

## CMR における左室短軸像を用いた右室機能評価の 再現性向上に関する検討—右室長軸像参照法—

松 芳 圭 吾<sup>1</sup>, 寺 田 理 希<sup>1</sup>, 山 田 英 司<sup>1</sup>, 吉 原 修<sup>2</sup>,  
大 杉 正 典<sup>1</sup>, 大 坪 健 一<sup>1</sup>, 安 澤 千 奈<sup>1</sup>, 富 田 雄 平<sup>3</sup>

<sup>1</sup>磐田市立総合病院第 1 放射線診断技術科 <sup>2</sup>同放射線診断科 <sup>3</sup>同第 2 放射線診断技術科

### はじめに

右室機能の評価は、右心カテーテル検査による肺動脈圧や肺血流量の測定により行うことが一般的であるが、カテーテル検査は侵襲性が高い。また、心エコーにおいても様々な右心機能指標が提唱されているが、測定画像により過大および過小評価することに注意が必要で、右心機能評価として十分に確立されていないのが現状である<sup>1</sup>。その点、MRI は非侵襲的であり、また任意に断面を設定できるため、右室機能の評価に有用だと考えられている。しかし、CMR (cardiovascular magnetic resonance) での右室容積の計測には難題が多く、当院でも解析者間の解析結果のバラつきが大きいという問題がある<sup>2)~6)</sup>。2013 年に改訂された SCMR imaging protocol (心臓 MRI 検査標準化プロトコル) における右室の形態・機能に関する項目には、“右室容積計測は体軸横断像を用いること”および“右室短軸像は左室短軸像と同様に得られること、また、右室容積計測に短軸像を用いる際の注意点”が記載されている<sup>7)</sup>。体軸横断像を用いる方法が推奨されているものの、追加撮像による検査時間の延長・患者への負担、横隔膜上のパーシャルボ

リュームによる境界不明瞭、肺動脈弁の同定困難という問題点がある。また、体軸横断像と左室短軸像で、異なる断面による右室および左室機能評価の精度に関する論文が 2013 年に報告されており、断面による機能評価の精度に有意に差はないとされている<sup>8)</sup>。当院では、追加撮像の必要ない左室短軸像にて右室機能評価を行っているが、左室短軸像では三尖弁や肺動脈弁の位置が不明瞭であり、右室範囲の規定が難しく、解析結果にバラつきがみられる<sup>9)</sup>。今回我々は右室長軸像を、三尖弁および肺動脈弁の認識できる各 1 断面を追加撮影することで、解析者間の結果の差が減少するか検討したので報告する。

### 対象および方法

#### 1. 対象

当院の倫理委員会で承認が得られ、本研究の趣旨を説明し、同意の得られた健常ボランティア 4 名 [すべて男性 27 ± 2 歳, BSA (body surface area) : 1.77 ± 0.11] を被験者とした。

#### 2. 使用機器と撮像条件

機種は GE 社製 Signa HDxt1.5T で、8ch body array coil (upper) を使用した。撮像プロ

キーワード cardiovascular magnetic resonance (CMR), right ventricular ejection fraction (RVEF), cine MRI, RV long-axis view

トコルは以下のとおりである. 2D FIESTA (fast imaging employing steady-state acquisition) 法, TR /TE 3.8/1.2 ms, FA 60°, FOV 36×36 cm, scan matrix 224×224, slice thickness 10 mm (gapless), Cardiac Gating, # of Card. Phase of Reconstruct 20, view per segment 16, ZIP512. 解析ソフトは Report CARD (Advantage Windows Workstation)を用いた.

### 3. 方法

右室長軸像は, 冠状断像において三尖弁上縁と心尖を結んで決定した平面に平行な断面と定義した<sup>10)</sup> (三尖弁および肺動脈弁に対して垂直に近い平面) (Fig. 1).

ルーチン検査で撮像される左室短軸像・左室長軸像・四腔断層像に, 右室長軸像を加えた4断面で Cine MRI を撮像し, 得られた画像を用

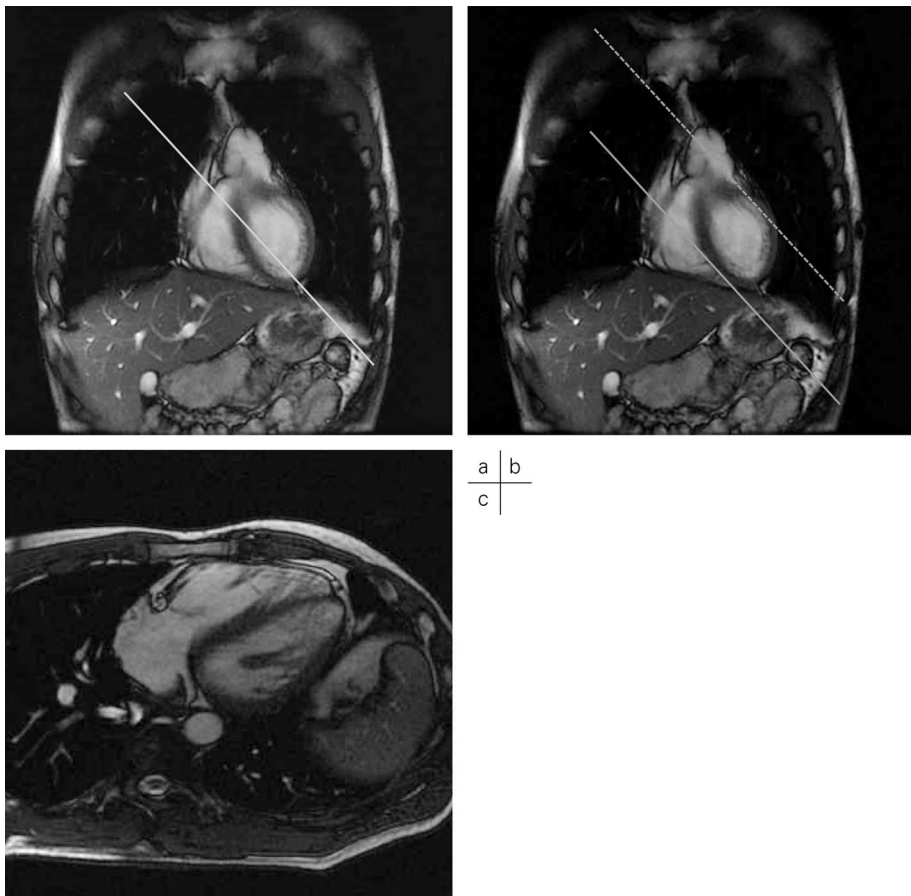


Fig. 1. Coronal images of chest. (a) RV long-axis view is defined as the line via upper of the tricuspid valve and apex. (b) The line (—) is reference line of RV long-axis view on the tricuspid valve. The line (···) is reference line of RV long-axis view on the pulmonary valve. (c) The image is RV long-axis view on the tricuspid valve.

いて5名（放射線診断科医1名・診療放射線技師4名）により右室機能解析を行った。はじめに、従来通り左室長軸像と四腔断層像を参考にし、左室短軸像をトレースすることで、右室機能評価を行った（method a）。次に、左室短軸像でトレースする際に、左室長軸像と四腔断層像に加えて右室長軸像を参考に用いて右室機能評価を行った。具体的には、拡張末期・収縮末期の右室長軸像上に左室短軸像のリファレンスラインを表示し、左室短軸像でのトレース範囲を決定する（method b）。右室長軸像上で

の三尖弁決定方法（Fig. 2）および、短軸像でのトレース方法を示す（Fig. 3）。二つの方法で求めた結果を、平均値および標準偏差について比較検討した。右室機能評価としての項目は、RVEDV（右室拡張末期容量）、RVESV（右室収縮末期容量）、RVSV（右室一回拍出量）、RVEF（右室駆出率）とした。

## 結 果

従来の方法（method a）と右室長軸像を参

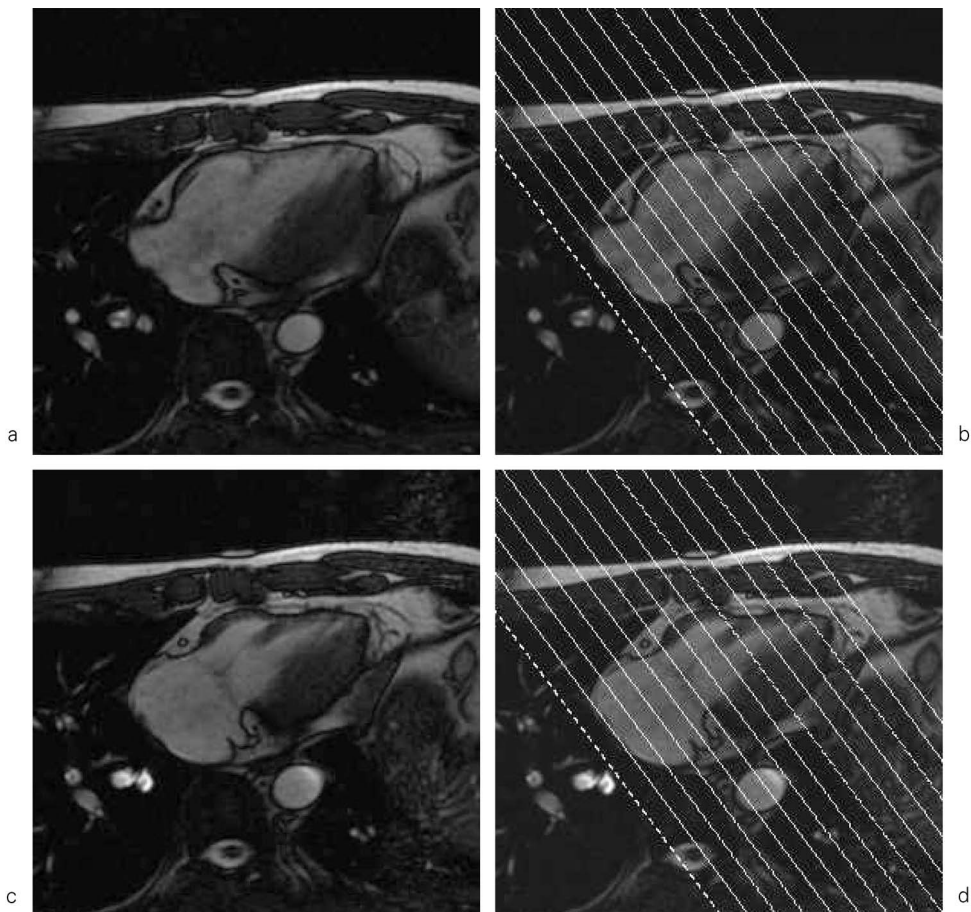


Fig. 2. RV long-axis views. (a) The end-diastolic image. (b) The reference lines on the end-diastolic image. (c) The end-systolic image. (d) The reference lines on the end-systolic image. Tricuspid valve exists on 4th or 6th reference line.

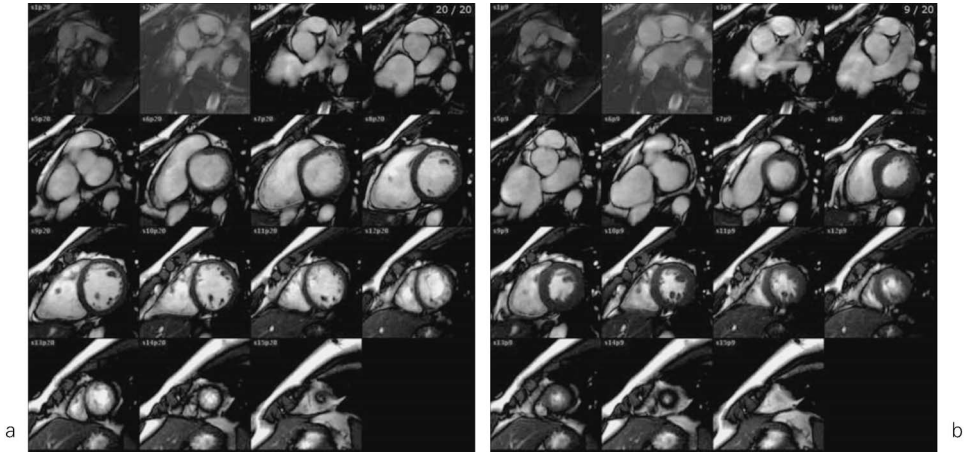


Fig. 3. LV short-axis views. The volume of RV is traced on these images.  
(a) end-diastolic images (b) end-systolic images

照した方法 (method b) におけるそれぞれの結果を示す (Table).

(1) RVEDV

従来の方​​法に対して、平均値に差はなかったが (0.93~1.04 倍), SD (標準偏差) については全ての被験者で減少した (0.53~0.74 倍).

(2) RVESV

従来の方​​法に対して、平均値では 0.79~0.93 倍, SD では 0.39~0.63 倍となり、全ての値が減少した.

(3) RVSV

従来の方​​法に対して、平均値では 1.11~1.24 倍と増大し, SD は 0.23~1.18 倍となった.

(4) RVEF

従来の方​​法に対して、平均値は 1.12~1.23 倍と増大し, SD は 0.34~0.82 倍と減少した.

考 察

実測する RVEDV および RVESV において、全ての被験者で SD が従来法に比べて減少した. 要因として、ルーチン検査のみによる解析では不明瞭であった三尖弁・肺動脈弁が、右

室長軸像を参照することで明瞭化でき、右室範囲の規定が明確となったことが考えられる. 左室長軸像では、撮像範囲内に三尖弁および肺動脈弁を認識することはできない. 四腔断層像では撮像範囲内に肺動脈弁は認識できないが、三尖弁は認識することはできる. しかし、三尖弁に対して撮像断面が垂直でないため、三尖弁の位置を正確に把握することが難しかった. 右室長軸像の cine MRI は三尖弁および肺動脈弁を認識でき、更に拡張末期・収縮末期の画像上に左室短軸像のリファレンスラインを表示することで、各弁が左室短軸像の何スライス目に存在しているか知ることができた. これにより、左室短軸像で右室範囲をトレースする際に心基部側の範囲決定が容易になった. また、容易になったことで解析者間でのバラつきも小さくなったと考えられる.

RVESV が全症例で小さい値となり、SV および RVEF が上昇した要因として、より正確に心基部側での心室の範囲規定ができたと考えられる. SCMR imaging protocol において、“左室短軸像で解析を行う際に収縮末期の右室容量から右房容積の適切な排除が必要である”と述べられているが、従来法では右房容量が含

Table. EDV, ESV, RVSV and RVEF : comparison between method a and b

Subject	Average (95% Confidence Interval)		P value	SD		
	Method a	Method b		Method a	Method b	
EDV	A	161(157, 165)	149(147, 152)	0.014	4.84	2.56
	B	172(168, 175)	172(170, 175)	0.220	3.44	2.56
	C	148(142, 154)	154(150, 158)	0.225	6.55	4.45
	D	160(149, 171)	163(157, 169)	0.014	12.36	6.60
	A-D Average	160(156, 164)	160(156, 165)	0.274	11.23	9.80
ESV	A	89.1(82.8, 95.4)	70.8(68.3, 73.3)	0.071	7.14	2.81
	B	94.1(90.2, 98.0)	76.5(74.1, 78.9)	0.329	4.50	2.72
	C	77.2(73.1, 81.3)	71.8(69.2, 74.4)	0.226	4.67	2.95
	D	77.7(71.4, 84.0)	66.3(63.0, 69.6)	0.158	7.19	3.74
	A-D Average	84.5(80.4, 88.6)	71.4(69.3, 73.5)	0.004	9.45	4.76
RVSV	A	70.9(67.1, 74.7)	78.6(74.2, 83.0)	0.146	4.30	5.06
	B	77.4(71.5, 83.3)	95.8(94.4, 97.2)	0.033	6.74	1.58
	C	71.0(66.6, 75.4)	82.5(79.2, 85.8)	0.169	4.98	3.79
	D	82.3(73.7, 90.9)	96.8(89.9, 104)	0.079	9.77	7.91
	A-D Average	75.8(72.1, 80.0)	88.4(84.2, 92.6)	0.270	8.46	9.50
RVEF	A	44.1(41.4, 46.8)	52.6(50.4, 54.8)	0.145	3.09	2.55
	B	45.1(42.3, 47.9)	55.6(54.6, 56.6)	0.036	3.23	1.09
	C	47.9(45.8, 50.0)	53.4(51.9, 54.9)	0.188	2.40	1.66
	D	51.3(48.0, 54.6)	59.3(56.8, 61.8)	0.221	3.78	2.89
	A-D Average	47.4(45.5, 49.3)	55.2(53.7, 56.7)	0.234	4.28	3.37

Method a : Measured by using 3 directions. Method b : Measured by using 4 directions including RV long axis view.

まれていた可能性が考えられる。解析者間でのトレース方法で大きく異なる点は、収縮末期の心基部の範囲決定であり、拡張末期に比べて右室と右房の境界が不明瞭となりやすかった。右室機能の評価する際の Gold standard は肺動脈カテーテル検査であるが、駆出率として今回のデータと比較はできない。2012年に韓国の健康人の年齢・性別・BSAに基づいた右室機能評価が報告されている。20代の正常値は RVEDV : 142.4 ml (95% CI 138, 171 ml), RVESV : 80 ml (71, 90 ml), RVSV : 74 ml (64, 84 ml), RVEF 48% (45, 51%) となっている<sup>11)</sup>。今回の研究において RVEDV : 160 ml (156, 164 ml) から 160 ml (156, 165 ml), RVESV : 84.5 ml (80.4, 88.6 ml) から 71.4 ml

(69.3, 73.5 ml), RVSV : 75.8 ml (72.1, 80.0 ml) から 88.4 ml (84.2, 92.6 ml), RVEF 47.4% (45.5, 49.3%) から 55.2% (53.7, 56.7%) という値となった。従来法で得られた値は全て先行研究の正常範囲内であった。これは、従来法が先行研究と同じ手法で解析しているためと考えられる。右室長軸参照法で得られた RVESV, RVSV および RVEF は先行研究の正常範囲と異なる分布を示した。右室長軸参照法を用いた場合には正常範囲が変わる可能性があり、値を比較する際は、解析の手法に留意すべきである。

右室を評価するにあたり、計測断面の選択や右室の範囲の留意、フォローアップにおける同一の方法の選択においては、かつてより言われ

ているが、本研究における手法により更なる解析の再現性向上が望める。しかし、スライス厚が 10 mm であることにより、スライスとスライス間に三尖弁および肺動脈弁が存在する可能性がある。また、左室短軸像に対して各弁が平行でない場合も存在する。このような場合には、解析時のバラつきは大きくなり、本研究の限界と考えられる。

現状では、CMR 単独ではなく、右心カテテル検査および超音波検査等、他のモダリティと総合的にみて判断する必要があると考えられる。また、今回は健常ボランティアでの比較であったが、今後は肺高血圧などの疾患群での検討が必要と思われる。

## 結 語

CMR において、左室短軸像にて右室容量の解析を行う際、右室長軸像を追加撮像することで、三尖弁および肺動脈弁の認識が明瞭となり、適切な右房容量の排除ができ、解析結果の再現性の向上につながる。

なお、本稿の要旨は第 41 回日本磁気共鳴医学会大会（徳島市）において発表した。

## 文 献

- 1) 湯浅敏典, 鄭 忠和: 右心機能はいかに評価するか. 心エコー 2012; 5: 526-532
- 2) Tandri H, Daya SK, Nasir K, et al.: Normal reference values for the adult right ventricle by magnetic resonance imaging. Am J Cardiol 2006; 98: 1660-1664
- 3) Alfakih K, Plein S, Bloomer T, et al.: Comparison of right ventricular volume measurements between axial and short axis orientation using steady-state free precession magnetic resonance imaging. J Magn Reson Imaging 2003; 18: 25-32
- 4) Jauhiainen T, Järvinen VM, Hekali PE: Evaluation of methods for MR imaging of human right ventricular heart volumes and mass. Acta Radiol 2002; 43: 587-592
- 5) Fratz S, Schuhbaeck A, Buchner C, et al.: Comparison of accuracy of axial slices versus short-axis slices for measuring ventricular volumes by cardiac magnetic resonance in patients with corrected tetralogy of fallot. AM J Cardiol 2009; 103: 1764-1769
- 6) Clarke CJ, Gurka MJ, Norton PT, et al.: Assessment of the accuracy and reproducibility of RV volume measurements by CMR in congenital heart disease. JACC Cardiovasc Imaging 2012; 5: 28-37
- 7) Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, et al.: Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. J Cardiovasc Magn Reson 2013; 15: 91
- 8) James SH, Wald R, Wintersperger BJ, et al.: Accuracy of right and left ventricular functional assessment by short-axis vs axial cine steady-state free-precession magnetic resonance imaging: Inpatient correlation with main pulmonary artery and ascending aorta phase-contrast flow measurements. Can Assoc Radiol J 2013; 64: 213-219
- 9) Mooji CF, de Wit CJ, Graham DA, et al.: Reproducibility of MRI measurements of right ventricular size and function in patients with normal and dilated ventricles. J Magn Reson Imaging 2008; 28: 67-73
- 10) 奥田茂男, 谷本伸弘, 佐藤 徹, 山田 稔, 栗林幸夫: 慢性肺高血圧症を対象とした MRI による右室駆出率計測. 映像情報 Medical 2005; 1: 46-50
- 11) Chang SA, Choe YH, Jang SY, et al.: Assessment of left and right ventricular parameters in healthy Korean volunteers using cardiac magnetic resonance imaging: change in ventricular volume and function based on age, gender and body surface area. Int J Cardiovasc Imaging 2012; 28: 141-147

## **Improved Reproducibility in the Evaluation of RV Function using the LV Short-axis and RV Long-axis Views in Cardiac MR Imaging**

Keigo MATSUYOSHI<sup>1</sup>, Masaki TERADA<sup>1</sup>, Eiji YAMADA<sup>1</sup>,  
Shu YOSHIHARA<sup>2</sup>, Masanori OOSUGI<sup>1</sup>, Kenichi OOTSUBO<sup>1</sup>,  
Yukina ANZAWA<sup>1</sup>, Yuhei TOMITA<sup>1</sup>

*Departments of <sup>1</sup>Diagnostic Radiological Technology and <sup>2</sup>Diagnostic Radiology, Iwata City Hospital  
512-3 Ookubo, Iwata-shi, Shizuoka 438-8550*

Magnetic resonance (MR) imaging is widely used to evaluate right ventricular (RV) function, but it is difficult to measure RV volume. Standardized cardiovascular MR (SCMR) imaging protocols for 2013 recommend the use of axial or left ventricular (LV) short-axis views to measure RV volume. We analyze the measurement of RV volume using the LV short-axis view, which requires no additional images, and add the RV long-axis view as a reference of measurement. We have compared RV end diastolic volume (EDV), end systolic volume (ESV), stroke volume (SV), and ejection fraction (EF) by measurement with and without the use of RV long-axis view.

In the measurement with the RV long-axis view, we can clearly recognize the tricuspid and pulmonary valves and appropriately remove the right atrial volume. Exact measurement of RV volume using the RV long-axis view improves the reproducibility of evaluation of RV function.