.0
25	1.70	16.4	15.8
26	1.70	15.9	13.0
27	1.74	15.9	14.9
28	1.78	15.3	13.1
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	1.19 ± 0.11	10.2 ± 1.2	7.8 ± 1.2

BSA, body surface area.

室心筋重量値に関する報告は今のところない。

本研究では右心負荷を伴う先天性心疾患を有する小児と右心負荷を伴わない川崎病既往児を対象に通常の心臓カテーテル検査の際に右室と右冠動脈の同時造影 (以下, 同時造影法) を行うことで右室自由壁全体の描出を試みた。この手技を用いて得られた画像に, シンプソン法を応用して右室重量を計算した。また, この方法の信頼性を見るためにMRIによる右室重量測定をほぼ同時期に施行し, その結果を比較検討した。

対象および方法

I. 対象

当科外来通院中のファロー四徴症短絡術後患者3名, 根治術後7名の10名 (男7名, 女3名, 0.4~19.0歳, 平均11.7歳), 正常対象として川崎病既往患者18名 (男13名, 女5名, 2.5~16.4歳, 平均10.2歳) 合計28名を対象とし通常的心臓カテーテル検査・心血管造影法に追加して同時造影法を行った。ファロー四徴症術後患者の背景は表1のとおりであった。短絡術後の2名は肺血流は比較的保たれ, 1名は肺血管の発育不良のため根治術の適応なく, 根治術後の7名では, 全例に肺動脈狭窄兼逆流, 三尖弁逆流が残存し特に1名では肺動脈逆流が重度であった。川崎病既往患者の背景は表2の通りで, 全例右冠動脈の高度な狭窄はなく, 右冠動脈の3mm以上の拡張があった場合^{99m}Tc-MIBI (methoxyisobutyl isonitrile, 第1ラジオアイソトープ研究所, 東京) を用いた心筋スキャンにて灌流欠損部 (perfusion defect) のない例を選択した。MRI検査は同時造影法を行った28名のうちファロー四徴症患者7名 (男5名, 女2名, 8.0~19.0歳, 平均15.3歳), 川崎病患者6名 (男3名, 女3名, 4.8~16.4歳, 平均13.3歳) の合計13名でおこなった。

II. 方法

1. 心臓カテーテル検査と心血管造影法および同時造影法

1) 心臓カテーテル挿入法および選択的心血管造影法

全例で右鼠径部において大腿静脈穿刺を行い5フレンチサイズ (French size, Fr) のイントロデューサーシース (メディキット スーパーシース, メディキット社, 東京) を経皮的に留置した。2方向シネアンギオ装置・カテーテルデータ処理装置 Bicolor-Hicor (Siemens, München, Germany) を使用し, 5Fr スワンガンツカテーテル (テルモTDカテーテル, テルモ社, 東京) を用いて下大静脈, 右房, 無名静脈, 上大静脈, 右室, 左右および主肺動脈において圧測定をおこなった。川崎病患者では熱希釈法 (thermodilution method) を用いて心拍出量を求めた。次に, 穿刺法により5Frのイントロデューサーシースを大腿動脈に経皮的に留置し, 下行大動脈, 上行大動脈および左室の圧を測定した。右-左または左-右短絡が存在する場合には



Fig. 1. Anteroposterior and lateral projection of right ventricle and right ventricular free wall by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography

圧測定に加え血液採取を行い血中酸素飽和度を測定した。次に左室造影，大動脈造影，右室造影および肺動脈造影を行った。

2) 同時造影法

同時造影法の際，右室造影には5Fr 側孔パーマンカテーテル (Berman JC305, Arrow International, Bernville Road, USA) を，右冠動脈造影には5Fr NCDC-R (Cook, Bloomington, USA) や Hanako-RC (ハナコメディカル，浦和) を使用した。右室造影時には造影剤1.0～1.5ml/kgを7.5～9m/秒で自動造影剤注入器MARK V (Medrad, Pittsburgh, USA) を用いて，右冠動脈造影は造影剤を手動的に約5～6mlを，ほぼ同時に注入した。正面像と側面像の2方向同時撮影をおこなった。(図1)

3) 右室容積，右室自由壁重量の計算

得られた画像で拡張終末期の正面，側面の右室像最外縁を手工的に透写し，右室造影像を10個の断面に分けシンプソン法を用いて右室容積を求めた。続いて側面像で，右室自由壁，下壁の最外縁を透写した。正面像では右室自由壁は左室壁との区別がつかず，透写できなかった。右室壁，内腔を含む外側の容積を新たに10個の断面に分けシンプソン法を用いて求めたが，前述の理由から正面像には同じ高さにおける側面像での右室壁厚を両側に加えた値を使用した。外側の容積から右室容積を減

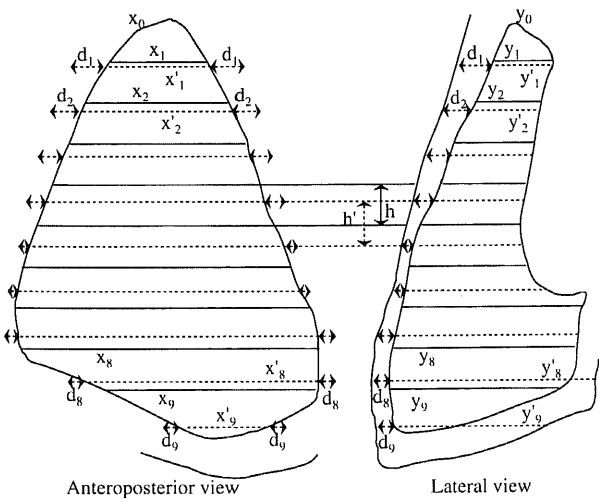


Fig. 2. Schematic diagram of anteroposterior and lateral view of right ventricle

Based on contour tracings of cardioangiographic films of the right ventricle in the diastole, the right ventricular volume and mass were calculated as follows;

- 1) divide RV images into 10 segments of width h;
- 2) segment volume = $\pi / 3 \times x_n \times y_n \times h$;
- 3) total chamber volume = $\pi h / 3 \{ 1/4 (x_0 y_0 + x_{10} y_{10}) + (x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_9 y_9) + 1/2 (x_2 y_2 + x_4 y_4 + \dots + x_8 y_8) \} \times 0.649$ (A);
- 4) divide RV external mass images into 10 segments of width h';
- 5) segment volume = $\pi / 3 \times (x'_n + 2d_n) \times (y'_n + d_n) \times h'$;
- 6) total external chamber volume = $\pi h' / 3 \{ [1/4 (x'_0 y'_0 + x'_{10} y'_{10}) + \{ (x'_1 + 2d_1) (y'_1 + d_1) + (x'_3 + 2d_3) (y'_3 + d_3) + \dots + (x'_9 + 2d_9) (y'_9 + d_9) \} + 1/2 \{ (x'_2 + 2d_2) (y'_2 + d_2) + (x'_4 + 2d_4) (y'_4 + d_4) + \dots + (x'_8 + 2d_8) (y'_8 + d_8) \}] \} \times 0.649$ (B);
- 7) RV mass = $1.05 \times \{(B)-(A)\}$

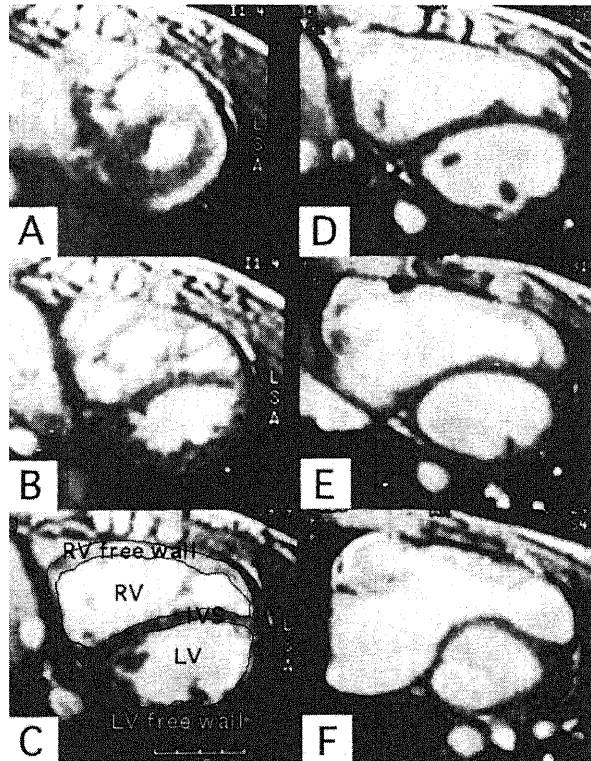


Fig. 3. Cross-sectional cardiac magnetic resonance images (MRI) in a patient with tetralogy of Fallot
IVS, interventricular septum; LV, left ventricle; RV, right ventricle

Diastolic short axis images of the heart from apex (A) to base (F) were obtained with cine MRI (A ~ F). Contour tracings of each slice of the heart were partitioned into 5 segments (C): left ventricular chamber, right ventricular chamber, left ventricular free wall, interventricular septum and right ventricular free wall.

じて右室自由壁の容積を算出し、心筋比重1.05を乗じて右室重量を求めた。また新たに引いたほうの計9本の水平線と右室自由壁の交点から右室内腔面へ垂線を引き右室壁の厚さを測定した。右室下壁は5等分し4本の垂線を右室内腔面へ引き右室壁の厚さを測定した。合計13カ所の右室壁厚のうち便宜的に上方2カ所を流出路 (outflow)、次の4カ所を自由壁 (free wall)、次の3カ所を心尖部 (apex)、下面の4カ所を下壁 (inferior) とし、

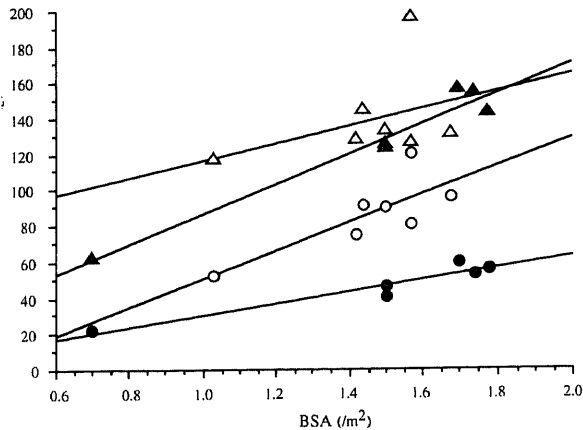


Fig. 4. Right and left ventricular mass measured by MRI TOF, tetralogy of Fallot; MCLS, mucocutaneous lymphnode syndrome
○, RV Mass of TOF (n=7) by MRI; ●, RV Mass of MCLS (n=6) by MRI; △, LV Mass of TOF by MRI; ▲, LV Mass of MCLS by MRI
Regression equations: RV Mass (MRI) = $-27.7 + 78.0 \times \text{BSA}$, $r=0.78$ (TOF); RV Mass (MRI) = $-1.46 + 32.1 \times \text{BSA}$, $r=0.95$ (MCLS); LV Mass (MRI) = $69.4 + 47.5 \times \text{BSA}$, $r=0.38$ (TOF); LV Mass (MRI) = $2.61 + 83.5 \times \text{BSA}$, $r=0.98$ (MCLS).

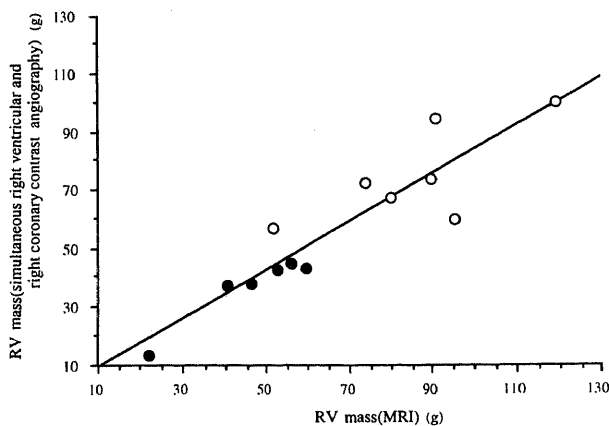


Fig. 5. Comparison of MRI and simultaneous right ventricular and right coronary contrast angiography
○, RV Mass of TOF (n=7); ●, RV Mass of MCLS (n=6)
Regression equations: RV Mass (cardioangiography) = $1.2 + 0.83 \times \text{RV Mass (MRI)}$, $r=0.92$ (TOF and MCLS); RV Mass (cardioangiography) = $25.5 + 0.58 \times \text{RV Mass (MRI)}$, $r=0.72$ (TOF); RV Mass (cardioangiography) = $-1.4 + 0.83 \times \text{RV Mass (MRI)}$, $r=0.95$ (MCLS).

各々の算術平均を求めた。計算が複雑となるためパーソナルコンピュータ Power Macintosh G3 (Apple computer inc., USA) にて表計算ソフト Microsoft Excel version 5.0b (Microsoft Corporation, USA) を用い計算した。(図2脚注参照)

4) 左室容積, 心筋重量の計算

左室容積はDodgeら³⁸⁾に従い, area-length法で計算した。左室心筋重量はRackleyら⁹⁾の方法によった。

2. MRI検査法

静磁場強度1.5テスラのMRI装置Signa Horizon (GE Medical System, Milwaukee, USA) で, グラディエントエコー (gradient echo) 法によりシネ (cine) MRI像を得た。撮影方法, 心筋重量測定方法はPattynamaら²³⁾, Dohertyら²⁴⁾, Katzら²⁵⁾の方法に従い以下のとおりおこなった。繰り返し時間 (time of repetition) 132ミリ秒, エコー時間 (time of echo, TE) 10~11ミリ秒, 遅延時間 (time of delay) はそれぞれ異なり, 画像上の拡張期終末時のものとした。撮像範囲径は24×24~30×30cm², マトリックスは256×128, スライス厚は10mmとした。心尖部から心基部まで左室短軸面をきり, 1患者につき7~12断面を得た。この各々について左室壁, 心室中隔, 右室壁, 左室内腔, 右室内腔の面積を求め, シンプソン法を用いて計算した左室心筋容積, 右室心筋容積に, 心筋比重1.05を乗じて左室重量, 右室重量を求めた。(図3)

Ⅲ. 統計学的検討

すべて統計値は平均値±SEMで表した。Abacus Concepts 社製 stat view J4.5を用いて, 基礎統計, 回帰直線の作成と相関係数の計算, 群間の検定をおこなった。MRI検査と同時造影法間の検定, 同一患者での左室と右室のデータ間の検定は対応ある2群間のt検定, ファロー四徴症術後群と川崎病群との検定はMann-Whitneyの検定にておこなった。危険率 (p) が5%未満をもって有意差ありとした。

成 績

I. MRI検査の成績

MRI検査で川崎病患者の右室重量は22.3~59.8g, ファロー

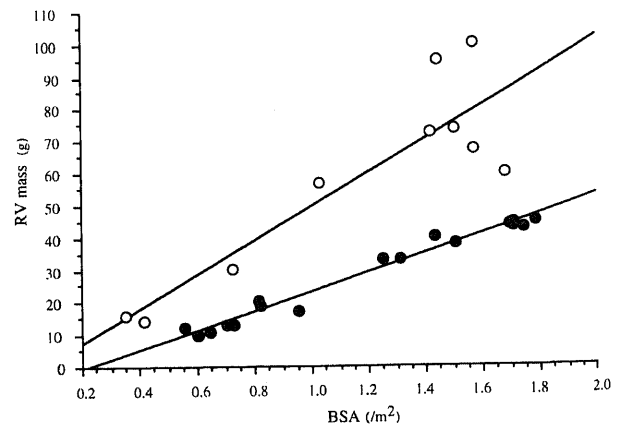


Fig. 6. Right ventricular mass estimated by simultaneous right ventricular and right coronary contrast angiography
○, RV Mass of TOF (n=10) by cardioangiography; ●, RV Mass of MCLS (n=18) by cardioangiography
Regression equations: RV Mass = $-3.3 + 53.0 \times \text{BSA}$, $r=0.88$ (TOF); RV Mass = $-6.5 + 29.9 \times \text{BSA}$, $r=0.99$ (MCLS).

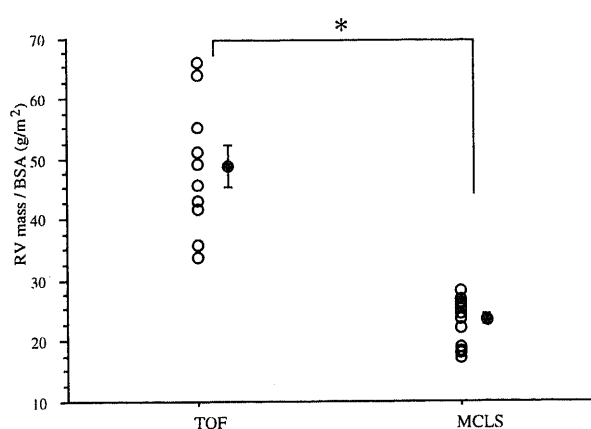


Fig. 7. Comparison of right ventricular mass in tetralogy of Fallot and MCLS

Open dots (○) represent right ventricular mass / BSA estimated by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography; closed dots (●) and bars represent $\bar{x} \pm \text{SEM}$. TOF group (n=10) versus MCLS group (n=18) compared and analysed by Mann-Whitney test.

*, p<0.0001

四徴症術後患者では51.9～119.5gであった。(図4) 文献的には正常右室重量は新生児から3歳の子供で4.7～14.1g, 成人で23～68gであり²²⁾²⁶⁾²⁷⁾, 我々の求めた川崎病患者の右室重量はほぼこれに一致していた。左室重量, 左室拡張末期容積, 右室拡張末期容積は, 従来の正常範囲と認められている値であり, このMRI検査が信頼に足るものと判断した。

II. MRI検査と同時造影法との比較

同時造影法とMRIで求めた右室心筋重量は単相関係数 $r=0.92$ の正の相関を認めた。同時造影法での右室重量はMRIのそれより小さかった ($p=0.005$)。 (図5) 川崎病患者での同時造影法とMRIの右室重量は $r=0.95$, 左室拡張末期容積は $r=0.99$, 右室拡張末期容積は $r=0.99$ の正の相関を認め, 同時造影法にてMRIとほぼ同等の結果が得られた (それぞれ $p=0.007, 0.69, 0.58$)。

III. 同時造影法の成績

1. 右室心筋重量

同時造影法にて, 右室心筋重量は, ファロー四徴症術後患者で14.2～100.4g (58.7 ± 9.5), 川崎病患者で10.3～45.3g ($29.0 \pm$

Table 3. Ventricular mass and right ventricular wall thickness of patients with tetralogy of Fallot measured by cardioangiography

Case number	LV mass (g)	LV mass index (g/m^2)	RV mass (g)	RV mass index (g/m^2)	RV wall thickness (mm)			
					Outflow	Free wall	Apex	Inferior
1	38.4	109.9	16.0	45.6	3.4	2.1	2.4	5.0
2	56.9	135.6	14.2	33.7	8.7	5.4	1.9	3.1
3	62.8	86.0	30.4	41.7	7.6	4.3	5.6	4.6
4	114.6	112.6	56.7	55.1	5.4	6.1	7.1	3.5
5	127.0	89.4	72.8	51.3	4.5	5.2	4.7	5.3
6	156.1	108.4	94.9	65.9	6.3	5.0	5.4	5.4
7	158.1	105.0	73.8	49.2	5.0	6.1	4.2	6.7
8	157.5	100.3	67.6	43.0	6.8	4.4	3.0	4.7
9	177.3	112.9	100.4	64.0	8.3	5.7	3.1	5.7
10	139.9	83.2	60.1	35.9	4.2	4.4	4.1	4.9
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	118.9 ± 15.6	104.3 ± 4.9	58.7 ± 9.5	48.5 ± 3.4	6.0 ± 0.6	4.9 ± 0.4	4.2 ± 0.5	4.9 ± 0.3

LV, left ventricle; RV, right ventricle; LV mass index, LV mass/body surface area; RV mass index, RV mass/body surface area.

Table 4. Ventricular mass and right ventricular wall thickness of patients with mucocutaneous lymphnode syndrome measured by cardioangiography

Case number	LV mass (g)	LV mass index (g/m^2)	RV mass (g)	RV mass index (g/m^2)	RV wall thickness (mm)			
					Outflow	Free wall	Apex	Inferior
11	72.3	129.1	12.4	22.1	1.8	3.3	4.9	3.9
12	42.4	70.6	10.3	17.2	1.1	1.2	1.1	3.2
13	39.0	61.0	11.1	17.3	2.2	1.9	2.5	2.8
14	61.1	87.3	13.4	19.1	2.5	2.8	1.6	2.9
15	69.0	94.6	13.3	18.2	1.9	1.7	2.2	2.8
16	71.8	88.7	20.5	25.3	3.3	2.5	3.7	4.8
17	94.7	115.5	19.3	23.5	3.5	2.4	2.0	2.9
18	86.8	91.4	17.4	18.4	2.4	1.8	1.1	2.8
19	111.6	89.3	33.5	26.8	5.2	3.8	2.1	5.8
20	120.0	92.4	33.6	25.6	3.3	3.0	2.3	3.8
21	137.3	96.0	40.5	28.3	4.4	4.5	2.9	5.7
22	131.9	88.0	38.1	25.4	1.4	3.1	2.2	3.9
23	168.7	112.5	38.4	25.6	4.6	2.8	2.9	4.2
24	173.0	102.4	44.2	26.1	4.7	5.4	3.6	5.2
25	151.5	89.1	43.7	25.7	5.2	3.4	1.3	6.6
26	154.8	90.5	44.4	25.9	4.0	4.9	2.4	4.9
27	143.2	82.3	42.8	24.6	5.5	3.7	3.8	7.2
28	191.0	109.2	45.3	25.5	3.2	2.1	2.9	3.9
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	112.2 ± 11.1	93.9 ± 3.7	29.0 ± 3.2	23.4 ± 0.9	3.3 ± 0.3	3.0 ± 0.3	2.5 ± 0.2	4.3 ± 0.3

LV, left ventricle; RV, right ventricle; LV mass index, LV mass/body surface area; RV mass index, RV mass/body surface area.

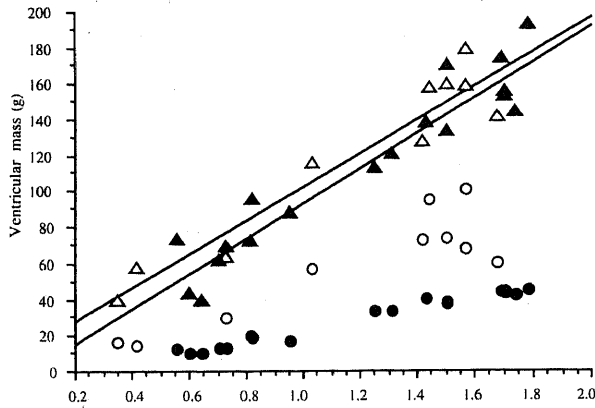


Fig. 8. Ventricular mass measured by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography ○, RV Mass of TOF (n=10) by cardioangiography; ●, RV Mass of MCLS (n=18) by cardioangiography; △, LV Mass of TOF by cardioangiography; ▲, LV Mass of MCLS by cardioangiography.
Regression equations: LV Mass = 9.5 + 93.4 × BSA, r=0.95(TOF); LV Mass = - 4.4 + 98.0 × BSA, r=0.95 (MCLS).

3.2), p=0.0096の有意差を認めた。(図6) 体表面積当たりの右室心筋重量はファロー四徴症術後患者で33.7~65.9g/m² (48.5±3.4) に対し川崎病患者で17.2~28.3g/m² (23.4±0.9) p<0.0001の有意差であった。(図7) (表3, 4)

2. 左室心筋重量

左室心筋重量はファロー四徴症術後患者で38.4~177.3g (118.9±15.6), 川崎病患者で39.0~191.0g (112.2±11.1) p=0.701, 体表面積当たりファロー四徴症術後患者83.2~135.6g/m² (104.3±4.9), 川崎病患者61.0~129.1g/m² (93.9±3.7) p=0.150で差がなかった。(図8)

3. 拡張末期容積 (表5, 6)

左室拡張末期容積はファロー四徴症術後患者では14.7~168.0ml (106.5±20.3), 川崎病患者31.4~194.0ml (103.3±13.0) でp=0.848と有意差はなかった。右室拡張末期容積はファロー四徴症術後患者で23.3~263.6ml (137.3±26.8), 川崎病患者で30.2~182.5ml (95.2±11.9), p=0.231であった。(図9) 川

Table 5. Results of cardiac catheterization of patients with tetralogy of Fallot

Case number	EDV		EF		PSP		PA-index
	LV	RV	LV	RV	LV	RV	
1	14.7	23.3	0.81	0.54	76	80	290
2	17.7	24.0	0.84	0.72	86	82	244
3	36.9	50.3	0.65	0.67	96	32	145
4	68.9	106.9	0.56	0.61	108	30	468
5	160.0	184.0	0.68	0.62	108	28	338
6	168.0	236.6	0.70	0.50	106	32	663
7	139.2	148.9	0.68	0.65	120	40	483
8	163.8	158.0	0.66	0.50	100	40	245
9	156.9	263.6	0.67	0.52	128	120	88
10	138.9	177.1	0.75	0.56	110	32	-a)
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	106.5 ± 20.3	137.3 ± 26.8	0.70 ± 0.03	0.59 ± 0.02	104 ± 5	52 ± 1	

a) Lack of data, EDV, end diastolic volume (ml); EF, ejection fraction; PSP; peak systolic pressure (mmHg); LV, left ventricle; PA, pulmonary artery; RV, right ventricle; PA-index, [right PA area+left PA area (m²)] /body surface area (m²). PA-index was calculated before their last operation, the other values were obtained during the study.

Table 6. Cardiac function of patients with mucocutaneous lymphnode syndrome

Case number	EDV		EF		PSP		Cardiac index
	LV	RV	LV	RV	LV	RV	
11	31.4	30.2	0.64	0.57	92	18	4.6
12	37.8	35.9	0.71	0.51	82	20	4.9
13	42.4	37.7	0.79	0.71	92	14	4.7
14	45.1	49.0	0.76	0.72	94	18	4.5
15	43.7	48.9	0.71	0.67	120	24	4.8
16	57.2	51.0	0.68	0.64	94	18	4.5
17	59.2	55.4	0.76	0.56	100	20	5.0
18	67.6	59.4	0.72	0.68	94	22	4.7
19	105.5	91.7	0.73	0.72	100	16	4.6
20	115.3	95.1	0.60	0.51	100	18	4.6
21	131.8	118.8	0.71	0.67	116	28	4.9
22	136.3	134.1	0.68	0.73	102	18	4.7
23	142.8	115.1	0.75	0.81	120	22	4.1
24	154.6	158.8	0.63	0.56	100	18	3.1
25	156.2	150.7	0.59	0.77	102	20	3.0
26	164.5	138.1	0.74	0.57	106	28	4.1
27	194.0	162.0	0.60	0.59	106	24	3.3
28	173.9	182.5	0.61	0.57	104	20	3.2
$\bar{x} \pm \text{SEM}$	103.3 ± 13.0	95.2 ± 11.9	0.69 ± 0.02	0.64 ± 0.02	101 ± 2	20 ± 1	4.3 ± 0.2

LV, left ventricle; RV, right ventricle; EDV, end diastolic volume (ml); EF, ejection fraction; PSP, peak systolic pressure (mmHg); cardiac index (l/min/m²), cardiac output (l/min)/body surface area (m²); Cardiac output was measured using thermodilution method.

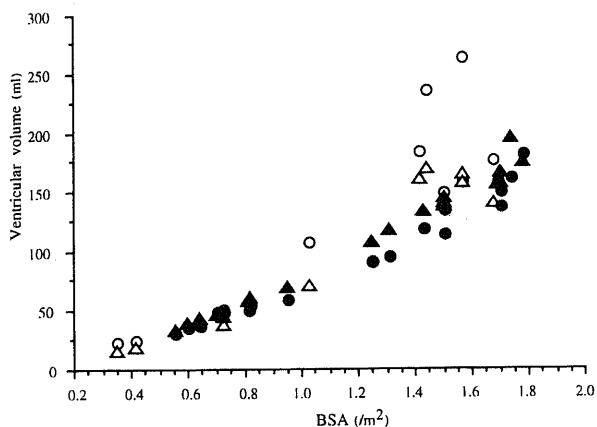


Fig. 9. Ventricular end diastolic volume measured by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography EDV, end diastolic volume; ○, RV EDV of TOF (n=10) by cardioangiography; ●, RV EDV of MCLS (n=18) by cardioangiography; △, LV EDV of TOF by cardioangiography; ▲, LV EDV of MCLS by cardioangiography
Regression equations: RV EDV = -39.2 + 150.7 × BSA, r=0.89 (TOF); RV EDV = -34.8 + 109.3 × BSA, r=0.98 (MCLS); LV EDV = -36.8 + 122.4 × BSA, r=0.96 (TOF); LV EDV = -39.0 + 119.7 × BSA, r=0.99 (MCLS).

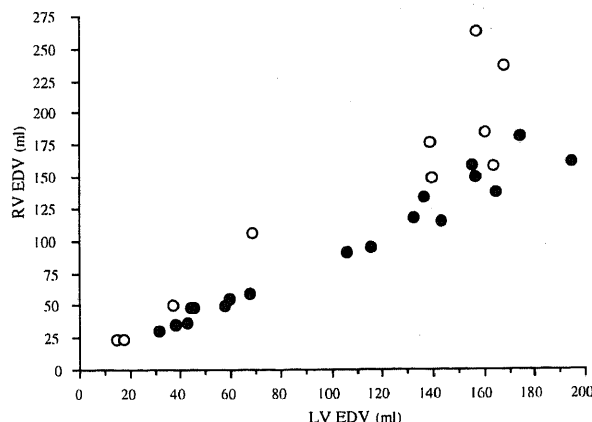


Fig. 10. Relationship between right and left ventricular end diastolic volume estimated by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography EDV, end diastolic volume; ○, ventricular volume of TOF (n=10) by cardioangiography; ●, ventricular volume of MCLS (n=18) by cardioangiography
Regression equations: RV EDV = 6.7 + 1.2 × LV EDV, r=0.93 (TOF); RV EDV = 2.2 + 0.90 × LV EDV, r=0.98 (MCLS)

Table 7. Normal right ventricular free wall weight in present series compared with that reported in previous studies

Author	Number of cases	Age (years)	Average weight (g)	Weight/BSA (g/m ²)
Fulton 1952 ²⁶⁾	43	(ave) 49	46.0	25.7
Kinare 1986 ²⁷⁾	25	18-65	34.1	20.0
Mackey 1990 ²²⁾	3	0-3	8.4	22.6
	8	17-77	56.3	28.9
Present series	18	2-16	29.0	23.4

BSA, body surface area; ave, average.
Mean values of right ventricular weight and weight/BSA were indicated.
When BSA was not written, it was expected using age and body weight.

崎病患者では左室容積は右室容積よりやや大きかった (p=0.011) が, ファロー四徴症術後患者では右室容積が左室よりやや大きかった (p=0.019). (図10)

考 察

I. MRI 検査等従来の方法での右室容積, 心筋重量測定

右室容積の測定方法としては, 右室造影で3つの方法を比較したGrahamら¹⁸⁾以来, シンプソン法が使われることが多い。また, MRIでもシンプソン法を応用する方法²³⁾²⁴⁾等で計測されており, 右室鑄型の実測や剖検所見と良い相関を呈していた。

右室重量の測定は従来より右室の形態が複雑であること, 右室の壁全体を描出できる検査法がなかったことなどの困難があり, MRI検査導入以前ではArcillaら¹⁹⁾の右室造影と心エコー検査を組み合わせる方法しかなかった。心, 血管系MRI検査は1982年頃から実験的に施行され始めた^{28)~31)}。形態診断については, 1985年Higginsら³¹⁾, 1986年Didierら³²⁾は先天性

心疾患患者などで心電図同期 (ECG gated) MRI検査をおこない, ファロー四徴症などでも右心系の拡張や肥大が明瞭に描出可能であったとした。心筋重量に関しては, 1986年Florentineら³³⁾, 1987年Maddahiら³⁴⁾は実験動物を用いたMRIでの左室重量測定結果が実測とr=0.95, r=0.996と良い相関を認めたとし, 以後左室重量測定においてもMRI検査が一般的となった。右室については, 1988年Suzukiら³⁵⁾がMRI検査で肥大型心筋症患者の右室壁を明瞭に区別できたとし, 右室重量は1990年からMRI検査で求められるようになってきている²²⁾。MRIは空間分解能に優れ, 死角がなく非侵襲的である。また心電図同期法を使いグラディエントエコー法によりシネMRI撮影を行い, 心周期の同定も可能となった。MRI撮像上のパラメーターに関して, スピンエコー (spin echo) 法 (TE 34ミリ秒) によるSuzukiら³⁵⁾の報告では右室自由壁が明確な画像として得られたのは68%と不満足なものであったが, Dohertyら²⁴⁾はシネMRI, TE 5ミリ秒で明確な右室壁が描出可能であったとし, 今回の著者

の測定ではTE 10～11ミリ秒とした。また、断面厚に関して、1987年 Maddahiら³⁴⁾は犬の左室重量での部分容積効果 (partial volume effect) を検討し、これを受けて Mackeyら²²⁾は部分容積効果を最も少なくするために、断面厚を3mmとしている。しかし、断面厚を小さくすると撮影断面数が多くなり、長い撮影時間を要し実際的ではない。そのうえ面積を求める際に透写に手間がかかり煩雑である。このため著者は Pattynamaら²³⁾、Dohertyら²⁴⁾にならい断面厚を10mmとした。最近 Denslowら³⁶⁾が2断面シネMRI画像にて楕円体殻模型 (ellipsoidal shell model) 法という簡便な計算方法を考案した。これにより右室容積を求めると、右室造影法によるものと $r=0.93\sim 0.98$ との相関を認め、シンプソン法などこれまでの多断面 (multislice) 法と遜色がないと報告しており、より迅速なデータ分析の可能性の点で興味深いところである。

MRI検査の短所としては、右室の心尖部 (左室の心尖部と区別しにくい)、右室下壁 (肝とのシグナルの差が小さい)、肺動脈弁・三尖弁領域が判別の困難な症例があること²⁴⁾、撮影に30～60分の時間がかかり、その間深い鎮静が必要なため、幼少児ではおこなにくいこと、肺性心など病的な心臓では右室壁を区別できる画像が得られない場合があること²³⁾、Higginsら³¹⁾の報告によると1.8%認められた閉所恐怖症の問題などがある。

MRIと同様に断面図を得られる電子ビームCT法が近年実用可能となり、心室重量測定に応用され始めた^{37)～40)}。しかし、MRIでの正常値に比し電子ビームCTは右室重量を過大評価し、この理由については不明とされている⁴⁰⁾。

心エコー検査では²⁰⁾²¹⁾音響窓 (acoustical window) が不適切なため分解能が低く、右室自由壁の限定された部分の厚さのみ計測が可能で右室重量の評価に対しては微力である。近年、3次元心エコー法 (three dimensional echocardiography)^{41)～43)}が開発され、これによる右室容積、重量計測の報告も散見されるようになった。右室容積については経胸壁の測定が可能となり⁴³⁾今後の普及も期待されるが、右室心筋重量については実験動物で開心術下での手技となり臨床的応用にはまだ遠いと思われる⁴²⁾。

II. 同時造影法での右室心筋重量測定法

2方向心血管造影法での右室壁評価は左室壁と重なるため困難であると考えられてきた。Arcillaら¹⁹⁾は右室を平行6面体に見なす方法を考案し、右室造影法に心エコー法で計測した右室壁厚をあわせて右室重量を試算し、右心系疾患のない小児17名 (1-16才) で体表面積あたりの右室重量 $44.5\text{g}/\text{m}^2 \pm 1.16$ 、左室重量 $78.1\text{g}/\text{m}^2 \pm 1.89$ としているが、右室容積測定法がGrahamら¹⁸⁾のシンプソン法の相関係数に劣った。また技術的な問題点として、右室壁を心エコーでの1地点のみで評価し複雑な右室の重量測定を試みたため右室重量、右室/左室重量比も実際知られた値¹²⁾²⁶⁾²⁷⁾よりも大きく、Arcillaらの方法は普及しなかった。このように旧来の方法では右室重量の正確な値は不明な点が多かった。1990年代に入ってからMRI検査でようやく測定可能となったが、今回の同時造影法では実際の右室自由壁を同定可能であった。これを用いシンプソン法を応用して右室重量を求めた。同時造影法による右室重量はMRIによるものと良い相関を認め、川崎病患者では $r=0.95$ であった。今回得られた結果と、従来知られている右室重量とを比較したところほぼ同等の値であった。(表7) ファロー四徴症術後患者では右室重量、右室容積がMRI検査で測定された値よりも若干大

きく、右心負荷の病的な心臓における同時造影法ではMRI検査よりも右室重量を過大評価する可能性があるが、同時造影法とMRI検査法のどちらが現実の右室重量により近いのかは報告もなく不明である。

同時造影法で求めた左右心室指標をファロー四徴症術後患者と川崎病患者とで比較した。右室重量はファロー四徴症術後患者では川崎病患者よりも有意に高値であったが、左室重量、左室拡張末期容積、右室拡張末期容積では有意差はなかった。ただし川崎病患者で左室容積が右室容積よりも有意に大きかったが、ファロー四徴症術後患者では右室の方が有意に大きかった。今回のファロー四徴症術後患者は肺血流の保たれている症例で、肺動脈逆流や三尖弁逆流のため右室容量負荷のかかっている患者であったため、このような結果になったものと考えられる。

個々の症例を検討すると、体表面積のほぼ等しい症例3 (ファロー四徴症) と症例14, 15 (川崎病) は右室拡張末期容積もさほど違いがないが、症例3では右室壁厚が明らかに厚く、結果として右室重量も高値となっていた。症例5, 6 (ファロー四徴症) と症例21 (川崎病) では右室壁厚の差は小さかったが、右室拡張末期容積がファロー四徴症例では大きく、このため右室重量はファロー四徴症例で著明に高値となっていた。右室壁厚の増加によっても右室容積の増加によっても、右室重量の増大が起こってくるのがこの結果からも説明される。川崎病患者では右室の壁厚はどの部位でも比較的一定していたが、ファロー四徴症患者では右室流出路の壁厚の増大が目立った所見であった。

心血管造影法は直接的、直観的検査法として現在でも最も情報量の多い検査法であり広く普及している。X線被曝、造影剤使用の侵襲的な検査であるが、形態的診断の精度や各部位での圧測定、酸素飽和度測定の必要性などからファロー四徴症患者には経過中必ずといっていい程施行されている。同時造影法はこの際に、これまでMRI検査に頼らざるを得なかった右室重量をも計測できるという長所がある。いままでも正常小児での右室心筋重量についての報告が少なく、まして先天性心疾患の患者の右室心筋重量についてはほとんど報告がなかった。今後いろいろな先天性心疾患患者の右室重量やその経時的変化をこの方法で見えていくことが可能と考えられ、非常に有用であると思われた。また右室自由壁の描出が可能であるため、各疾患での右室肥大の部位的特性を調べたり、右室の壁応力を推定したりするなど発展的検討のできる可能性がある。短所としては同時造影時に手技的に慣れが必要であること、全症例での右室自由壁の描出が可能なのではなく、冠動脈からの造影剤の浸透が悪い例や、単一冠動脈など冠動脈の走行異常がある例では行ないにくいこと、心臓の位置異常があった場合、側面像で確認できる右室自由壁が真の右室自由壁でなく、それを斜めに投影している可能性があることなどが考えられる。近年外科的治療の進歩に伴い、剖検症例が少なくなっているが、さらにデータを蓄積し検討していくことが必要であると考えられる。

結 論

ファロー四徴症術後患者10名、川崎病患者18名で同時造影法を行い右室重量を測定した。

1. 同時造影法による右室重量はMRI検査によるものと $r=0.92$ の良い相関が得られた。
2. 体表面積あたりの右室心筋重量はファロー四徴症術後患

者で $33.7 \sim 65.9 \text{g/m}^2$ (48.5 ± 3.4) に対し川崎病患者で $17.2 \sim 28.3 \text{g/m}^2$ (23.4 ± 0.9) $p < 0.0001$ の有意差であった。

3. これまで小児での右室心筋重量正常値や、先天性心疾患患者の右室心筋重量に関する報告はほとんどなかった。同時造影法は通常のカテーテル検査の際に、これまでMRI検査に頼らざるを得なかった右室重量をも計測できるという長所がある。これにより、今後いろいろな先天性心疾患患者の右室重量やその経時的変化をこの方法で見えていくことができ、右室心筋重量の増大が予測される心疾患での応用が期待される。また右室自由壁の描出が可能であるため各疾患での右室肥大の部位や右室の壁応力測定などに応用が考えられ、本法は非常に有用であると思われた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご指導とご校閲を賜りました小泉晶一教授に深甚なる謝意を表します。また、終始直接ご指導、ご助言を戴きました谷口昌史前講師(現恵愛病院小児科医長)に心から深謝いたします。同時にご指導、ご協力をいただきました当教室循環器グループの諸先生方に深く感謝の意を表します。MRI検査等にご指導、ご協力をいただきました本学放射線医学講座角谷真澄講師、植田文明先生に厚く御礼申し上げます。

- 1) Rowlatt UF, Rimoldi HJA, Lev M. The quantitative anatomy of the normal child's heart. *Pediatr Clin North Am* 10: 499-588, 1963
- 2) Grant RP. Architectonics of the heart. *Am Heart J* 46: 405-31, 1953
- 3) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD Jr. The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J* 60: 762-76, 1960
- 4) Chapman CB, Baker O, Reynolds J, Bonte FJ. Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation* 18: 1105-17, 1958
- 5) Rackley CE, Dodge HT, Coble YD Jr, Hay RE. A method for determining left ventricular mass in man. *Circulation* 29: 666-71, 1964
- 6) Miller GAH, Kirklin JW, Rahimtoola SH, Swan HJC. Volume of the left ventricle in tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol* 16: 488-93, 1965
- 7) Bunnell IL, Grant C, Greene DG. Left ventricular function derived from the pressure-volume diagram. *Am J Med* 39: 881-94, 1965
- 8) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, Hawley RR. Usefulness and limitations of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Am J Cardiol* 18: 10-24, 1966
- 9) Kennedy JW, Baxley WA, Figley MM, Dodge HT, Blackmon JR. Quantitative angiocardiology. 1 The normal left ventricle in man. *Circulation* 34: 272-8, 1966
- 10) Rackley CE, Behar VS, Whalen RE, McIntosh HD. Biplane cineangiographic determinations of left ventricular function. Pressure-volume relationships. *Am Heart J* 74: 766-79, 1967
- 11) Jarmakani MM, Edwards SB, Spach MS, Canent RV Jr, Capp MP, Hagan MJ, Barr RC, Jain V. Left ventricular pressure-volume characteristics in congenital heart disease. *Circulation* 37: 879-89, 1968
- 12) Graham TP Jr, Jarmakani MM, Canent RV Jr, Capp MP,

Spach MS. Characterization of left heart volumes and mass in normal children and in infants with intrinsic myocardial disease. *Circulation* 38: 826-37, 1968

- 13) Graham TP Jr, Lewis BW, Jarmakani MM, Canent RV Jr, Capp MP. Left heart volume and mass quantification in children with left ventricular pressure overload. *Circulation* 41: 203-12, 1970
- 14) Hugenholtz PG, Ellison RC, Urschel CW, Mirsky I, Sonnenblick EH. Myocardial force-velocity relationships in clinical heart disease. *Circulation* 41: 191-202, 1970
- 15) Reedy T, Chapman CB. Measurement of right ventricular volume by cineangiography. *Am Heart J* 66: 221-5, 1963
- 16) Carlsson E. Angiocardiographic measurements of the cardiac ventricles in dogs. *Acta Radiol Diagn* 4: 671-81, 1966
- 17) Arcilla RA, Tsai P, Thilenius O, Ranniger K. Angiographic method for volume estimation of right and left ventricles. *Chest* 60: 446-54, 1971
- 18) Graham TP Jr, Jarmakani JM, Atwood GF, Canent RV Jr. Right ventricular volume determinations in children. normal values and observations with volume or pressure overload. *Circulation* 47: 144-53, 1973
- 19) Arcilla RA, Mathew R, Sodt P, Lester L, Cahill N, Thilenius OG. Right ventricular mass estimation by angiochocardiography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 2: 125-36, 1976
- 20) Prakash R. Determination of right ventricular wall thickness in systole and diastole. echocardiographic and necropsy correlation in 32 patients. *Br Heart J* 40: 1257-61, 1978
- 21) Baker BJ, Scovil JA, Kane JJ, Murphy ML. Echocardiographic detection of right ventricular hypertrophy. *Am Heart J* 105: 611-4, 1983
- 22) Mackey ES, Sandler MP, Campbell RM, Graham TP Jr, Atkinson JB, Price R, Moreau GA. Right ventricular myocardial mass quantification with magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 65: 529-32, 1990
- 23) Pattynama PM, Willems LN, Smit AH, van der Wall EE, de Roos A. Early diagnosis of cor pulmonale with MR Imaging of the right ventricle. *Radiology* 182: 375-9, 1992
- 24) Doherty NE, Fujita N, Caputo GR, Higgins CB. Measurement of right ventricular mass in normal and dilated cardiomyopathic ventricles using cine magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 69: 1223-8, 1992
- 25) Katz J, Whang J, Boxt LM, Barst RJ. Estimation of right ventricular mass in normal subjects and in patients with primary pulmonary hypertension by nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 21: 1475-81, 1993
- 26) Fulton RM, Hutchinson EC, Jones AM. Ventricular weight in cardiac hypertrophy. *Br Heart J* 14: 413-20, 1952
- 27) Kinare GS, Kulkarni LH. A note on the normal measurements of the heart. *Indian Heart J* 38: 215-8, 1986
- 28) Alfiidi RJ, Haaga JR, El Yousef SJ, Bryan PJ, Fletcher BD, LiPuma JP, Morrison SC, Kaufman B, Richey JB, Hinshaw WS, Kramer DM, Yeung HN, Cohen AM, Butler HE, Ament AE, Lieberman JM. Preliminary experimental results in humans and animals with a superconducting, whole-body, nuclear magnetic

- resonance scanner. *Radiology* 143: 175-81, 1982
- 29) Herfkens RJ, Higgins CB, Hricak H, Lipton MJ, Crooks LE, Lanzer P, Botvinick E, Brundage B, Sheldon PE, Kaufman L. Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: normal and pathologic findings. *Radiology* 147: 749-59, 1983
- 30) Dinsmore RE, Wismer GL, Levine RA, Okada RD, Brady TJ. Magnetic resonance imaging of the heart: positioning and gradient angle selection for optimal imaging planes. *AJR* 143: 1135-42, 1984
- 31) Higgins CB, Byrd BF, McNamara MT, Lanzer P, Lipton MJ, Botvinick E, Schiller NB, Crooks LE, Kaufman L. Magnetic resonance imaging of the heart: a review of the experience in 172 subjects. *Radiology* 155: 671-9, 1985
- 32) Didier D, Higgins CB, Fisher MR, Osaki L, Silverman NH, Cheitlin MD. Congenital heart disease: gated MR imaging in 72 patients. *Radiology* 158: 227-35, 1986
- 33) Florentine MS, Grosskreutz CL, Chang W, Hartnett JA, Dunn VD, Ehrhardt JC, Fleagle SR, Collins SM, Marcus ML, Skorton DJ. Measurement of left ventricular mass in vivo using gated nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 8: 107-12, 1986
- 34) Maddahi J, Crues J, Berman DS, Mericle J, Becerra A, Garcia EV, Henderson R, Bradley W. Noninvasive quantification of left ventricular myocardial mass by gated proton nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 10: 682-92, 1987
- 35) Suzuki J, Sakamoto T, Takenaka K, Kawakubo K, Amano K, Takahashi H, Hasegawa I, Shiota T, Hada Y, Sugimoto T, Nishikawa J. Assessment of the thickness of the right ventricular free wall by magnetic resonance imaging in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Br Heart J* 60: 440-5, 1988
- 36) Denslow S, Wiles HB, McKellar LF, Wright NA, Gillette PC. Right ventricular volume estimation with an ellipsoidal shell model and two-plane magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 129: 782-90, 1995
- 37) Feiring AJ, Rumberger JA, Reiter SJ, Skorton DJ, Collins SM, Lipton MJ, Higgins CB, Ell S, Marcus ML. Determination of left ventricular mass in dogs with rapid-acquisition cardiac computed tomographic scanning. *Circulation* 72: 1355-64, 1985
- 38) Hajduczok ZD, Weiss RM, Stanford W, Marcus ML. Determination of right ventricular mass in humans and dogs with ultrafast cardiac computed tomography. *Circulation* 82: 202-12, 1990
- 39) Cutrone JA, Georgiou D, Khan SU, Pollack A, Laks MM, Brundage BH. Right ventricular mass measurement by electron beam computed tomography. *Invest Radiol* 30: 64-8, 1995
- 40) Cutrone JA, Georgiou D, Khan S, Fischer H, Belardinelli R, Laks MM, Brundage B. Comparison of electron beam computed tomography scanning and magnetic resonance imaging quantification of right ventricular mass: validation with autopsy weights. *Acad Radiol* 3: 395-400, 1996
- 41) Jiang L, Siu SC, Handschumacher MD, Guerro JL, de Prada JAV, King ME, Picard MH, Weyman AE, Levine RA. Three-dimensional echocardiography: in vivo validation for right ventricular volume and function. *Circulation* 89: 2342-50, 1994
- 42) Jiang L, de Prada JAV, Handschumacher MD, Guerro JL, Vlahakes GJ, King ME, Weyman AE, Levine RA. Three-dimensional echocardiography: in vivo validation for right ventricular free wall mass as an index of hypertrophy. *J Am Coll Cardiol* 23: 1715-22, 1994
- 43) Ota T, Fleishman CE, Strub M, Stetten G, Ohazama CJ, von Ramm OT, Kisslo J. Real-time, three-dimensional echocardiography: feasibility of dynamic right ventricular volume measurement with saline contrast. *Am Heart J* 137: 958-66, 1999

Simultaneous Right Ventricular and Right Coronary Contrast Cardioangiographic Method for Estimation of Right Ventricular Mass : Usefulness of this Estimation for Patients with Tetralogy of Fallot Harue Tsuji, Department of Pediatrics, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920-8640 — J. Juzen Med Soc., **108**, 475 — 485 (1999)

Key words right ventricular mass, cardioangiography, right coronary angiography, magnetic resonance imaging (MRI)

Abstract

In the clinical course of congenital heart diseases such as the tetralogy of Fallot, such symptoms as right ventricular pressure and/or volume overload are usually seen. Likewise, in diseases such as ventricular septal defects and patent ductus arteriosus which cause left ventricular volume overloads, an increase in left to right shunting causes pulmonary hypertension with the added complication of right ventricular pressure overload also likely. The ability to estimate alterations in the right ventricular mass should prove helpful for following up patients suffering from congenital heart disease, and for judging the effectiveness of treatment. Cardioangiography has gained in popularity as a method which yields direct as well as intuitive information. In spite of its invasive nature, this method is routinely used for patients with congenital heart disease because it allows an exact morphologic diagnosis, and obtains pressure and oxygen saturation measurements from both chambers. However, it is difficult to quantify the right ventricular mass by means of cardioangiography. This study evaluated a new cardioangiographic method for estimating right ventricular mass in vivo. We visualized the right ventricular free wall by simultaneous right ventricular and right coronary contrast cardioangiography using ordinary cardiac catheterizations in 10 patients with tetralogy of Fallot and 18 patients with mucocutaneous lymphnode syndrome. We then estimated the right ventricular mass, and compared the results with those obtained with magnetic resonance imaging. Right ventricular mass estimated by means of simultaneous cardioangiography showed close agreement ($r=0.92$) with that obtained with magnetic resonance imaging. The right ventricular mass as established by simultaneous cardioangiography ranged from 14.2 to 100.4 g in patients with tetralogy of Fallot versus from 10.3 to 45.3 g in patients with mucocutaneous lymphnode syndrome ($p=0.0096$). The range of right ventricular mass index (right ventricular mass / body surface area) was $33.7 \sim 65.9 \text{ g/m}^2$ ($48.5 \pm 3.4 \text{ SEM}$) in patients with tetralogy of Fallot versus $17.2 \sim 28.3 \text{ g/m}^2$ (23.4 ± 0.9) in patients with mucocutaneous lymphnode syndrome, a significant difference ($p=0.0001$). Since our simultaneous cardioangiography method enables us to estimate right ventricular mass during ordinary cardiac catheterization, we consider this method is very promising for studies of congenital heart diseases.