

《原 著》

運動負荷 Tl-201 心筋 SPECT による遅延再分布の検討

武 藤 敏 徳*

要旨 運動負荷タリウム心筋シンチグラフィで、一部の症例で再分布が著しく遅延することがある。このため、虚血性心疾患 57 例に対して運動負荷タリウム SPECT を施行し、通常の方法に加え 23 時間後にも遅延スキャンを行い、遅延再分布について定量解析を行うとともにその臨床的意義について検討した。

57 例中 22 例 (38.6%) に遅延再分布が認められた。遅延再分布群での extent score および severity score は、4 時間と 23 時間でそれぞれ 0.43 ± 0.21 から 0.29 ± 0.19 , 57.3 ± 46.4 から 32.4 ± 30.4 と有意 ($p < 0.05$) な減少が見られた。遅延再分布群の washout rate は、遅延再分布領域だけでなく、左室全体でも低値であった。また、断層心エコー図では、遅延再分布領域での局所壁運動に収縮が認められた。

以上のことより、遅延スキャンは washout rate の低い症例での心筋の viability の評価に有用と思われた。

I. 緒 言

運動負荷タリウム心筋シンチグラフィは、虚血や梗塞の診断に有用^{1~3)}であり、一般的には運動負荷直後と 3~4 時間後との 2 回のイメージングを行い、再分布の有無によってその判定を行っている。しかし、一部には再分布が著しく遅延する例があり^{4,5)}、心筋の viability の正確な評価が困難なことがある。このため、通常の方法に加え 23 時間後にも遅延スキャンを行い、再分布法の問題点および遅延再分布の臨床的意義について検討したので報告する。

II. 対 象

対象は、運動負荷タリウム心筋シンチグラフィを施行した虚血性心疾患症例で、4 時間後の再分布が部分的か不完全であった 57 例 (陳旧性心筋梗塞 50 例、狭心症 7 例) であり、全症例における年齢は 60.4 ± 11.6 歳で、男性 49 例、女性 8 例である。

III. 方 法

1. 運動負荷法

運動負荷はトレッドミルを用い Bruce プロトコールにて施行した。1 分ごとに負荷中の心電図を記録し、3 分ごとに血圧の測定を行った。endpoint は胸痛の出現、ST の 2 mm 以上の低下、下肢の疲労、最大至適心拍数の 90% のいずれかに到達した時点とし、最大運動時に $^{201}\text{TlCl}$ 3~4 mCi 静注、さらに、可能な限り 1 分間運動を持続させ、撮像を行った。

2. データ収集と処理

撮像は運動直後、4 時間後および 23 時間後に single photon emission computed tomography (SPECT) により施行した。データ収集は左後斜位 40° から右前斜位 35° まで 5° ごとに 180°、36 方向について行い、1 方向につき運動直後 20 秒、4 時間後 30 秒、23 時間後 60 秒とした。使用カメラは低エネルギー汎用コリメータを装着した回転型ガンマカメラ (SIEMENS 社製 ZLC-75)、データ処理装置は島津社製シンチパック 2400 である。画像再構成は Shepp & Logan フィルターを用い、体軸横断断層像、左室長軸断層像、左室短軸断層像を得た⁶⁾。左室短軸断層像の 1 スライスの厚さは 6 mm とした。

* 東邦大学医学部第一内科

受付：62 年 12 月 23 日

最終稿受付：63 年 4 月 28 日

別刷請求先：東京都大田区大森西 6-11-1 (番 143)

東邦大学医学部付属大森病院第一内科

武 藤 敏 徳

3. 遅延再分布の判定と定量解析

遅延再分布の有無、すなわち、4時間後に比し23時間後で病変部のタリウム集積がさらに改善したかどうかで、視覚的に2群に分け、以下の方法で定量解析を行い、両群を比較した。

左室短軸断層像の中央のスライスから心基部方向および心尖部方向へおのおの4スライスの連続した9スライスについて、各スライスごとに 10° ごとのCircumferential profile curve (CPC)を作製した⁷⁾。そして各スライスごとに、別に作製した正常群での4時間後のCPCのmean-2SDのカーブと比較しmean-2SD以下の部分を虚血梗塞部と判定した。そして、虚血梗塞部の広がりと程度を表わすスコアとして、extent score (ES)およびseverity score (SS)を以下の式より計算し^{8,9)}、4時間後と23時間後の病変領域を比較した。

ES=病変ポイント数/全ポイント数

SS=病変領域におけるカウントと正常下限カープのカウントの差の総和/全ポイント数

4. washout rate の算出

washout rate (WR)は、全ポイントについて、負荷直後、4時間後、23時間後のCPCと正常下限のCPCをもとにコンピュータにより、負荷直後に分布が認められた正常領域、4時間で再分布が認められた再分布領域、4時間では再分布が認められなかったが23時間で再分布が認められた遅延再分布領域、23時間後にも再分布が認められなかつた非再分布領域の4領域に分類し、下記の式により算出した。そして、この4領域につき遅延再分布群と非遅延再分布群の両群間で比較した。また、全領域と正常領域については、正常群、遅延再分布群、非遅延再分布群の3群間で比較した。

WR=(運動負荷直後のカウント-4時間後のカウント)/運動負荷直後のカウント

5. 冠動脈造影

57例中43例に冠動脈造影を施行した。冠動脈の狭窄度はAHA分類で判定し、75%以上を有意狭窄病変とした。

Table 1 Incidence of late redistribution by visual assessment

	MI	AP	Total
LRD (+)	18	4	22 (38.6%)
LDR (-)	32	3	35 (61.4%)
Total	50	7	57 (100.0%)

(N.S.)

LRD=late redistribution

MI=myocardial infarction

AP=angina pectoris

Table 2 Endpoint of exercise

	LRD (+)	LRD (-)
HR (/min)	115.9 ± 21.5	119.9 ± 22.9
Double product	$18,106 \pm 4,759$	$17,743 \pm 5,990$

LRD=late redistribution

6. 断層心エコー図

局所壁運動判定のため、運動負荷タリウム心筋SPECTとほぼ同時期に断層心エコー図を施行し、両者の左室短軸像を比較した。

IV. 結 果

視覚的に判定した遅延再分布の頻度は57例中22例(38.6%)であった(Table 1)。

運動負荷量を心拍数およびdouble productで比較したが、遅延再分布群と非遅延再分布群の間に有意差は認められなかつた(Table 2)。

Figure 1に両群のESの変化を示す。遅延再分布群でのESは、4時間後では 0.43 ± 0.21 (mean \pm SD), 23時間後では 0.29 ± 0.19 であり、4時間後と23時間後で有意な($p < 0.05$) ESの減少が認められた。一方、非遅延再分布群でのESは、4時間後では 0.39 ± 0.19 , 23時間後では 0.44 ± 0.22 であり、4時間後と23時間後では有意な減少は認められなかつた。

Figure 2に両群のSSを示す。遅延再分布群でのSSは、4時間後では 57.3 ± 46.4 , 23時間後では 32.4 ± 30.4 であり、4時間後と23時間後で有意な($p < 0.05$) 減少が認められた。一方、非遅延再分布群でのSSは、4時間後では 53.7 ± 35.9 , 23時間

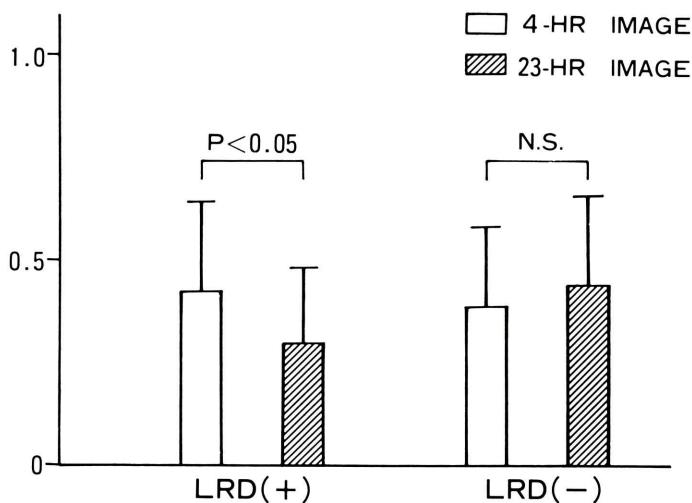


Fig. 1 Comparison of extent score between 4-HR and 23-HR images.
LRD=late redistribution

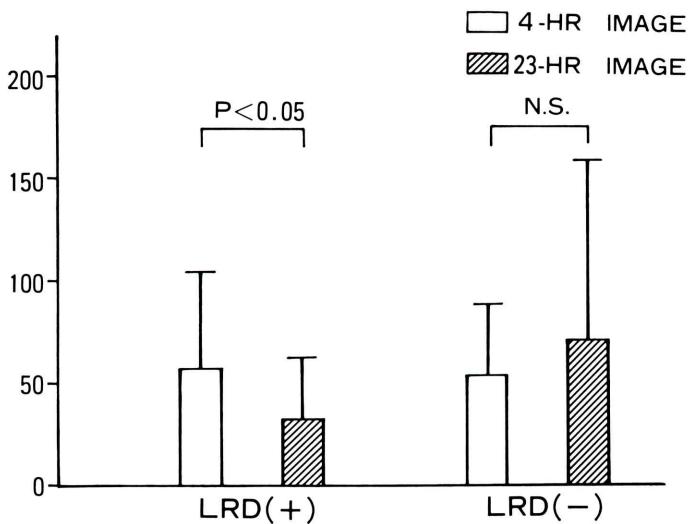


Fig. 2 Comparison of severity score between 4-HR and 23-HR images.
LRD=late redistribution

後では 60.6 ± 98.2 であり、4 時間後と 23 時間後では有意差は認められなかった。

Figure 3 に両群の各領域ごとの 4 時間後の WR を示す。遅延再分布群での WR は、正常領域で $43.5 \pm 10.5\%$ 、再分布領域で $31.3 \pm 13.2\%$ 、遅延再分布領域で $32.3 \pm 14.6\%$ 、非再分布領域で $29.9 \pm 18.2\%$ であった。一方、非遅延再分布群での WR

は、正常領域で $50.7 \pm 9.8\%$ 、再分布領域で $42.5 \pm 11.3\%$ 、遅延再分布領域で $45.4 \pm 12.4\%$ 、非再分布領域で $43.2 \pm 12.2\%$ であった。両群を比較すると、遅延再分布群は非遅延再分布群に比していずれの領域でも有意に ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$) WR の低値が認められた。

Figure 4 に正常群と両群での全領域および正常

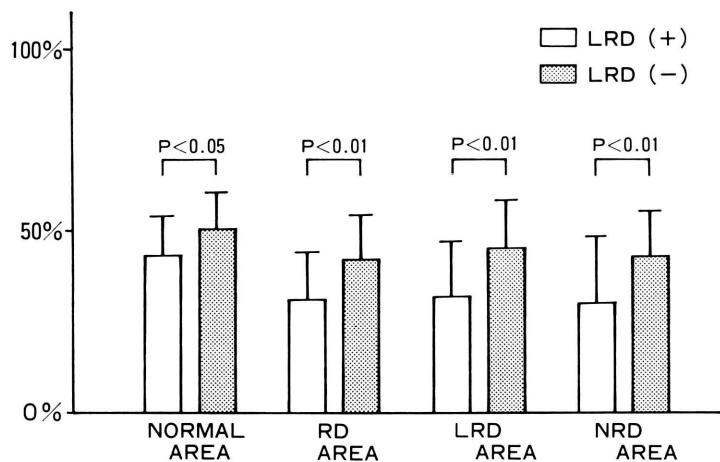


Fig. 3 Comparison of washout rate at 4-HR between with and without late redistribution.
RD=redistribution, LRD=late redistribution, NRD=no redistribution

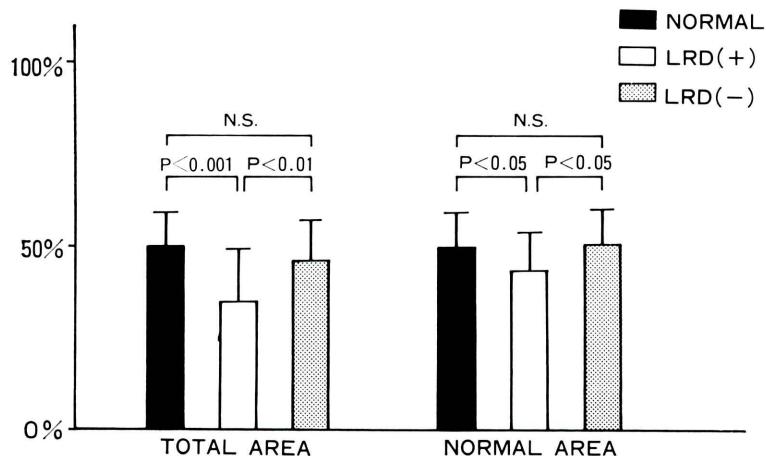


Fig. 4 Comparison of washout rate at 4-HR between normal group, groups with and without late redistribution.
LRD=late redistribution

領域の4時間後のWRの比較を示す。全領域のWRは正常群で $50.3 \pm 8.5\%$ 、遅延再分布群で $35.0 \pm 14.3\%$ 、非遅延再分布群で $46.1 \pm 10.8\%$ であり、正常群に比し遅延再分布群では有意な($p < 0.001$)WRの低値が認められたのに対し、非遅延再分布群では有意差は認められなかった。正常領域でのWRの比較では、正常群に比し遅延再分布群は有意($p < 0.05$)低いが、非遅延再分布群では有意差は認められなかった。

罹患冠動脈数と遅延再分布の有無には、有意差は認められなかった(Table 3)。

冠動脈の狭窄度を各領域で比較した。正常領域では狭窄度90%未満が多いが、遅延再分布領域および非再分布領域では狭窄度99%以上が多いことが認められた(Table 4)。

断層心エコー図で各領域の局所壁運動を比較した。局所壁運動をdyskinesis～akinesisの部分とその他の部分とに分けて比較すると、非再分布領

Table 3 CAG findings in patients with and without late redistribution

	3VD	2VD	1VD, Normal	Total
LRD (+)	8	5	5	18
LRD (-)	12	4	9	25
Total	20	9	14	43
			(N.S.)	

LRD=late redistribution

3VD=triple vessel disease

2VD=double vessel disease

1VD=single vessel disease

Table 4 Severity of coronary artery stenosis

	≥99%	99%> ≥90%	90%>	Total
Normal area	0	8	35	43
RD area	24	11	8	43
LRD area	11	6	1	18
NRD area	31	6	6	43
Total	66	31	50	147
			(p<0.001)	

RD=redistribution

LRD=late redistribution

NRD=no redistribution

域での局所壁運動は dyskinesis～akinesis の部分が多く、遅延再分布領域を含むその他の領域での局所壁運動では収縮が認められた (Table 5)。

Figure 5 に 50 歳の陳旧性心筋梗塞症例の負荷直後 (A), 4 時間後 (B) および 23 時間後 (C) の SPECT 短軸像と extent および severity map (D) を示す。この症例は、冠動脈造影所見では左回旋枝 Segment 13 は完全閉塞でわずかな側副血行路が認められ、運動負荷タリウム心筋シンチグラフィでは下壁で遅延再分布が認められた。

V. 考 察

運動負荷タリウム心筋シンチグラフィによる虚血や梗塞の診断、心筋の viability の判定は、一般的には運動負荷直後と 2～6 時間後のイメージの比較により再分布の有無を視覚的に判定することにより行われている^{1～3)}。しかし、梗塞部位でも再分布が認められたり¹⁰⁾、運動負荷タリウム

Table 5 Left ventricular wall motion assessed by UCT

	Dyskinesis-Akinesis	Hypokinesis-Normokinesis	Total
Normal area	0	57	57
RD area	7	50	57
LRD area	2	20	22
NRD area	36	21	57
Total	45	148	193

(p<0.001)

RD=redistribution

LRD=late redistribution

NRD=no redistribution

心筋シンチグラフィにより梗塞と判定された部位へ PTCA を行ったところ PTCA 後の運動負荷タリウム心筋シンチグラフィが正常化したとの報告もある¹¹⁾。一方、一部に再分布が著しく遅延する例もあり⁴⁾、従来の方法では心筋の viability を過小評価する可能性がある。本研究では、通常の方法に加え 23 時間後にも遅延スキャンを行い遅延再分布の頻度や程度を定量的に解析するとともにその臨床的意義について検討した。

遅延再分布は虚血性心疾患 57 例中 22 例 (38.6%) に認められた。定量的解析として ES および SS を算出した。ES および SS は、視覚的判定と同様の結果であった。すなわち、4 時間後と 23 時間後の ES および SS は遅延再分布群でのみ有意な減少が認められた。

正常領域、再分布領域、遅延再分布領域、非再分布領域でおのおのの WR を算出した。すべての領域で遅延再分布群は非遅延再分布群に比し有意な WR の低下が認められた。また、全領域と正常領域については、正常群との比較を行った。遅延再分布群は、正常群に比し、これらの領域で有意に WR の低下が認められた。正常領域での WR の低下に影響を与えるものとして肺野タリウム活性の増加と負荷量の不足が報告されている¹²⁾。肺野タリウム活性の増加は負荷時の心ポンプ機能不全の反映であり、今回の研究の対象は陳旧性心筋梗塞が大部分であることから両群でこの現象が生じていたと考えられる。また、負荷量については心拍数および double product で両群を比較した

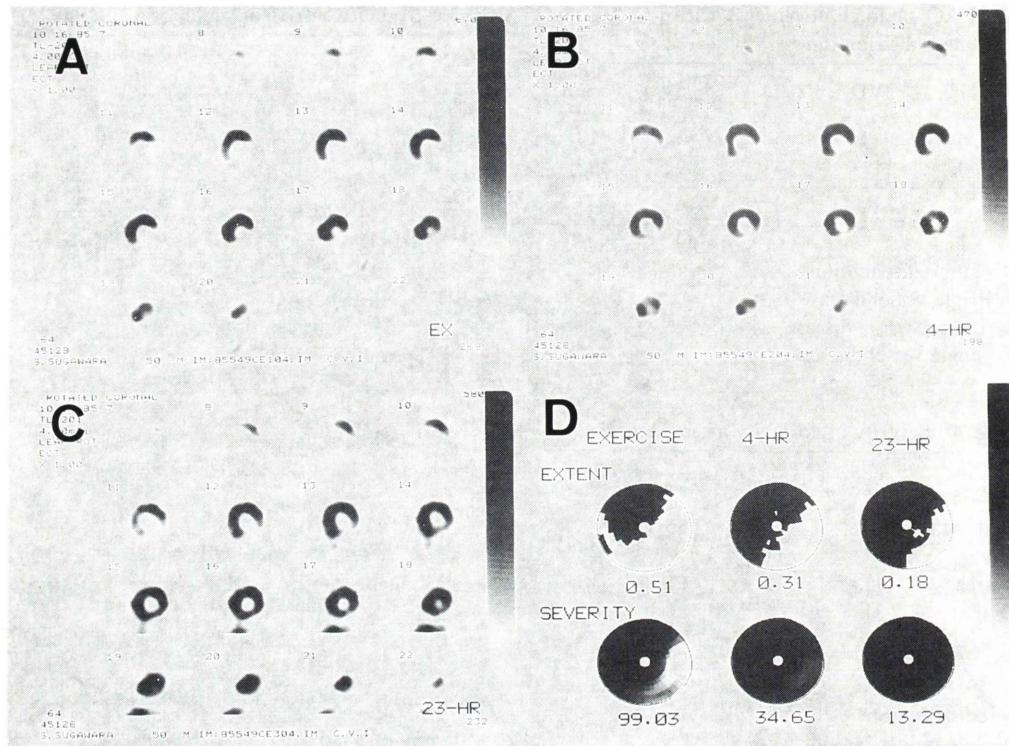


Fig. 5 Myocardial SPECT images at immediately after exercise (A), 4 hours later (B) and 23 hours later (C) and extent and severity maps (D). Late redistribution seemed in the inferior wall in a patient with previous myocardial infarction.

が、有意差は認められなかった。遅延再分布群でWRが低下した原因是明らかではないが、この左室心筋全体でのWRの低下が遅延再分布の原因の一つと考えられた。

遅延再分布領域への支配冠動脈の狭窄度は99%以上の高度狭窄が多く、このことは西村ら¹³⁾やGutmanら⁴⁾の報告と一致している。

遅延再分布領域での断層心エコー図でみた局所壁運動は、dyskinesis～akinesisの部分とその他の部分すなわち収縮のある部分とに分けると、遅延再分布領域での局所壁運動には収縮が認められた。このことから、遅延再分布領域でのviableな心筋の存在が強く示唆されるとともに、心筋のviabilityを判定するうえで、4時間後のイメージは23時間後のイメージに比し虚血領域を過小評価する可能性が高いことが示された。

以上のことより、WRの低下が認められた症例

での心筋のviabilityを評価するうえで、通常の方法に加え23時間後の遅延スキャンを行うことは有用と思われた。また、心エコー図でakinesisでも冠動脈内血栓溶解療法にて壁運動の改善する例も報告されており¹⁴⁾、より正確なviabilityの評価には脂肪酸のイメージング等の新しい方法が望まれる。

VI. 結論

- 1) 虚血性心疾患57例中22例(38.6%)に遅延再分布が認められた。
- 2) 23時間後のスキャンに比し4時間後でのスキャンのみでは再分布する領域を過小評価することがある。
- 3) 遅延再分布の認められた群のWRは、遅延再分布領域だけでなく左室全体でも低値であった。
- 4) 断層心エコーでは遅延再分布領域での局所

壁運動に収縮が認められた。

- 5) 心筋の viability の評価に対する遅延スキャンの有用性が示唆された。

稿を終えるに当たり、ご指導、ご校閲を賜りました日立総合病院岡部昭文先生、東邦大学医学部第一内科森下健助教授に深甚なる感謝の意を捧げます。また、心臓血管研究所加藤和三院長、上野孝志君のご援助、ご協力に感謝いたします。

本論文の要旨は、Society of Nuclear Medicine 33rd Annual Meeting (June, 1986)において発表した。

文献

- 1) Pohost GM, Zir LM, Moore RH, et al: Differentiation of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose thallium-201. *Circulation* **55**: 294-302, 1977
- 2) Leppo J, Yipintsoi T, Blankstein R, et al: Thallium-201 myocardial scintigraphy in patients with triple-vessel disease and ischemic exercise stress test. *Circulation* **59**: 714-721, 1979
- 3) Blood DK, McCarthy DM, Sciacca RR, et al: Comparison of single-dose and double-dose thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy for the detection of coronary artery disease and prior myocardial infarction. *Circulation* **58**: 777-788, 1978
- 4) Gutman J, Berman DS, Freeman M, et al: Time to completed redistribution of thallium-201 in exercise myocardial scintigraphy: Relationship to the degree of coronary artery stenosis. *Am Heart J* **106**: 989-995, 1983
- 5) 岡部昭文, 奥住一雄, 上野孝志, 他: Tl-201 SPECT による再分布遅延例の検討. ニュータウンカンファレンス **9**: 35-38, 1985
- 6) Borrello JA, Clinthorne NH, Rogers WL, et al: Oblique-angle tomography: A restructuring algorithm for transaxial tomographic data. *J Nucl Med* **22**: 471-473, 1981
- 7) Burow RD, Pond M, Schafer AW, et al: "Circumferential Profiles:" A new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* **20**: 771-777, 1979
- 8) Garcia EV, Van Train K, Maddahi J, et al: Quantification of rotational thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* **26**: 17-26, 1985
- 9) 中嶋憲一, 分校久志, 谷口充, 他: Tl-201 心筋血流の機能マップによる冠動脈疾患の評価. 核医学 **23**: 473-479, 1986
- 10) Verani MS, Jhingran S, Attar M, et al: Poststress redistribution of thallium-201 in patients with coronary artery disease, with and without prior myocardial infarction. *Am J Cardiol* **43**: 1114-1122, 1979
- 11) Liu P, Kiess MC, Okada RD, et al: The persistent defect on exercise thallium imaging and its fate after myocardial revascularization: Does it represent scar or ischemia? *Am Heart J* **110**: 996-1001, 1985
- 12) 西村恒彦, 植原敏勇, 林田孝平, 他: 運動負荷心筋スキャンにおける健常心筋部位の washout rate に関する検討. 核医学 **22**: 989-997, 1985
- 13) 西村恒彦, 植原敏勇, 林田孝平, 他: 運動負荷心筋スキャンにおける再分布完成時間、出現様式と冠動脈病変の関係について——早期および晚期再分布による検討——. 核医学 **22**: 1625-1632, 1985
- 14) 上松正朗, 増山理, 南都伸介, 他: 急性心筋梗塞における冠動脈再疎通後の左室壁運動改善度: 断層心エコー図による経時的評価. *J Cardiogr* **16**: 535-544, 1986

Summary

Assessment of Thallium-201 Late Redistribution in Exercise Myocardial SPECT

Toshinori MUTO

The First Department of Internal Medicine, Toho University School of Medicine

Redistribution of Thallium-201 following exercise stress may continue to occur for more than 2 to 6 hours in some patients, and possibility exists to underestimate the viability of myocardium with delayed scan at those times. 57 patients with coronary artery disease underwent multistage treadmill exercise. Thallium-201 myocardial SPECT were obtained immediately after exercise, 4 hours and 23 hours later. Quantitative analysis was performed with circumferential profiles of continuous 9 short axial images of left ventricle. With visual interpretation, 22 of 57 patients (38.6%) showed late redistribution. In the group with late redistribution, extent score was 0.43 ± 0.21 at 4 hours and 0.29 ± 0.19 at 23 hours. Severity score was 57.3 ± 46.4 at 4 hours and 32.4 ± 30.4 at 23 hours. These dif-

ferences were statistically significant ($p < 0.05$). The washout rate in patients with late redistribution was significantly lower than that in patients without late redistribution not only at the area of late redistribution but also at the remainder areas including normal area. An assessment of regional wall motion revealed that most of the myocardial segments with late redistribution preserved contraction. From these observations, it is considered that late scans are useful in order to estimate myocardial viability especially in cases which shows slow tracer washout.

Key words: Exercise thallium-201 myocardial scintigraphy, Single photon emission computed tomography, Redistribution, Coronary artery disease.