

運動負荷<sup>201</sup>Tl 心筋シンチグラムにおける右室描出像の意義について：冠動脈造影像との比較検討

Right ventricular free wall imaging using thallium-201 exercise myocardial scintigraphy with special reference to coronary angiography

百瀬 篤  
沢井 通彦  
菊池 文孝  
山中 朋子  
福原 泰樹  
三国谷 淳  
小野寺庚午

Atsushi MOMOSE  
Michihiko SAWAI  
Fumitaka KIKUCHI  
Tomoko YAMANAKA  
Yasuki FUKUHARA  
Atsushi MIKUNIYA  
Kogo ONODERA

**Summary**

Right ventricular wall images of ischemic heart disease were evaluated during exercise myocardial scintigraphy using thallium-201. Among 33 subjects, ten were normal controls, 11 had left coronary artery disease (LAD group), 12 had right coronary artery disease (RCA group), all of whom received exercise myocardial scintigraphy.

The submaximal or symptom-related ergometer exercise test was performed by the protocol being with 25 watt (W) loading, and then increased by 25 W every 3 min, while 3 mCi thallium-201 were injected intravenously at the maximal exercise point. Early imaging was obtained 5 min after exercise; delayed imagings, 1 and 4 hours after exercise. Early imaging and delayed imaging at 4 hours after exercise were obtained in the AP, lateral, LAO 30°, LAO 45°, and LAO 60° projections. Only the LAO 45° was obtained for delayed imaging 1 hour after exercise.

To assess the radioactivity in the right ventricular wall, with regions of interest (ROI) in the upper part of the right ventricle {RV (U)}, lower part of the right ventricle {RV (L)} and the most radioactive region in the left ventricle {LV (P)}, we calculated the count ratio of the RV(U) or RV(L) to the LV(P) and defined it as the RV uptake ratio {RV(U)/LV(P)} or {RV(L)/LV(P)}.

The results obtained were as follows:

1. There were no significant changes in the RV uptake ratio between the early and delayed images both in the control and LAD groups, but the RV uptake ratio decreased significantly in the delayed images compared with an early image in the RCA group.

弘前大学医学部 第二内科  
弘前市在府町 5 (〒036)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Hirosaki University, Zaifu-cho 5, Hirosaki 036

Received for publication January 30, 1984 (Ref. No. 27-77)

2. Two cases in the RCA group, in which collateral arteries from the left coronary artery prevailed, revealed the same patterns as in the control group.

3. A postoperative case, who had AC bypass surgery of the right coronary artery, displayed a pattern different from that before operation and similar to that of the control group.

4. For patients with right coronary artery disease in segments 1, {RV(U)/LV(P)} and {RV(L)/LV(P)} decreased in a way similar to the delayed image. However, the degree of decrease in {RV(L)/LV(P)}, compared to {RV(U)/LV(P)} in delayed images, was more conspicuous in patients with CAD in segment 2 than in segment 1.

These data suggest that imaging of the right ventricle using exercise myocardial scintigraphy may document not only the existence of right coronary artery disease, but the site of the right coronary occlusive disease as well. This method may be especially useful in confirming the patency of the AC bypass graft.

#### Key words

Right ventricular wall

Right coronary artery disease

Thallium

Exercise myocardial scintigraphy

## はじめに

虚血性心疾患における運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィの意義については、1977年、Baileyら<sup>1)</sup>により報告されて以来、現在に至るまで臨床的に検討が加えられており、本法は虚血性心疾患の診断上、不可欠の非観血的検査法となっている。さらにそのデータ解析は、コンピューターの発展に伴って急速な変遷を遂げ、左室壁に関しては washout rate 法<sup>2)</sup>、circumferential profile 法<sup>3)</sup>等を用いた客観的判定法により、その診断精度は一層向上している。

しかし、運動負荷心筋シンチグラフィにおける右室壁描出は、1981年、Brachmanら<sup>4)</sup>の報告以来注目され、その後いくつかの報告<sup>5-9)</sup>はあるものの、その評価法は視覚的検討によるものが多く、客観的方法による経時的変化を検討した報告は少ない<sup>10)</sup>。

今回我々は、運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィにおける右室壁描出像をより客観的に検討する目的で、右室壁に ROI (region of interest) を設定し、その radioactivity の差異を右冠動脈病変と関連づけて検討し、興味ある知見を得たので報告する。

## 対 象

対象は運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィを施行した 33 例である (Table 1)。

これらのうち、冠動脈造影などの検査で異常を認めなかった 3 例と健常人 volunteer 7 例の計 10 例を対照群 (control group)、冠動脈造影により左前下行枝領域のみに 75% 以上の冠動脈狭窄を認めた 11 例を LAD 群、右冠動脈の segment 1 または 2 に 75% 以上の冠動脈狭窄を認めた 12 例を RCA 群とした。

RCA 群の冠動脈造影像では、右冠動脈にのみ有意の狭窄 (75% 以上) を有する例は 4 例、右冠動脈病変の他に左冠動脈にも有意の狭窄を有する例は 8 例である。また、狭窄部位は、segment 1 のみが 4 例、segment 1 と 2 に病変を有する例 1 例、segment 2 のみの病変例 8 例であった。RCA 群 12 例のうち 2 例では、左冠動脈から右冠動脈領域への比較的太い側副血行路が観察された。なお、弁膜症、心筋症ならびに慢性肺疾患を合併する症例は本研究の対象から除外した。

## 方 法

運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィを施行するに際して、すべての投薬は検査施行 3 日前より

Table 1. Subjects in this study

	No. of cases	Sex		Age (y)	
		Male	Female	Range	Mean
Control group	10	8	2	27—60	38.1
LAD group	11	8	3	40—62	52.4
RCA group	12	8	4	32—68	51.5
Total	33	24	9	27—68	47.3

Control group consists of 10 normal subjects, LAD group consists of 11 patients with significant coronary artery stenosis in the left anterior descending artery, and RCA group consists of 12 patients with significant right coronary diseases.

中止したが、一部の症例では検査前日より中止した。

運動負荷には Edward 製電気制動型エルゴメーターを用い、坐位にて行った。負荷方法には 25 watt (W) より開始し、25 W ずつ増加する多段階漸増法を用いたが、負荷中にモニター心電図で 0.1 mV 以上の ST 低下、または明らかな狭心痛が認められたさい、<sup>201</sup>Tl 3 mCi を急速静注し、さらに同一強度の運動負荷を 1 分間続けさせた。

運動負荷終了 5 分後に正面、左前斜位 30 度、同 45 度、同 60 度および左側面の 5 方向で early image の撮影を行い、負荷終了 4 時間後にも同様な方法で delayed image の撮影を行った。なお、負荷終了後 1 時間の時点でも左前斜位 45 度の一方向で撮影を行い、同撮影中左室壁を鉛板で mask して、より鮮明な右室壁描出像を得ようと試み、右室壁同定のさいの参考にした。

撮像には Ohio nuclear 製ガンマカメラ、汎用平行孔コリメーターを用い、データの収録には on-line system で接続した Varicam 製ミニコンピューターを使用した。

得られた心筋シンチ像を、はじめに左前斜位 45 度あるいは 30 度の画像で視覚的に検討し、右室自由壁描出の形態から、(1) 右室壁が連続的に描出されるもの (continuous visualization), (2) 右室壁に陰影欠損像がみられるもの (defective vis-

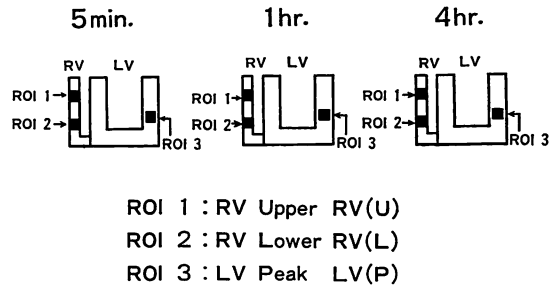


Fig. 1. Schematic representation of determined regions of interest (ROI) over the right and left ventricles.

ROI 1: ROI in the upper part of the right ventricle.  
 ROI 2: ROI in the lower part of the right ventricle.  
 ROI 3: ROI in the most radioactive part of the left ventricle.

ualization), および (3) 右室壁が描出されないもの (non-visualization) の 3 種の subgroup に分類した。特に右室壁が連続的に描出された group については、Cohen ら<sup>11)</sup>の方法に基づき、a) 右室壁の radioactivity が肺野の radioactivity に近いもの (faint), b) 肺野より強いが左室壁より弱いもの (moderate), ならびに c) 左室壁に近いもの (marked) の 3 型に細分化して検討した。

視覚的検討の後、右室壁が連続的に描出される continuous visualization 例について、Goris 法<sup>12)</sup>による background subtraction 像の右室壁上部、下部ならびに左室壁最高カウント部位に ROI を設定し、それぞれのカウント数を RV (U), RV (L), および LV (P) として検討した (Fig. 1)。

Fig. 2 に ROI 設定の実際例を示した。

## 成 績

### 1. 3 群における運動負荷時の pressure rate product (PRP)

Fig. 3 に示すように、運動負荷前の control 群、LAD 群および RCA 群の PRP は、それぞれ  $8,600 \pm 1,300$ ,  $9,900 \pm 2,100$ , および  $10,400 \pm 2,300$  mmHg·beats/min (平均値 ± 標準偏差) であるが、最大負荷時にはそれぞれ  $18,700 \pm 1,800$ ,  $22,000 \pm$

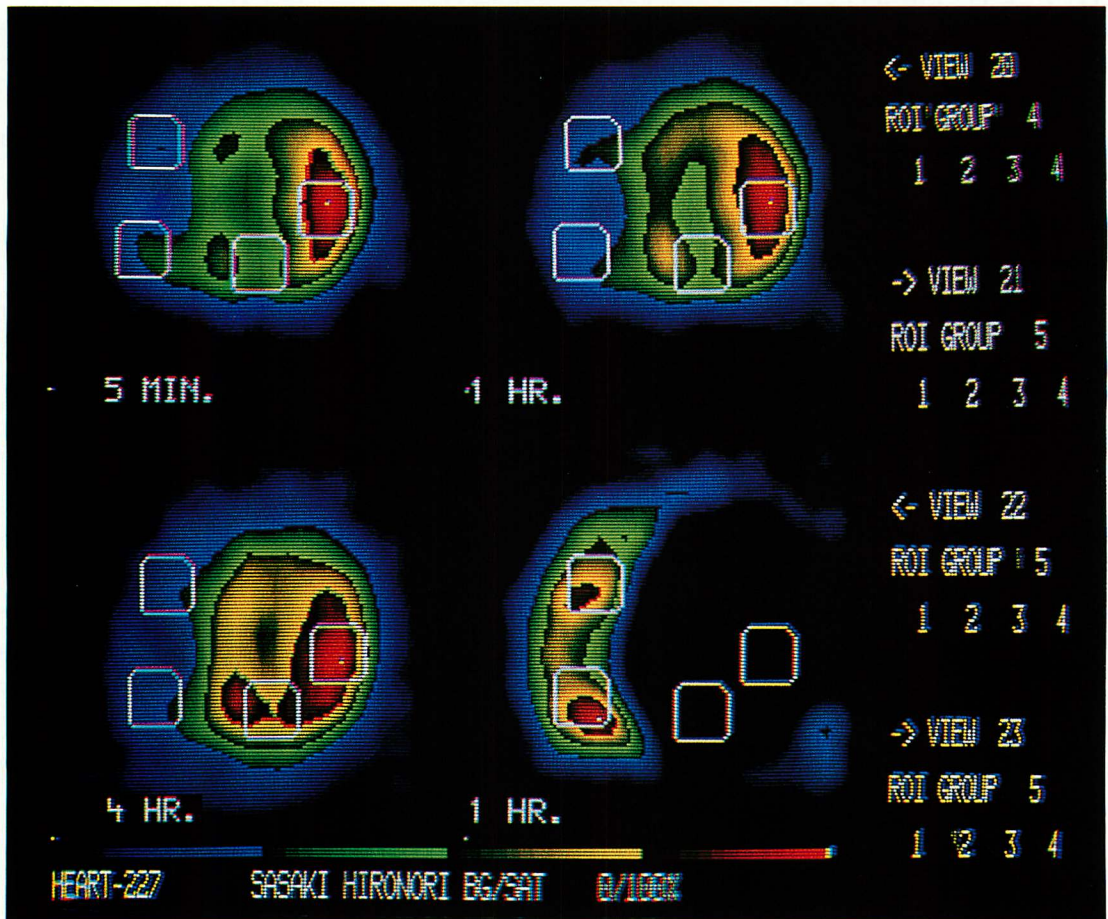


Fig. 2. Determination of regions of interest (ROI).

Upper row: Four ROIs are defined in the upper part of the RV {RV(U)}, lower part of the RV {RV(L)}, and the most radioactive part of the LV {LV(P)} 5 min and 1 hour after exercise.

Lower row: Four ROIs are made in the same way 1 hour after and 4 hours after exercise. The LV is especially shaded with a lead plate, at the time of 1 hour after exercise, for imaging the RV clearly.

3,300, および  $18,900 \pm 3,500$  mmHg·beats/min と有意に大となっていた ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$ ). これら3群間の PRP の比較では, 負荷前, 最大負荷時のいずれにおいても, 3群間に有意の差は認められなかった。

## 2. 視覚的検討による右室自由壁像

Early image での右室自由壁像は, 対象とした全例が continuous visualization group に属し,

その radioactivity は, faint であった control 群および LAD 群の各1例を除き, すべて moderate であった (Table 2).

## 3. ROI 法による右室自由壁の radioactivity

視覚的検討で右室自由壁が連続的に描出された症例について, 右室自由壁に ROI を設定し, その radioactivity を検討したのが Fig. 4 である。

対照群での RV(U)/LV(P) は, early image

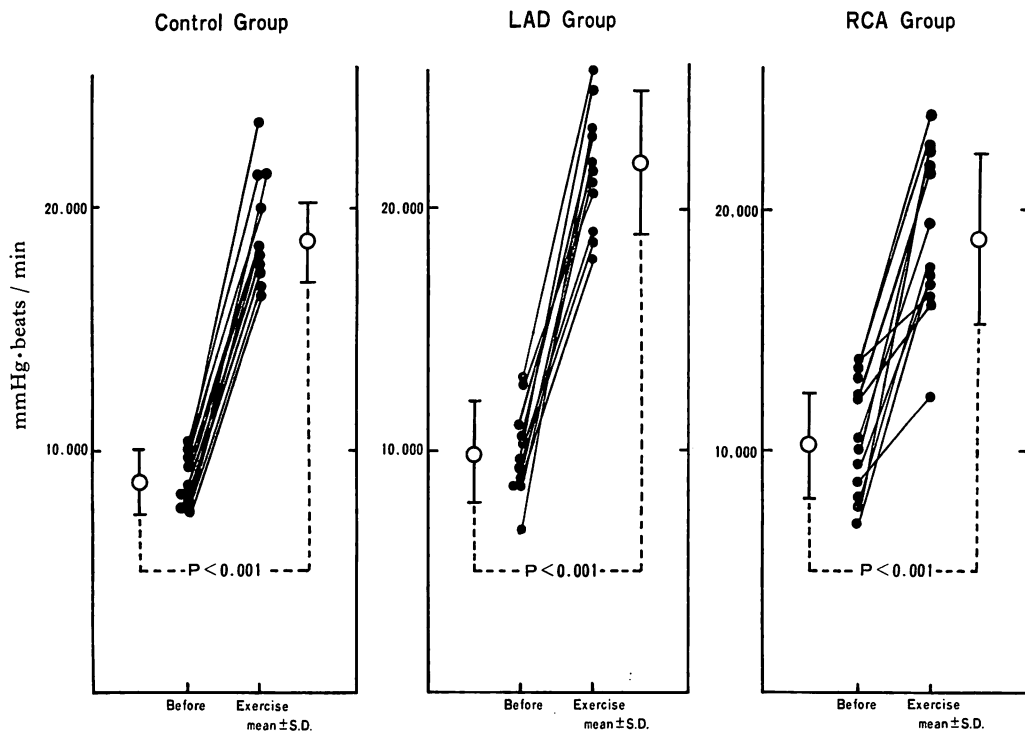


Fig. 3. Changes of pressure rate product in three groups during ergometer exercise test.

Table 2. Visual evaluation of right ventricular images during exercise myocardial scintigraphy in 33 subjects

	Control	LAD	RCA
Continuous visualization			
Faint	1	1	0
Moderate	9	10	12
Marked	0	0	0
Defective visualization			
Insignificant defect	0	0	0
Significant defect	0	0	0
Non-visualization	0	0	0

(負荷終了後 5 分) で  $0.247 \pm 0.057$ , delayed image (負荷終了後 4 時間) では  $0.212 \pm 0.066$  であり, RV(L)/LV(P) は early image で  $0.295 \pm 0.052$ , delayed image では  $0.276 \pm 0.057$  であった. RV(U)/LV(P) および RV(L)/LV(P) の指標を early

image, delayed image の間で検討しても有意の変化はみられなかった.

LAD 群では, early image の RV(U)/LV(P) は  $0.230 \pm 0.035$ , delayed image のそれは  $0.221 \pm 0.057$  であった. また early image の RV(L)/LV(P) は  $0.262 \pm 0.069$ , delayed image では  $0.243 \pm 0.052$  となったが, 両イメージ間の RV(U)/LV(P), RV(L)/LV(P) に統計学的な差異はみられなかった.

一方, RCA 群では, early image の RV(U)/LV(P) は  $0.297 \pm 0.044$  であったが, delayed image では  $0.200 \pm 0.063$  と減少をみた ( $p < 0.01$ ). また RV(L)/LV(P) についても, early image では  $0.319 \pm 0.072$  であったが, delayed image では  $0.215 \pm 0.058$  と有意に低値を示した ( $p < 0.01$ ). しかし同じく RCA 群に属する症例のうちでも, Fig. 4 に open circle で示した右冠動脈への側副

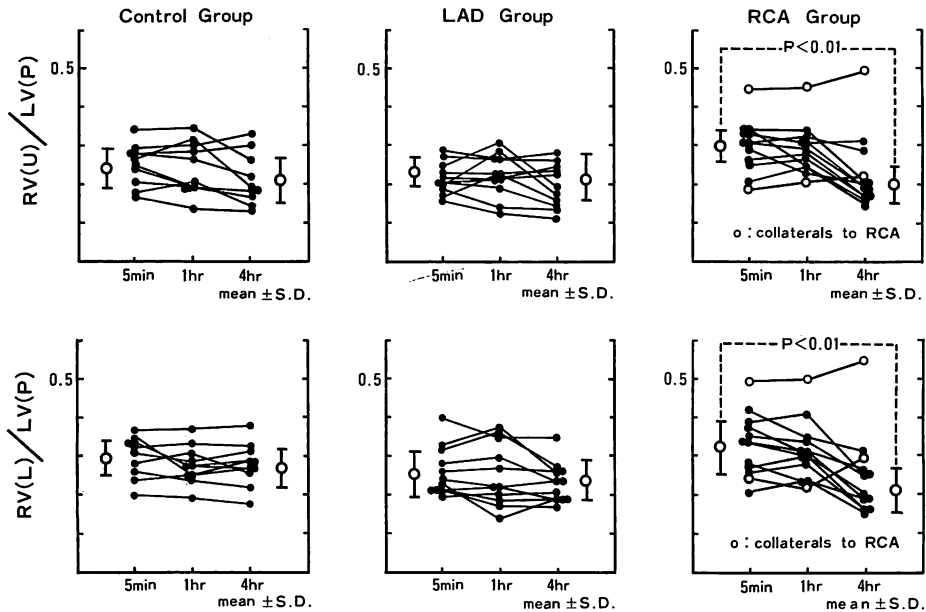


Fig. 4. Changes of RV uptake ratio during exercise myocardial scintigraphy.

RV uptake ratio means the count ratio of the right ventricular free wall to the most radioactive area in the left ventricle. There are no significant changes between the early and delayed images both in the control group and LAD group, but RV uptake ratio of the RCA group significantly decreased in the delayed image.

血行を有する症例では、RV(U)/LV(P) および RV(L)/LV(P) は delayed image でも減少せず、側副血行のない RCA 群とは明らかに異なるパターンを示した。

4. 右室壁 uptake ratio の経時的変化

運動負荷終了後4時間と終了後5分の RV uptake ratio の差を、終了後5分の RV uptake ratio で除したものを RV uptake 変化率 [%Δ{RV/LV(P)}] とし、3群について検討した (Fig. 5)。

右室壁上部についてみると対照群では  $-16.6 \pm 13.5\%$ , LAD 群では  $-4.75 \pm 18.7\%$ , RCA 群では  $-30.4 \pm 18.5\%$  であり、3群のうちのいずれの2群間で検討しても有意差はなかった。しかし、右室壁下部では、対照群では  $-8.3 \pm 8.62\%$ , LAD 群では  $-6.00 \pm 9.96\%$ , RCA 群では  $-33.3 \pm 11.2\%$  であり、RCA 群では他の2群のいずれと比較しても小であった (対 control 群:  $p < 0.01$ , 対

LAD 群:  $p < 0.01$ )。

5. 右冠動脈病変部位についての RV uptake 変化率

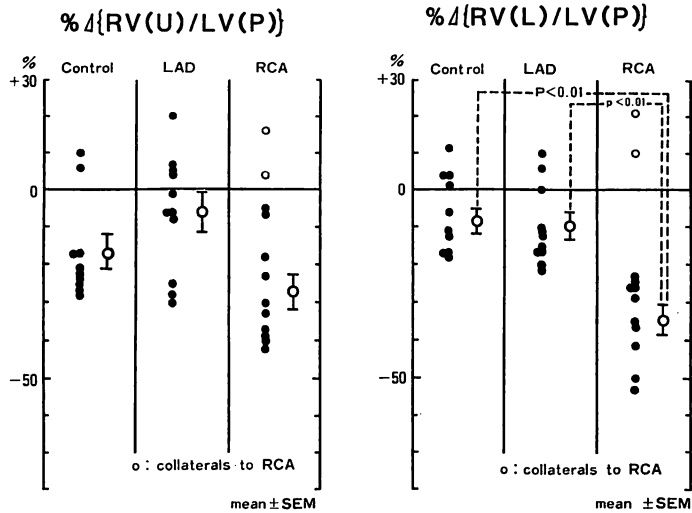
側副血行のない RCA 群をその責任冠動脈の病変部位により segment 1 病変例と segment 2 病変例とにわけ、その RV uptake 変化率 [%Δ{RV/LV(P)}] を検討したのが Fig. 6 である。

Segment 2 病変例では右室壁上部および右室壁下部の変化率の差は 20% 以下であり、右室壁上部と下部との間の RV uptake 変化率に差はなかった。

一方、segment 2 病変例では右室壁下部での RV uptake 変化率が減少する症例が多く、右室自由壁描出像は、右冠動脈病変部位の影響をうけることが示唆された。

6. 右冠動脈 aorto-coronary bypass (A-CB) 施行例における術前後の RV uptake ratio

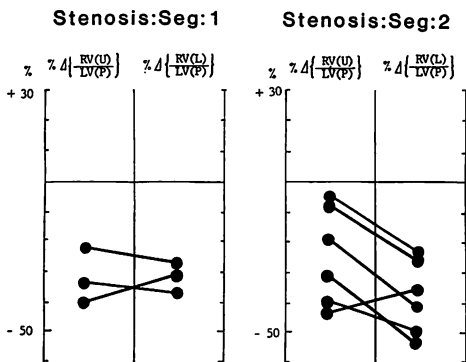
Segment 2 に 90% の高度冠狭窄病変を有する



**Fig. 5. Percent changes in the RV uptake ratio between the early (5 min) and delayed (4 hours) images in 3 groups.**

Percent change in the RV uptake ratio, %RV/LV (P), is induced as follows;

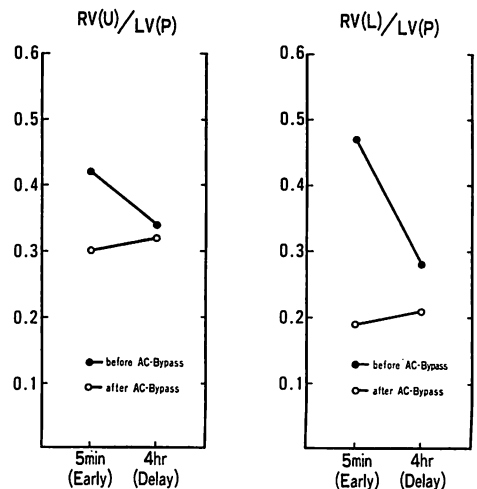
$$\% \Delta \left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\} = \frac{\left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{4 \text{ hr}} - \left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{5 \text{ min}}}{\left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{5 \text{ min}}} \times 100$$



**Fig. 6. Percent change in the RV uptake ratio between the early (5 min) and delayed (4 hours) images in segment 1 and segment 2 coronary artery desases.**

Percent change of RV uptake ratio, %Δ{RV/LV (P)}, is induced as follows:

$$\% \Delta \left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\} = \frac{\left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{4 \text{ hr}} - \left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{5 \text{ min}}}{\left\{ \frac{RV}{LV(P)} \right\}_{5 \text{ min}}} \times 100$$



**Fig. 7. Changes in the RV uptake ratio in a case who has aorto-coronary bypass graft to the right coronary artery.**

症例で, AC バイパス術前後の RV uptake ratio を Fig. 7 に示した.

術前の検討では, 右室壁の RV uptake ratio は負荷終了後 5 分に比して負荷終了後 4 時間では明らかに減少しているが, segment 2 への AC バイパス施行後の検討では, 負荷終了後のいずれの時点でも RV uptake ratio はほぼ同じ値を示し, 本法による右冠動脈病変検出の妥当性がうかがわれた. なお, 本症例の術前後の検査では, その pressure rate product (PRP) はほぼ同じ値であり, 同等の負荷が加わっていたと考えられる.

## 考 察

健常者の右室壁は安静時には心筋シンチ像に描出されない<sup>11)</sup>が, 右心負荷状態では安静時にも描出され, その病態ならびに重症度の推定上非常に興味をもたれ, すでに多くの報告がある<sup>11,13)</sup>. 一方, 健常者においても運動負荷時には右室壁がよく描出され, その機序として負荷による右室壁血流量の増大が考えられている.

右室壁はその 90% が右冠動脈, とくに右室枝により血液が供給され, 他の 10% は左冠動脈回旋枝から供給をうけている<sup>14)</sup>ので, 右室描出像を右冠動脈病変と関連させて考える報告もある<sup>4-9)</sup>. しかし, これらの報告の多くは, 視覚的な検討により明らかな右室壁欠損像を認めた症例についてであり, 右室壁が連続的に描出される症例については検討されていない.

我々は, 視覚的検討によって右室壁に欠損像を指摘できなかった症例について, 右室壁と左室壁最高カウント部位に ROI を設定し, そのカウント数の比  $RV(U \text{ or } L)/LV(P)$  から右室壁の radioactivity の評価を試みた. その評価と右冠動脈病変との関連では, 右冠動脈にのみ病変を有する RCA 群では, early image の値に比し, delayed image の値は有意に小であり, また, 他の 2 群とは明らかに異なったパターンを示した. とくに右室壁下部で RV uptake 変化率の減少を認めた症例では, 冠動脈 AHA 分類の segment 2 に高度

病変を有することが多かった. したがって運動負荷シンチグラフィーにより, 右冠動脈病変の有無ならびに病変部位の推測が可能と考えられた. とくに右冠動脈に A-C バイパス手術を施行した症例や, 右冠動脈領域に太い側副血行を有している例では, 対照群と同じパターンを呈し, 本法による右冠動脈病変検出の可能性を示唆している. しかし, Brown ら<sup>6)</sup>によると, 右室壁描出像には右冠動脈病変の有無以外に運動負荷量が大いに関係するという. 本研究の 3 群についてみると, 運動負荷前後の pressure rate product はほぼ等しいので, 運動負荷量の相違による影響は否定できよう. また, 冠動脈病変による冠血流量の減少の結果, 右室壁描出像に radioactivity の差異が生ずるとする本法の考え方は, 今日, 虚血の判定に用いられている washout ratio<sup>2)</sup> の概念からは説明し難く, その機序に関しては更に詳しい検討が必要である.

以上, 運動負荷心筋シンチグラフィーによる右冠動脈病変検出の可能性と限界について報告した.

## 要 約

運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋シンチグラムにおける右室壁描出像の意義について, 健常者を対象とした対照群 10 例, 左冠動脈に有意の狭窄を有する LAD 群 11 例, ならびに右冠動脈 segment 1 または 2 に有意の狭窄を有する RCA 群 12 例の, 計 33 例について検討した.

エルゴメーターによる運動負荷は, 25 watt (W) より開始し, 25 W ずつ増加する多段階漸増法にて行い, 亜最大負荷時または明らかな狭心痛出現時に <sup>201</sup>Tl 3mCi を急速静注した.

撮像は運動負荷終了 5 分後および 4 時間後に, 正面, 左前斜位 30 度, 同 45 度, 同 60 度, 左側面の 5 方向より行い, 運動負荷終了 1 時間後では左前斜位 45 度の一方向でのみ行った.

右室壁の radioactivity の評価には, 右室壁上部 {RV(U)}, 同下部 {RV(L)}, 左室壁最高カウ



ント部位 {LV(P)} に ROI を設定し、左室壁最高カウント部位に対する右室壁のカウント数の比、すなわち、RV uptake ratio {RV(U)/LV(P)} または RV(L)/LV(P) を用いた。

結果は下記のとおりである。

1. 対照群および LAD 群では、RV uptake ratio は early image と delayed image との間で有意の変化を示さなかったが、RCA 群では early image に比し、delayed image で減少した。

2. RCA 群でも右冠動脈領域へ太い側副血行路が発達している症例では、RV uptake ratio は対照群とほぼ同じパターンを呈した。

3. 右冠動脈に A-C バイパス術を施行した症例では、術前にみられた delayed image の RV uptake ratio の減少傾向は改善し、対照群と良く似たパターンを示した。

4. Segment 1 に病変を有する RCA 群では、RV uptake ratio の delayed image における減少は右室壁上部、右室壁下部でほぼ同等であったが、segment 2 病変例では、delayed image において、右室壁下部の減少は右室壁上部に比しより著明であった。

以上から、本法により右冠動脈病変の検出だけでなく、病変部位の推定も可能と考えられた。とくに本法は、右冠動脈へ A-C バイパス術を施行した症例の patency の評価に有用であろう。

#### 文 献

- 1) Bailey IK, Griffith LSC, Rouleau J, Strauss HW, Pitt B: Thallium-201 myocardial perfusion imaging at rest and during exercise: Comparative sensitivity to electrocardiography in coronary artery disease. *Circulation* **55**: 79, 1977
- 2) Watson DD, Campbell NP, Read EK, Gibson RS, Teates CD, Beller GA: Spatial and temporal quantitation of plane thallium myocardial images. *J Nucl Med* **22**: 577, 1981
- 3) Burow RD, Pond M, Schafer AW, Bocker L: "Circumferential profiles": A new method for computer analysis of thallium 201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* **20**: 771, 1979
- 4) Brachman MB, Rozanski A, Charuzi Y, Maddahi J, Waxman AD, Berman DS: Thallium-201 stress redistribution abnormalities of right ventricle: A manifestation of proximal right coronary artery stenosis. *Am Heart J* **101**: 288, 1981
- 5) Cahiri A, Carboni GP, Crawley JW, Raftery EB: Reversible ischaemia of right ventricle detected by exercise thallium-201 scintigraphy. *Br Heart J* **48**: 260, 1982
- 6) Brown KA, Boucher CA, Okada RD, Strauss HW, Mckusick KA, Pohost GM: Serial right ventricular thallium-201 imaging after exercise: Relation to anatomy of the right coronary artery. *Am J Cardiol* **50**: 1217, 1982
- 7) Brown KA, Boucher CA, Okada RD, Strauss HW, Pohost GM: Initial and delayed right ventricular thallium-201 rest-imaging following dipyridamole-induced coronary vasodilatation: Relationship to right coronary artery pathoanatomy. *Am Heart J* **103**: 1019, 1982
- 8) 片岡 一, 高岡 茂, 大窪利隆, 黒岩直親, 大重太真男, 中村一彦, 橋本修治: 負荷 thallium-201 心筋シンチグラフィによる右室虚血性病変の評価. *核医学* **19**: 1475, 1982
- 9) Gutman J, Brochman MB, Rozanski A, Maddahi J, Waxman A, Berman DS: Enhanced detection of proximal right coronary artery stenosis with the additional analysis of right ventricular thallium-201 uptake in stress scintigrams. *Am J Cardiol* **51**: 1256, 1983
- 10) 野原隆司, 神原啓文, 鈴木幸園, 田巻俊一, 門田和紀, 河合忠一, 玉木長良, 鳥塚堯爾: Tl-201 運動負荷心筋シンチグラフィによる RV 描出に基づいた近位部 RCA 病変の評価について. *ニュータウンカンファレンス* **6**: 15, 1983
- 11) Cohen HA, Baird MG, Rouleau JR, Fuhrmann CF, Bailey IK, Summer WR, Strauss HW, Pitt BP: Thallium-201 myocardial imaging in patients with pulmonary hypertension. *Circulation* **54**: 790, 1976
- 12) Goris ML, Daspit SG, McLaughlin P, Kriss JP: Interpolative background subtraction. *J Nucl Med* **17**: 744, 1976
- 13) Wackers FJ, Klay JW, Laks H, Schnitzer J, Zaret BL, Geha AS: Pathophysiologic correlates of right ventricular thallium-201 uptake in a canine model. *Circulation* **64**: 1256, 1981
- 14) Ter-Pogossian MM, Klein MS, Markham J, Roberts R, Sobel BE: Regional assessment of myocardial metabolic integrity in vivo by positron-emission tomography with "C-labeled palmitate." *Circulation* **61**: 242, 1980