

磁気共鳴映像法による右室
壁運動評価の試み

Right ventricular func-
tion in cardiovascular
disease evaluated by
magnetic resonance
imaging

今井 均
小林 史朗
榊原 誠
渡辺 滋
増田 善昭
稲垣 義明

Hitoshi IMAI
Shiro KOBAYASHI
Makoto SAKAKIBARA
Shigeru WATANABE
Yoshiaki MASUDA
Yoshiaki INAGAKI

Summary

The usefulness of ECG-gated magnetic resonance imaging (MRI) in evaluating right ventricular architecture and function was assessed by measuring right ventricular wall thickness, wall motion, and areas of the right ventricular cavities of seven normal subjects and 46 with cardiac disease, including atrial septal defect (ASD: six cases), hypertrophic cardiomyopathy (HCM: 19), dilated cardiomyopathy (DCM: eight), and old myocardial infarction (OMI: 13 cases). A superconductive MRI system was used. Transverse images at the level of the tricuspid valve were obtained for measurements. ECG-gated MRI clearly showed the right ventricular myocardium throughout the cardiac cycles and facilitated measuring wall thickness and cross-sectional areas of the right ventricular cavity in all subjects.

In normals the mean value and standard deviation of the anterior wall thickness of the right ventricle and the area index of the right ventricular cavity at end-diastole were 3.4 ± 0.7 mm and 10.6 ± 1 cm²/m², respectively. The anterior and lateral walls and tricuspid annulus moved inward to the right ventricular cavity in systole, and the excursion of the lateral wall and tricuspid annulus was larger than those of the anterior wall. The interventricular septum (IVS), however, moved outward to the left ventricle in systole.

The anterior wall thickness of the right ventricle in patients with HCM was 5.8 ± 1.4 mm thicker than that of normal subjects. In contrast to normals, the area index of the right ventricular cavity was larger in patients with ASD (18.4 ± 5.4 cm²/m²) and smaller in patients with HCM (9.1 ± 1.6 cm²/m²). The IVS moved inward in all patients with ASD and in several patients with HCM. The anterior and lateral wall motion was decreased in patients with ASD and DCM.

千葉大学医学部 第三内科
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)

The Third Department of Internal Medicine, Chiba
University School of Medicine, 1-8-1 Inohana, Chiba
280

Received for publication November 28, 1987; accepted January 9, 1988 (Ref. No. 32-K6)

Key words

Magnetic resonance imaging (MRI) Right ventricular function Myocardial infarction Hyper-trophic cardiomyopathy Dilated cardiomyopathy

はじめに

近年, 右室構造や壁運動の評価のため, いくつかの非観血的画像診断法¹⁻⁵⁾が利用されているが, まだ確立した方法はない. 最近注目されている磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging: MRI) は鮮明な心血管画像が得られ, 特に心拍同期法を使用すると心時相別の右室像を明瞭に描出できる. 今回, 我々は右室機能を評価するため, 超伝導 MR 装置を用い, 正常および各種心疾患 53 例を対象に, 左室中央レベルにおける右室の体軸横断像より, 右室の前壁厚, 右室面積, 右室局所壁運動について検討した.

対象と方法

1. 対象

対象は正常 7 例のほか, 心房中隔欠損症, 肥大型心筋症, 拡張型心筋症および陳旧性前壁中隔および広範囲前壁梗塞の計 46 症例である (Table 1).

2. 装置と撮像方法

使用した超伝導 MR 装置は Picker 製 0.25 Tesla タイプで, その主な仕様を Table 2 に示す.

撮像は被検者を安静仰臥位にして, 心電図心拍同期による SE (spin echo) 法を行った. Fig. 1 に ECG 心拍同期法を示す. 心拍同期 SE 法では繰り返し時間 (repeat time: Tr) は被験者の RR 間隔により定まり (約 600 より 1000 ミリ秒), 心電図 R 波の頂点をトリガーにして, これより任意の一定時間 (delay time) 後, 90 度パルスをかけ, 続いてエコー時間 (echo time: ET) の半分の時間の後に 180 度パルスをかけ, さらにエコー時間の半分の時間 (τ) の後のエコーを約 10 ミリ秒だけ画像収集する. したがって得られる画像

Table 1. Subjects

	Cases	M	F	Age (yrs)
Normal	7	3	4	37±17
ASD	6	2	4	45±16
HCM	19	16	3	51±9
DCM	8	7	1	56±15
OMI	13	12	1	61±10
Total	53	40	13	51±14

ASD=atrial septal defect; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; DCM=dilated cardiomyopathy; OMI=old myocardial infarction

Table 2. Performance of the imaging system

Magnet	0.25 Tesla, superconducting
Mode of image	Spin echo method Spin echo imaging (SE) Inversion recovery imaging (IR) T ₁ imaging, T ₂ imaging Coronal, sagittal, transverse
Image reconstruction	2-dimensional Fourier transform
Pixel sizes	128×128, 256×256
Slice	Single, multi (4, 8, 16)
Slice thickness	10 mm
Spatial resolution	1~2 mm
Cardiac gating	ECG

の心時相は, 心電図の R 波より delay 時間にエコー時間に約 10 ミリ秒の範囲にある. この delay 時間を 0 とした場合を拡張末期像とし, delay 時間を R 波の頂点までの時間にとった場合を収縮末期像とした. このさい, エコー時間は 40 または 60 ミリ秒を用い, スライスシングルスライスを使用した. なお 1 枚の画像作成時間は約 6 分であった.

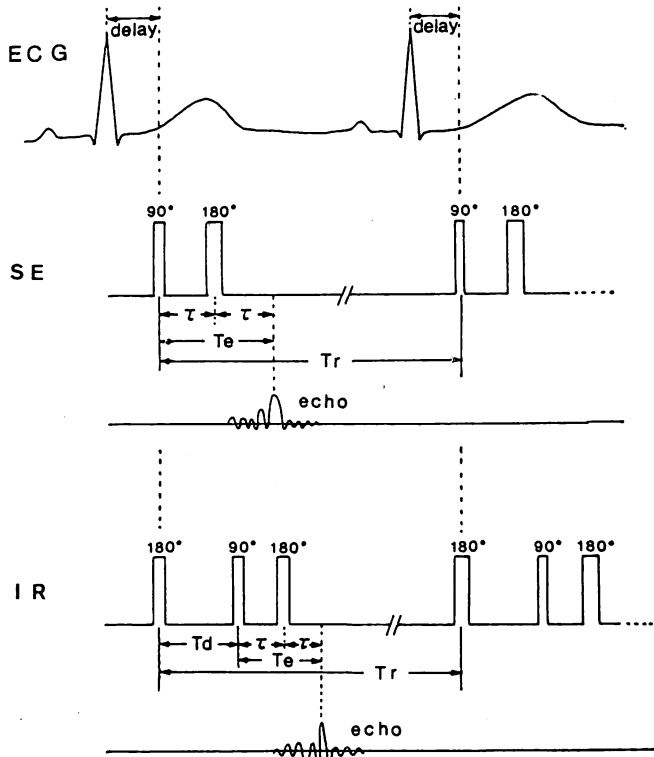


Fig. 1. ECG gating system.

結 果

1. 正常例における右室の心時相別の横断像

正常例の右室の心時相別の横断像では、一般に右室形態、壁厚がよく分り、また三尖弁も明瞭に示された。なお右室壁は右室の周囲脂肪より低信号に描出され、両者の鑑別は容易であった。Fig. 2 には左室中央レベルにおける心時相別の横断像 (Fig. 2A) と、この図で胸骨および椎骨を定点とし、重ね合わせた右室の収縮期と拡張期における変化を示した (Fig. 2B)。

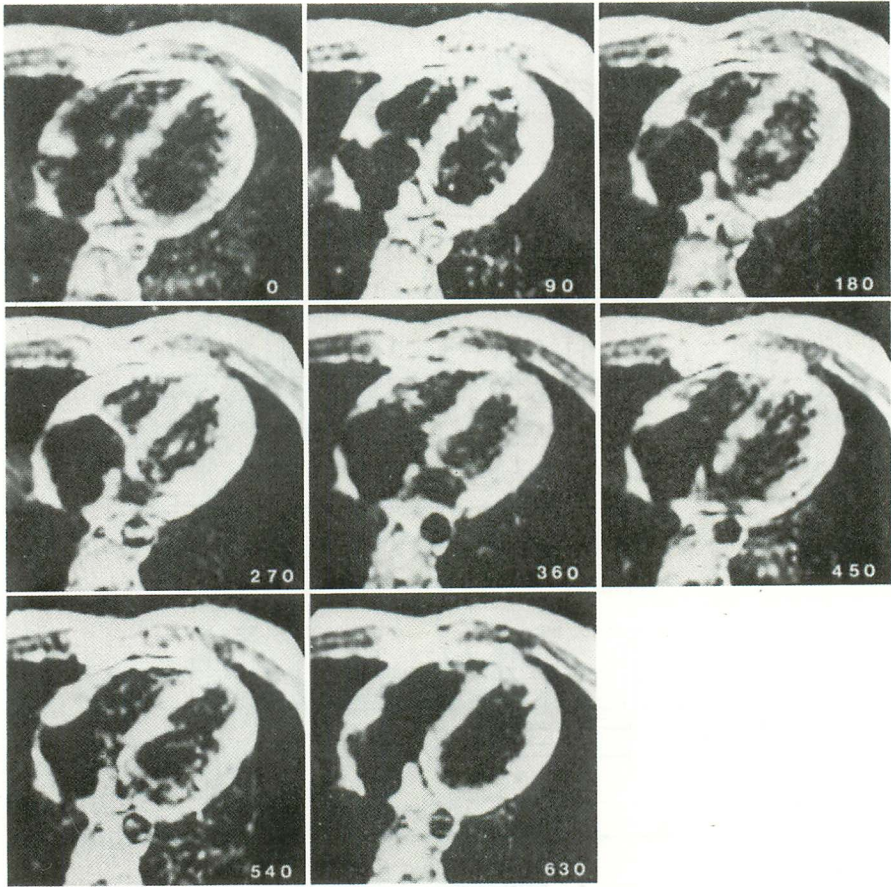
2. 正常および各種心疾患の右室壁厚

右室の拡張末期、収縮末期像より、右室の前壁の厚みをそれぞれ測定した。Fig. 3 のように、正常群の右室前壁厚の平均および標準偏差は、拡張末期で 3.4 ± 0.7 mm、収縮末期で 7.3 ± 1.2 mm あ

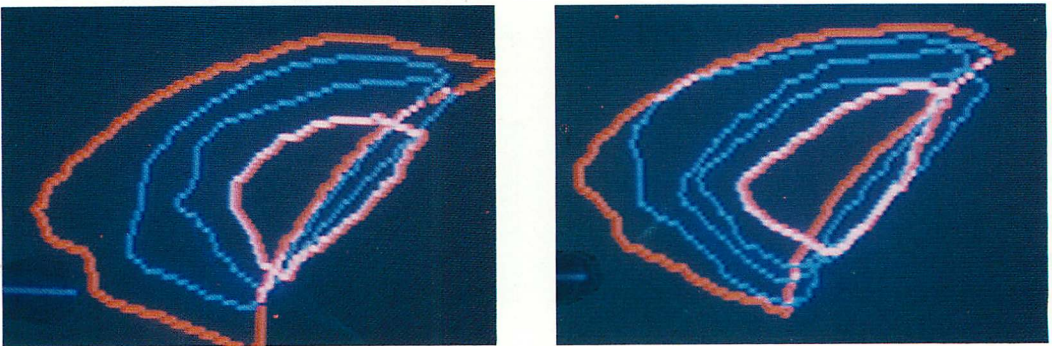
り、ASD 群ではそれぞれ 3.7 ± 0.74 mm、 5.7 ± 1.6 mm、DCM 群ではそれぞれ 3.6 ± 1.2 mm、 6.3 ± 1.7 mm、OMI 群ではそれぞれ 4.2 ± 1.3 mm、 7.7 ± 1.3 mm であった。これら群間では有意差はなかった。一方、HCM 群ではそれぞれ 5.8 ± 1.4 mm、 9.5 ± 3.3 mm で、右室の拡張末期壁厚は正常に比し有意に大であった。

3. 正常および各種心疾患の右室壁厚の増加率

Fig. 4 に右室前壁厚の増加率を示した。増加率は (収縮末期壁厚 - 拡張末期壁厚) / 拡張末期壁厚より求めた。正常群の 0.94 ± 0.4 に比較し、HCM 群では 0.65 ± 0.32 、DCM 群では 0.74 ± 0.36 、OMI 群では 0.82 ± 0.56 であり、それぞれ有意差はなかったが、ASD 群では 0.54 ± 0.2 と有意に低値を示した。



(A)



(B)

Fig. 2.

A: ECG-gated transverse images through the tricuspid annulus in a normal subject.

The number on the right side of each image represents delay time (msec) through the cardiac cycle.

B: Schematic tracing of the endocardial border of the right ventricle in Fig. 2A in systolic (left) and in diastolic (right) MR images.

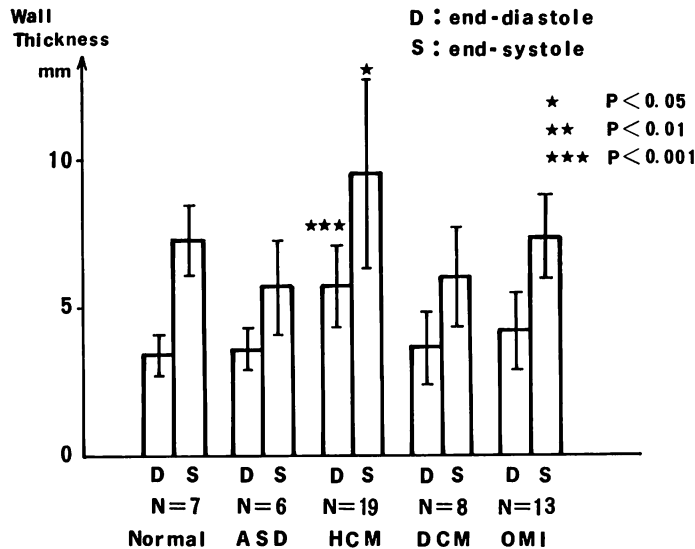


Fig. 3. RV anterior wall thickness of normal subjects and of patients with several cardiac diseases.

The mean value and standard deviation of the normal RV anterior wall thickness is 3.4 ± 0.7 mm. The RV anterior wall thickness in patients with HCM (5.8 ± 1.4 mm) is thicker than that of normal subjects.

4. 正常および各種心疾患の右室面積係数

体表面積で補正した右室面積は、Fig. 5 で示すように、正常群の拡張末期で平均 $10.6 \pm 1.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ であり、DCM 群では $10.3 \pm 3.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、OMI 群では $12.0 \pm 2.8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と有意差はなかったが、ASD 群では $18.4 \pm 5.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と有意に拡大し、HCM 群では $9.1 \pm 1.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と有意に縮小していた。また正常群の収縮末期右室面積は $6.3 \pm 1.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ であるに対し、DCM 群で $5.6 \pm 2.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、OMI 群で $6.5 \pm 1.8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ で有意差はなかったが、ASD 群では $11.4 \pm 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と有意に拡張し、HCM 群では $3.8 \pm 1.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と有意に縮小していた。

5. 正常および各種心疾患の右室面積の収縮率

右室面積の収縮率を Fig. 6 に示した。正常群では 0.41 ± 0.10 であり、ASD 群は 0.38 ± 0.06 、DCM 群では 0.40 ± 0.18 、OMI 群では 0.45 ± 0.12 であり有意差はなかったが、HCM 群では平均 0.59 ± 0.04 と正常より有意に増加していた。

6. 正常および各種心疾患の右室壁の局所収縮率

右室壁の局所運動および弁輪部の運動を評価するため、胸骨および椎骨を定点として、右室横断の拡張末期像と収縮末期像を重ね合せ、拡張末期の重心を中心点 (G) として 12 等分割し、中隔、前壁、側壁、三尖弁輪部の四方向に整理してそれら収縮率を検討した。Fig. 7 はそのシェーマである。図の大きい方が右室の拡張末期像で、小さい方が収縮末期像の心内膜側トレースである。番号 1~3 は中隔、4~6 は前壁、7~9 は側壁、10~12 は三尖弁輪部に相当する。12 分割線と拡張末期像が交わる点を A 点、収縮末期像が交わる点を B 点とした時、 $(GB - GA)/GB$ をその部分の収縮率とし、前述の各 3 ヶ所の収縮率の平均をとって、中隔、前壁、側壁、三尖弁輪部の収縮率とした。

Fig. 8 にみるように正常群では右室収縮の内方運動は前壁 (0.28 ± 0.14) より側壁 (0.58 ± 0.15) および三尖弁輪部 (0.59 ± 0.16) で著明であり、中

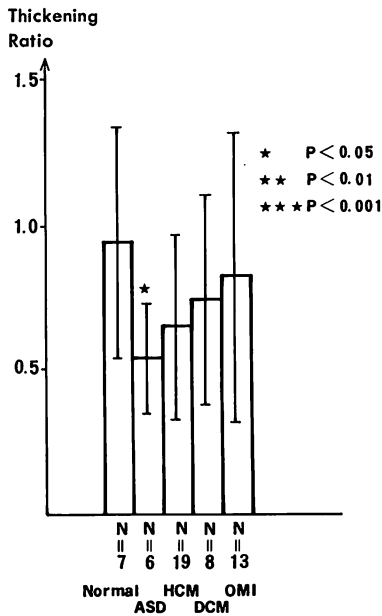


Fig. 4. Thickening ratio of the RV anterior wall of normal subjects and patients with several cardiac diseases.

The thickening ratio of the RV anterior wall in patients with ASD (0.54 ± 0.2) is less than that of normal subjects (0.94 ± 0.4).

隔では逆に -0.18 ± 0.11 と左室側に外方運動していた。

Fig. 9 は中隔, 前壁, 側壁, 三尖弁輪部の収縮率を各対象群で比較したものである。中隔の収縮率は ASD 群 0.07 ± 0.07 , HCM 群 0.07 ± 0.21 で中隔の右室への内方運動を認め, 収縮率は有意に増加していた。また DCM 群では中隔が明らかに内方運動 (0.04 ± 0.22) していた。OMI 群では中隔の左室への外方運動 (-0.03 ± 0.16) が明らかに低下していた。

右室前壁の収縮率は, ASD 群では 0.07 ± 0.07 と正常群のそれ (0.28 ± 0.14) よりも有意に低下していた。DCM 群でも 0.20 ± 0.16 とやや低下していたが, 正常群との間に有意差はなかった。HCM 群 (0.33 ± 0.21), OMI 群 (0.26 ± 0.13) では正常と差はなかった。側壁の収縮率では, ASD

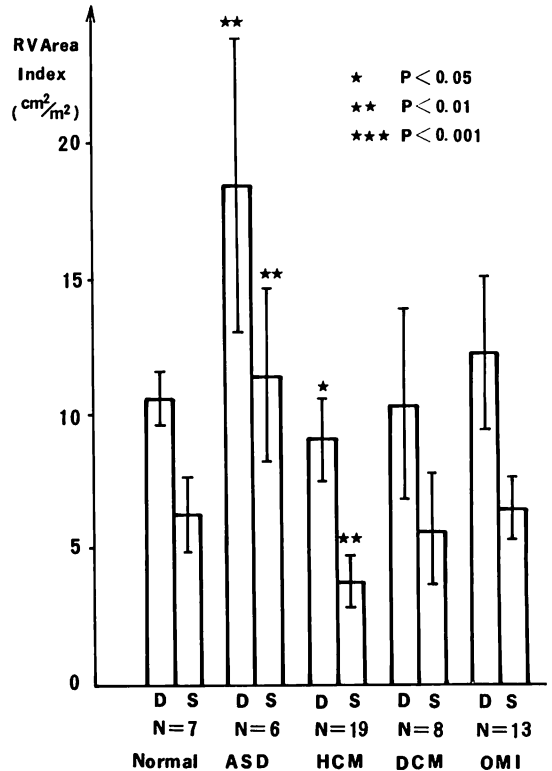


Fig. 5. RV area indices of normal subjects and patients with several cardiac diseases.

RV area index = RV area in the transverse section through the tricuspid annulus / body surface area.

The RV index of patients with ASD ($18.4 \pm 5.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$) in end-diastole is larger than that of normal subjects ($10.6 \pm 1.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$). The RV area index of patients with HCM ($9.1 \pm 1.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$), however, is smaller than that of normal subjects.

群で 0.31 ± 0.07 , DCM 群で 0.31 ± 0.20 と, 正常群のそれに比し有意に低下し, HCM 群 (0.53 ± 0.20) と OMI 群 (0.38 ± 0.17) では, 正常群との間に差はなかった。一方, 三尖弁輪部では各群とも正常群との間に差は認めなかった。

考 接

従来, 右室構造や壁運動の評価のために右室造影などの観血的画像診断法や超音波断層法, RI

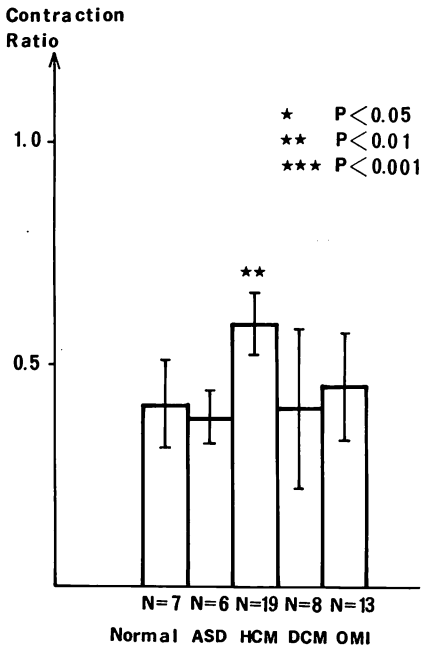
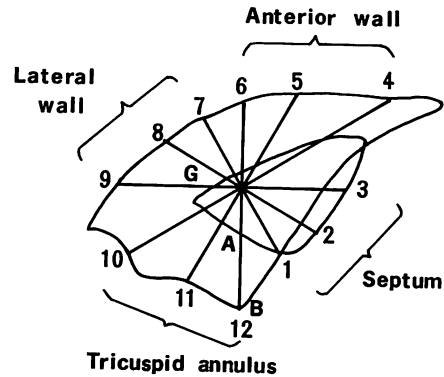


Fig. 6. The contraction ratios of the RV area in normal subjects and patients with several cardiac diseases.

The contraction ratio in patients with HCM (0.59 ± 0.04) is greater than that of normal subjects (0.41 ± 0.1).

法, X線CT法などの非観血的画像診断法が利用されている。しかし, 右室の形態は複雑であり, 投影像である右室造影では正確な右室形態を把握できない⁶⁾。また超音波断層法は右室の収縮異常や三尖弁膜の検出に秀れていても, 骨や肺のため, 右室の全体像の把握には不十分であり, また右室心内膜側のトレースが困難な例も多い⁴⁾。RI法は分解能が劣り, 一般に右室壁厚の描出は困難である¹⁾。またX線CT法⁵⁾は, 心電図心拍同期を使用しても同期期間が約0.1秒と長く, 真の心時相像を得がたく, 造影剤による造影効果の薄い時とか, 逆に造影濃度が大きくなり過ぎた時, 右室壁厚が正確に測定できないなどの欠点がある。一方, 心拍同期MRI法ではリアルタイムではないが, 心時相別の右室像を死角なしに明瞭に描出できるため, 右室構造や壁運動の評価に適



$$\text{Regional contraction Ratio} = \frac{GB - GA}{GB}$$

Fig. 7. Partition analysis of the right ventricle at both end-diastole and end-systole.

The regional contraction ratio is calculated by the formula shown in the figure. G is gravity center of the end-diastolic RV in the MR image.

していると考えられる。

今回の我々の検討では, 正常群の右室の前壁厚は拡張末期で平均 3.4 ± 0.7 mm であった。この方法は右室の体軸横断像であるため右室壁を斜めにとっており, 壁厚をやや厚く評価している可能性があるが, 従来の超音波断層法²⁾より得られた正常値と近似している。右室前壁の収縮率は平均 0.9 ± 0.4 であったが, 右室前壁の収縮率については, 小児期の心疾患についてMモード法の報告⁷⁾があるにすぎず, 今後, 超音波断層法との比較が必要であろう。体表面積で補正した右室面積は拡張末期で 10.6 ± 1.0 cm²/m² であり超音波断層法の報告⁸⁾ (正常 6.2 ± 0.7 cm²/m²) より大であったが, これは右室断面の違いによるものと考えられる。右室面積収縮率は 0.41 ± 0.10 で, RI法の 0.43 ± 0.02 という報告と近似している¹⁾。正常群では, 右室収縮の内方運動は前壁より側壁および三尖弁輪部で著明であり, 中隔は左室側に外方運動していた。Rushmer⁹⁾によれば, 右室収縮は, 右室心尖部から三尖弁輪部の長軸方向の短縮と, 心室中隔を短かい弧とする半月形の短軸の収縮と

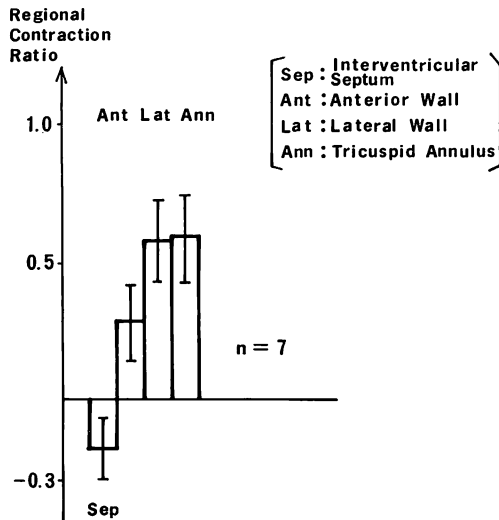


Fig. 8. Regional contraction ratios of the RV in normal subjects.

The interventricular septum in all of the normal subjects moves outward to the left ventricle. The RV anterior wall, RV lateral wall and tricuspid annulus move inward to the right ventricular cavity. The RV regional contraction ratio of the RV anterior wall, however, is less than that of both the RV lateral wall and tricuspid annulus.

からなるといわれている。今回の方法では、右室の横断像の前壁側は胸壁のために制限された運動として、側壁や三尖弁輪部方向はより大きな内方運動として、また心室中隔は外方運動としてとらえられたものと考えられた。

Mモード心エコー図法では、ASDの右室前壁は正常よりも厚いと報告²⁾されているが、MRIでは正常群とほぼ同等であった。ASDの超音波断層法では、右室が拡張し、右室流出路の近くの右室前壁を見ているため、異なった結果になった可能性がある。今後症例数を増しシャント率や肺動脈圧などの検討が必要であろう。ASDでの右室前壁厚の増加率は低下傾向にあり、右室面積係数は拡張末期、収縮末期とも正常群より小であったが、これらは容量負荷による右室収縮能の低下のためと考えられた。また中隔は右室への内方運

動を認め¹⁰⁾、超音波断層法の奇異性運動に相当すると考えられた。

HCM群での右室前壁厚は正常例より増加すると報告^{8,11,12)}されているが、今回のMRIによる検討でも、右室壁は正常群より有意に肥厚していた。また右室壁厚の増加率は平均値で正常群より低下し、その右室面積係数は小さいが、右室面積の収縮率は正常より有意に増加していた。心室中隔は正常と違って右室内方へ運動する例が多かったが、これは中隔壁厚の増加に伴う所見と考えられた。

DCM群では右室壁厚や壁厚の増加率は正常群より小さい傾向にあったが有意差はなく、また中隔の外方運動の低下、側壁の内方運動の低下が認められた。右室面積係数や右室面積の収縮率はほぼ正常であった。RIシンチグラムでの検討では、DCMの右室駆出率が低下するという報告¹³⁾があるが、今回の結果でそうならなかったのは、軽症で心不全のないDCM群では、必ずしも右室収縮が減少するものではないことによるものと考えられた。

OMI群については、今回は右室梗塞の合併を除くため、前壁中隔および広範囲前壁梗塞例を対象にした。これらの右室壁厚、右室壁厚増加率、右室面積係数、右室面積の収縮率、右室自由壁運動はそれぞれ正常であった。これは下壁梗塞および右室梗塞を伴わない前壁中隔および側壁梗塞では、右室への影響が少ないという従来の報告^{5,14)}と一致していた。しかし、中隔の左室への外方運動は低下傾向を認め、これは前壁中隔梗塞の影響によるためと考えられた。

結 論

MRIによる右室機能を評価するため、正常および各種心疾患53例を対象に、超伝導MR装置(0.25テスラ)を使用して体軸横断像における右室の前壁厚、右室断面積、右室局所壁運動について検討した。

1. 右室の前壁厚は正常群で平均3.4mmであ

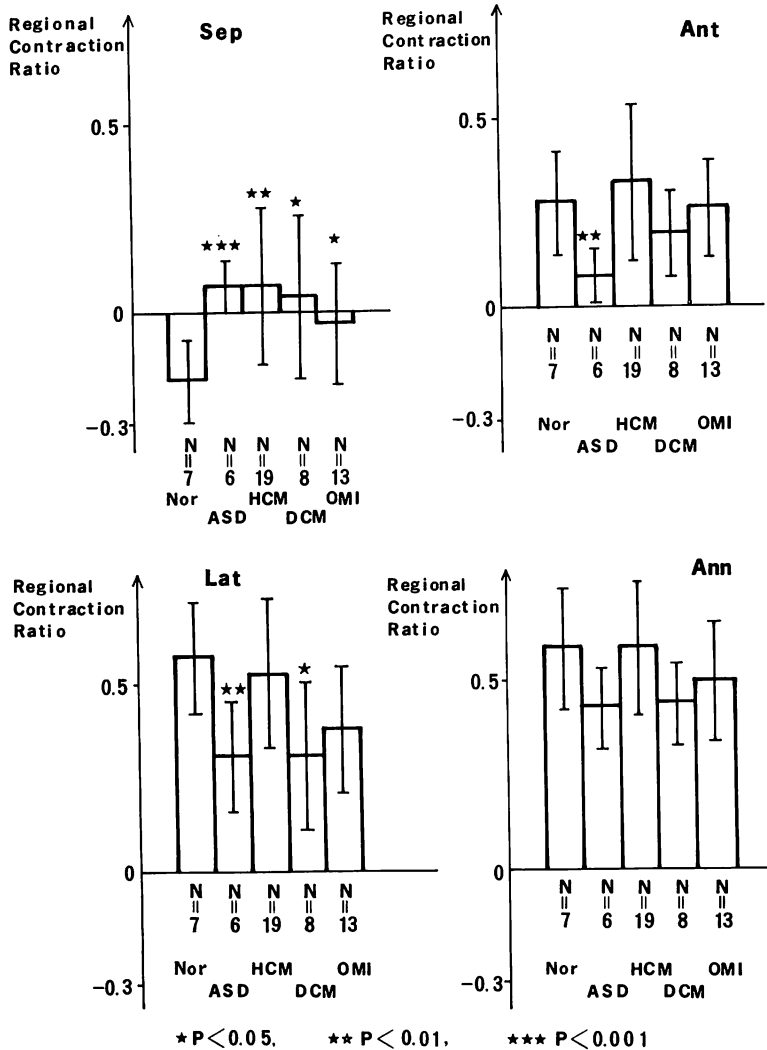


Fig. 9. Comparison of the regional contraction ratio of the RV of normal subjects with those of patients with selected cardiac diseases.

The IVS in all patients with ASD and in some patients with HCM and DCM move inward (upper left). The regional contraction ratio of the RV anterior wall in patients with ASD is less than that of normal subjects (upper right). The regional contraction ratio of the RV lateral wall in patients with ASD and DCM is less than that of normal subjects (lower left). There is no difference between the regional contraction ratio of the tricuspid annulus in normal subjects and those in patients with these cardiac diseases (lower right).

ったが、肥大型心筋症群ではこれより肥厚していた。右室の前壁厚の増加率は、心房中隔欠損症群では正常群よりも低下していた。

2. 体表面積で補正した右室面積係数は、正常群に比し、心房中隔欠損症群で増加し、肥大型心筋症で減少していた。

3. 正常群における右室収縮は側壁および三尖弁輪部方向の内方運動が著明であり, 中隔は左室側へ外方運動をした。一方, 心房中隔欠損症群では, 中隔は右室側へ内方運動したが, 前壁および側壁の収縮率は正常群に比較し低下していた。

以上は MRI が右室の形態と壁運動の評価に有用であることを示している。

要 約

MRI による右室機能の評価するため, 超伝導 MR 装置を用い正常および各種心疾患を対象に左室中央レベルにおける右室の体軸横断像より, 右室の前壁厚, 右室面積, 右室局所壁運動について検討した。

右室の心時相別の横断像では右室形態, 壁厚がよく分り, 右室壁運動の評価が可能であった。正常群の右室の前壁厚は拡張末期で 3.4 ± 0.7 mm であったが, HCM 群では 5.8 ± 1.4 mm と有意に増加していた。右室壁厚の増加率は正常群で 0.94 ± 0.4 であったが, ASD 群では低下傾向にあった。

体表面積で補正した右室面積係数は, 正常群の拡張末期で平均 10.6 ± 1.0 cm²/m² であったが, ASD 群では 18.4 ± 5.4 と有意に大であり, HCM 群では 9.1 ± 1.6 と有意に小であった。右室面積の収縮率は正常群では 0.41 ± 0.1 であったが, HCM 群では 0.59 ± 0.04 と有意に増加していた。

右室壁運動は正常群では右室収縮の内方運動が前壁より側壁および三尖弁輪部で著明であり, 中隔は左室側に外方運動していた。ASD 群, HCM 群では中隔の右室への内方運動を認め, DCM 群および OMI 群では中隔の壁運動低下を認めた。右室前壁および側壁の運動は ASD 群で有意に低下し, DCM 群では低下傾向を示したが, 三尖弁輪部では各群とも差は認めなかった。

以上のことは, MRI による正常群および各種心疾患の右心機能評価の有用性を示している。

文 献

- 1) Cohen HA, Baird MG, Rouleau JR, Fuhrmann, Bailey, Summer WR, Strauss HW, Pitt B: Thallium 201 myocardial imaging in patient with pulmonary hypertension. *Circulation* 54: 790, 1976
- 2) Matsukubo H, Matsuura T, Endo N, Asayama J, Watanabe K, Furukawa K, Kunishige H, Katsume H, Ijichi H: Echocardiographic measurement of right ventricular wall thickness: A new application of subxiphoid echocardiography. *Circulation* 56: 278, 1977
- 3) Tsuda T, Sawayama T, Kawai N, Nezu S, Kikawa K: Echocardiographic measurement of right ventricular wall thickness in adults by anterior approach. *J Cardiogr* 8: 4172, 1978 (in Japanese)
- 4) Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM: Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 107: 526, 1984
- 5) Naito H, Kimura M, Ohta M, Kimura K, Takamiya M, Kozuka T: Evaluation of right ventricular wall contractility in ischemic heart disease by cardiac computed tomography. *J Cardiogr* 14: 15, 1984 (in Japanese)
- 6) Reedy T, Chapman CB: Measurement of right ventricular volume by cineangiography. *Am Heart J* 66: 221, 1963
- 7) Ueda K, Saito Hiroyuki A, Nakano H: Electrocardiography and echocardiography in the determination of right ventricular dimension and anterior wall thickness in infants and children with congenital heart disease. *J Cardiogr* 8: 47, 1978
- 8) Cacho A, Prakash R, Sarma R, Kaushik VS: Usefulness of two-dimensional echocardiography in diagnosing right ventricular hypertrophy. *Chest* 84: 154, 1983
- 9) Rushmer RF, Crystal DK, Wagner C: The function and functional anatomy of ventricular contraction. *Circ Res* 1: 162, 1953
- 10) Hayashida N, Ueda T, Furuta S, Machii K: Echocardiographic study on interventricular septal movement in atrial septal defect. *J Cardiogr* 6: 349, 1976 (in Japanese)
- 11) Tsuda T, Sawayama T, Kato T, Mizutani K: The differentiation between hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive heart disease. *J Cardiogr* 9: 789, 1979 (in Japanese)
- 12) Seo T, Yokota Y, Kumaki T, Takarada A, Kubo M, Kaku K, Toh S, Fukuzaki H: Regional right ventricular hypertrophic cardiomyopathy and hypertension. *J Cardiogr* 15: 339, 1985 (in Japanese)

- 13) Tani M, Akaishi M, Yamazaki H, Handa S, Nakamura Y, Kosuda S, Kubo A: Clinical application of ejection indices of the right ventricle: Evaluation of right ventricular performance and regurgitant fraction with multiple-gated equilibrium scintigraphy. *J Cardiogr* **12**: 675, 1982 (in Japanese)
- 14) Tobinick E, Schelber HR, Henning H, LeWintet M, Taylor A, Ashburn WL, Karliner JS: Right ventricular ejection fraction in patients with acute anterior and inferior myocardial infarction assessed by radionuclide angiography. *Circulation* **57**: 1078, 1978