

## 《原 著》

## 回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用

——第6報：運動負荷時・再分布時のタリウム心筋 ECT の検討——

玉木 長良*	米倉 義晴*	向井 孝夫*	藤田 透*
湊 小太郎*	森田 陸司*	鳥塚 莞爾*	野原 隆司**
鈴木 幸園**	田巻 俊一**	門田 和紀**	神原 啓文**
河合 忠一**	石井 靖***		

**要旨** 健常人8例，虚血性心疾患（CAD）48例の計56例に，運動負荷時および再分布時にタリウム ECT を施行し，冠動脈領域別に欠損の有無を検出した．欠損を認めたのは CAD 48例中 45例（94%），罹患冠動脈95本中78本（82%）であった．また罹患冠動脈数を正しく推定できたのは，1枝病変 78%，2枝病変 69%，3枝病変 53%と本数が増える程低下した．これに ROI 法による定量的解析法を加えると，3枝病変正診率は 76%と上昇し，罹患冠動脈の検出率も 92%と改善したが，やや読み過ぎの傾向もみられた．罹患冠動脈別の sensitivity は RCA 85%，LAD 90%，LCX 63%であり，specificity はいずれも90%を越えた．X線左室造影所見と対比すると，欠損のない区域では94%が正常な壁運動を呈した．著明な壁運動異常を呈したのは再分布のみられた欠損部の15%に対し，再分布のみられない部位の63%に達した．運動負荷 ECT は，CAD の診断や罹患冠動脈の検出に優れ，再分布時 ECT との併用により心筋 viability の評価が可能と考えられた．

## I. はじめに

$^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィーは，非侵襲的に心筋虚血部を視覚化できる方法として，虚血性心疾患の評価に欠くことのできない検査法となっている．とりわけ運動負荷心筋シンチグラフィーは，虚血性心疾患の診断に優れた成績を示している<sup>1,2)</sup>．しかしながら罹患冠動脈別の検討では，必ずしも良好な成績が示されていない<sup>3,4)</sup>．

著者らは3年前より回転型ガンマカメラを用いた  $^{201}\text{Tl}$  心筋エミッション CT (ECT) を検討し，その有用性について報告してきた<sup>5-7)</sup>．今回は本

法を運動負荷時および再分布時の心筋イメージングに利用し，segmental analysis を行うことにより罹患冠動脈の検出能，心筋 viability の評価について検討を加えたので報告する．

## II. 対象および方法

対象は虚血性心疾患が疑われ，本院にて心臓カテーテル検査および  $^{201}\text{Tl}$  運動負荷心筋シンチグラフィーの施行された56例を選んだ．うちわけは，冠動脈造影にて50%以上の狭窄を有しない健常人8例，50%以上の狭窄を有する虚血性心疾患48例で，そのうち26例が臨床上心筋梗塞の既往があった．罹患冠動脈数は，1枝病変18例，2枝病変13例，3枝病変17例である．

運動負荷は3分ごとに 25 W ずつ漸増する多段階運動負荷とし，胸痛または心電図 ST 変化をめやすとして，最大負荷時に  $^{201}\text{Tl}$  2 mCi を静注し，さらに1分間運動を持続した．5～10分後より，高分解能コリメータを装着した回転型ガンマカメ

\* 京都大学医学部放射線核医学科

\*\* 同 第三内科

\*\*\* 福井医科大学放射線科

受付：58年4月22日

最終稿受付：58年6月29日

別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町 (☎ 606)

京都大学医学部附属病院放射線核医学科

玉 木 長 良

ラ (GE 社製: Maxi 400 T) およびオンラインで接続したデータ処理装置 (DEC 社製: PDP 11/60) を用いて  $^{201}\text{Tl}$  心筋 ECT を施行した。また約 2 時間半後に同じ位置にて ECT を施行し、再分布像を得た。

心筋 ECT は被験者を仰臥位とし、心臓の前面を中心とする  $180^\circ$ 、すなわち LPO  $45^\circ$  から RAO  $45^\circ$  まで、1 方向 20 秒で  $5.6^\circ$  ずつ回転させ、32 方向よりデータ収集した<sup>8,9)</sup>。ECT の再構成は重畳積分法を用い、Chesler のフィルターを使用した<sup>5-7)</sup>。なお吸収補正は行わなかった。再構成された断面は横断 (水平) 断層像の他、心臓の軸に沿った左室短軸断層像および左室長軸断層像で (Fig. 1)、それぞれ心臓全体をカバーする 12 mm ほどの多層の断面である。

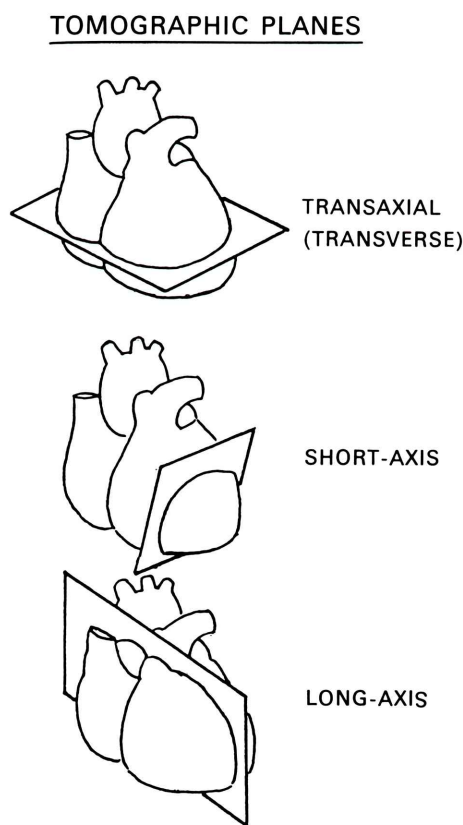


Fig. 1 Schematic presentation of thallium myocardial ECT planes.

得られた左室心筋断面像より心筋を AHA 分類<sup>10)</sup>により 7 区域に、さらに心室中隔と側後壁をおののお前後に分けて、合計 9 区域について冠動脈病変と対比検討した。著者らのこの segmental analysis の成績<sup>11)</sup>より、Fig. 2 に示す如く下壁・後壁を右冠動脈 (RCA) 病変、心室中隔・前壁を左前下行枝 (LAD) 病変、側後壁を左回旋枝 (LCX) 病変として評価を行った。また、X 線左室造影との対比は AHA 分類の 7 区域について行った。

ECT 画像の読影は、バックグラウンド 30% を除去した 3 つの多層断面の画像を用いて、視覚的に 2 人の検者が別々に判定した。運動負荷時 ECT

#### SCHEMATIC PRESENTATION OF ECT IMAGES

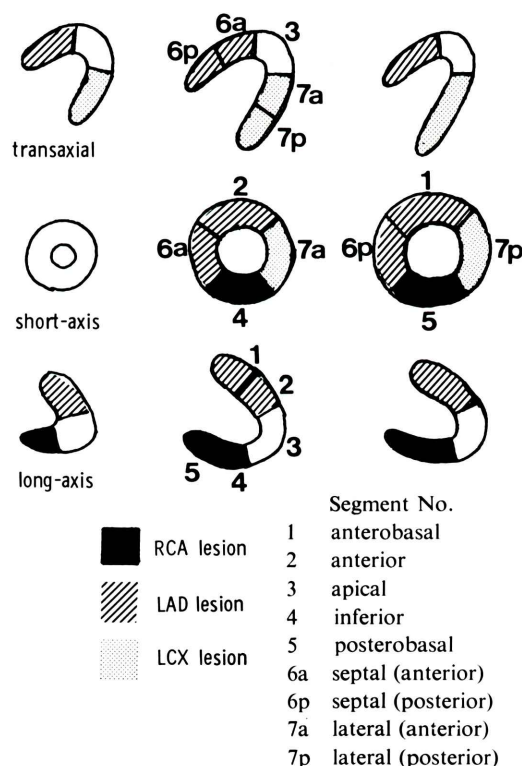


Fig. 2 Left ventricular myocardial segments of ECT images. RCA disease is identified on defect in inferior (No. 4) and posterobasal (No. 5) segments, LAD disease in septal (No. 6), anterior (No. 2) and anterobasal (No. 1) segments, and LCX disease in lateral (No. 7) segment.

画像は、区域ごとに正常 (2)、明らかな集積低下 (1)、欠損 (0) の 3 段階に読影し、(1) および (0) を異常とした。また再分布時 ECT 画像は、運動負荷時 ECT 画像と対比することにより、異常区域の再分布の有無を判定した。2 人の読影に不一致がみられた場合、合議により決定した。

次に定量的評価法として、運動負荷時 ECT 画像の 9 区域のそれぞれ中央に、 $4 \times 4$  pixel の関心領域を設定した。その平均カウントから、左室の最大カウントに対する比 (% 区域カウント) を求めた。一方、運動負荷時と再分布時の ECT 画像の同じ区域の平均カウントの差を負荷時のカウントで除した値を wash out rate とした。健常人 8 例について % 区域カウントおよび wash out rate を算出し、mean-2 SD を正常下限として、虚血性心疾患 48 例について集積の低下および wash out の低下の有無を定量的に評価した。

### III. 結 果

冠動脈造影の施行された 56 例、冠動脈 168 本の

診断精度を、視覚法・定量法に分けて Table 1 に示した。両診断法とも、虚血性心疾患 48 例 45 例 (94%) に異常を認めた。罹患冠動脈病変別では、視覚法が 95 本中 78 本 (82%) の異常を検出したのに対し、定量法では 87 本 (92%) と sensitivity (有病正診率) は上昇した。罹患冠動脈数が増すほど sensitivity は低下する傾向にあったが、定量法は特に多枝病変例での sensitivity を改善した。

一方 specificity (無病正診率) は、8 例中 7 例 (88%) 正診したが、冠動脈病変別には視覚法が 73 本中 70 本 (96%) と良い成績を示したのに対し、定量法は 89% とわずかに specificity を低下させる傾向が認められた。False positive を示した 1 例は、心肥大があり心尖部から心室中壁に集積低下のみられた例であった。

運動負荷 ECT より、罹患冠動脈の本数の推定を試みた (Table 2)。視覚的判定法では、健常人を正診しえたのは 88% (7/8)、1 枝病変を 1 枝病変と正しく診断したのは 78% (14/18)、2 枝病変を 2 枝と正診したのは 69% (9/13)、3 枝病変を 3 枝と正

**Table 1** ECT results by subjective and quantitative methods in relation to number of diseased vessels

		Subjective method			
		1 VD	2 VD	3 VD	
Patients		16/18	12/13	17/17	Sensitivity
		16/18	21/26	41/51	45/48 (94%)
					Specificity
					7/8 (88%)
					78/95 (82%)
					70/73 (96%)
		Quantitative method			
		1 VD	2 VD	3 VD	
Patients		16/18	12/13	17/17	Sensitivity
		16/18	24/26	47/51	45/48 (94%)
					Specificity
					7/8 (88%)
					87/95 (92%)
					65/73 (89%)

**Table 2** ECT prediction of number of diseased vessels

		ECT predictions							
		Subjective method				Quantitative method			
		0	1 VD	2 VD	3 VD	0	1 VD	2 VD	3 VD
Angio	0	7	1	0	0	7	1	0	0
	1 VD	2	14	2	0	1	13	3	0
	2 VD	1	3	9	0	1	0	10	2
	3 VD	0	2	6	9	0	0	4	13



Table 3 ECT prediction of individual coronary artery involvement

	ECT prediction					
	RCA		LAD		LCX	
	+	-	+	-	+	-
CAG	+	23	4	+	38	4
	-	3	26	-	1	13
Sn=85% Sp=90%		Sn=90% Sp=93%		Sn=63% Sp=100%		

(Sn=sensitivity; Sp=specificity; CAG=coronary arteriography)

Table 4 ECT prediction of proximal LAD involvement in relation to anterior wall perfusion defect

ECT prediction anterior segment defect			
		+	-
CAG	Proximal LAD	22	6
	Distal LAD	2	13

診したのは53% (9/17) と、罹患冠動脈数が増す程正診率が低下する傾向がみられた。特に、3枝病変例で2枝病変と診断した例が多かった。他方定量法では、3枝病変例で uptake の低下を認めた9例に加え4例に wash out の異常がみられ、正診率は76%と上昇した。ただ、2枝病変を3枝病変と診断したのが2例、1枝病変を2枝病変と診断した例が3例と、やや読み過ぎ(overdiagnosis)の傾向がみられた。

罹患冠動脈別の運動負荷 ECT の成績を Table 3 に示した。RCA 病変診断の sensitivity 85%, specificity 90%, LAD 病変はおおの 90%, 93%, LCX 病変はおおの 63%, 100% と、いずれも比較的高い値が得られ、ECT による罹患冠動脈の推定は高い診断精度を示していた。なお RCA 病変で false positive を示した3例は、LAD 病変が心尖部を越えて下壁に及んだもの1例、および LCX 病変が下壁に及んだもの2例であった。

また、LAD 病変例42例については、AHA 分類の6番を起始部病変、それより末梢を末梢病変とに分類し、ECT の左室前壁部 (Fig. 2 の Seg 1, 2) の欠損との関係をみた (Table 4)。左室前壁の集積低下は、LAD 起始病変に高率にみられ、かつ

specific な所見であることが示された。

次に、運動負荷時および再分布時の ECT 像より、7区域を欠損のない区域、再分布のある欠損の区域、再分布のない欠損の区域の3つに分けて、X線左室造影所見と対比検討した (Table 5)。その結果、欠損のない区域では94% (223/238) が正常の壁運動を示した。一方、著明な壁運動異常を呈したのは、再分布を認めた欠損81区域中12区域 (15%) であったのに対し、再分布を認めなかった欠損63区域中42区域 (63%) と有意 ( $p < 0.02$ ) に高率に認められた。このように欠損部において、再分布の有無を判定することは、心筋の viability を評価するうえできわめて有用と考えられた。

症例を2例提示する。

Figure 3 に心筋梗塞の既往のない、RCA, LAD に狭窄をもつ2枝病変例の ECT 像を示す。運動負荷時 ECT 像では、下壁および中隔の欠損が明らかとなり、RCA, LAD 病変と推定できた。再分布時 ECT 像では、いずれの欠損も再分布がみられた。X線左室造影では、心尖部に軽度の収縮低下がみられたのみであった。

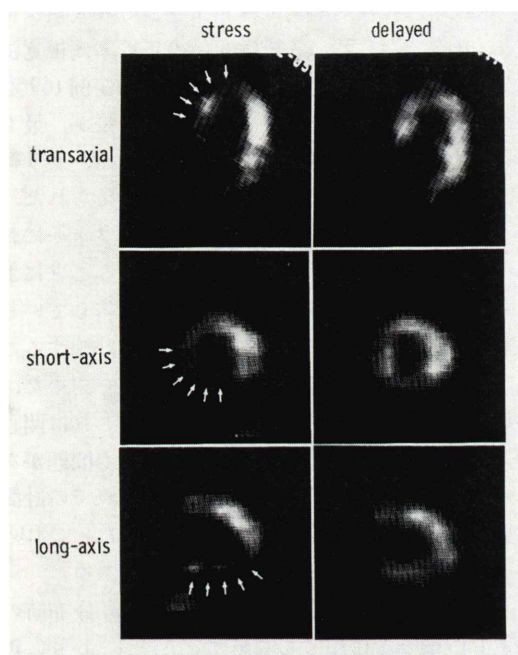
Figure 4 は心筋梗塞の既往のない3枝病変例の ECT 像である。運動負荷時に前壁・中隔・下壁に明らかな欠損がみられ、LAD, RCA 病変と診断されたが、側後壁には欠損はなく、LCX 病変は否定された。一方、定量法による同部位の wash out rate は、健常人に比べ軽度低下しており、LCX 病変の合併が定量法により示唆された。

#### IV. 考 案

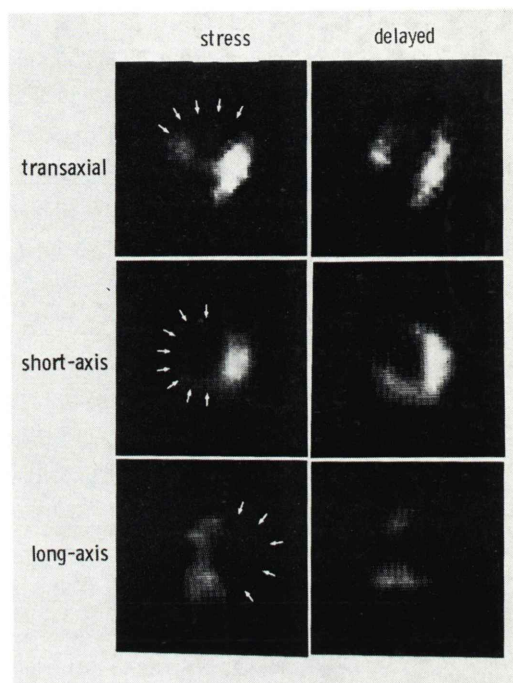
著者らは3年前より、回転型ガンマカメラを用

**Table 5** Comparison of ECT perfusion defect with regional wall motion abnormalities by contrast left ventriculography

		Contrast left ventriculography regional wall motion		
		Normal	Hypokinesis	A or dyskinesis
ECT results	No defect	223	15	0
	Transient defect	45	24	12
	Persistent defect	4	17	42

**Fig. 3** Stress and redistribution ECT images in a case with two-vessel disease (RCA & LAD). Perfusion defect is clearly seen in septal, apical, inferior and posterobasal segments (arrows), indicating RCA and LAD involvement. Percent uptake rate and washout rate were calculated (\*indicates abnormal values).

	% uptake	washout (%)
1	49	26
2	58	22*
3	39*	25*
4	36*	-20*
5	41*	7*
6a	42*	38
6p	35*	42
7a	74	27
7p	65	39

**Fig. 4** Stress and redistribution ECT images in a case with three-vessel disease. Perfusion defect is seen in anterior, apical, septal, inferior and posterobasal segments (arrows), indicating RCA and LAD involvement. Quantitative method indicates abnormal washout rate in lateral segment as well, which is compatible with LCX involvement.

	% uptake	washout (%)
1	52	26
2	36*	-6*
3	27*	-21*
4	43*	14*
5	57	39
6a	49*	24*
6p	27*	-3*
7a	76	24*
7p	71	38

いた心臓のエミッション CT の有用性を報告してきた<sup>5-9,12-14</sup>). タリウム心筋 ECT 法では、心筋への RI 分布を立体的に表示することが可能であり、通常の 2 次元シンチグラフィでは健常部心筋や周囲臓器との重なりから、描出することの困難な小さな病巣の検出にきわめて役立つ。安静時のタリウム ECT と通常の 2 次元シンチグラフィとの比較では、心筋梗塞診断の sensitivity は ECT が明らかに優れていた<sup>5-7</sup>). また、7 ピンホールにみられるような specificity の低下もみられなかった。今回は小さな病巣検出に優れたタリウム ECT を、運動負荷イメージングに利用し、その有用性を検討した。なお通常の 2 次元シンチグラフィは ECT の直後に施行したが、負荷後早期の再分布の影響<sup>15</sup>) も考慮し、両者の比較は不公平と考え施行せず、ECT のみの検討にとどめた。また収集カウントの低下を軽度にとどめるため、再分布像は約 2 時間半後に施行した。

今回の検討では、運動負荷タリウム ECT は虚血性心疾患の評価に高い診断精度を示し、罹患冠動脈の検出率も良好であった。また定量法を用いた評価を行えば、検出率はさらに改善する傾向がみられた。

Rigo ら<sup>4</sup>) は 50% 以上の冠動脈狭窄を有する虚血性心疾患に、通常の 2 次元タリウム心筋シンチグラフィを施行し、視覚的判定法により得られた冠動脈別検出率は RCA 50%, LAD 63%, LCX 21% としている。著者らの成績では RCA 85%, LAD 90%, LCX 63% と、Rigo らの報告に比べ、いずれも高い sensitivity が得られた。また specificity は、いずれの冠動脈病変も 90% 以上を示しており、きわめて高い診断精度を示すことが確認できた。この成績は竹田ら<sup>16</sup>) の運動負荷タリウム ECT の結果とほぼ同等のものである。

このように運動負荷 ECT が、虚血病変の診断に優れた成績を示した理由には、以下の 3 点が考えられる。

1) 断層表示法により病変部のコントラストがあがり、軽度の虚血病変が描出できるようになった。

2) 心臓の軸にそって多層の断面が表示されるため、病巣の位置・広がりが的確に把握でき、支配冠動脈領域別の segmental analysis が正確に行えるようになった。

3) 以前より診断の困難とされていた多枝病変においても、大きな虚血病変に隠されていた深部の虚血病変が、断層表示により描出できるようになった。

しかしながら、ECT を用いても、罹患冠動脈数の推定は、多枝病変例ではあまり良好な成績は得られなかった。特に 3 枝病変例の正診率は視覚法で 53% と、1 枝病変例 (78%), 2 枝病変例 (69%) に比べて悪かった。これは運動負荷の量が、最も重症な虚血病変に規定されることが多く、より軽度の病変部が虚血に至らないためと考えられた。

Maddahi ら<sup>17</sup>) は 2 次元シンチグラフィにおいて、タリウムの wash out を計測することにより、多枝病変例の診断が改善すると報告している。著者らも定量法において wash out を計測することにより、多枝病変例の診断能の向上を認めた。ただやや読み過ぎの傾向がみられた。これは関心領域のとり方、正常下限の設定などにも問題があり、さらには負荷直後と 2 時間後の 2 点での計測のため、誤差を生じやすい難点もあった。これらについてはさらに改良を加える予定である。

運動負荷時の ECT 画像とともに、再分布時の ECT 画像とを併用して読影することにより、再分布状態が明瞭となり、心筋局所の viability を評価するうえで有用であった。2 次元シンチグラフィにおいて、再分布現象の重要性は指摘されているが<sup>18</sup>)、ECT を用いた segmental analysis により、再分布の状態をより詳細に評価できる。ECT を用いた区域ごとの再分布の評価は、予後判定、治療方針の決定など、今後さらに利用されるべき手法と考えられる。

## V. 結 語

運動負荷時および再分布時にタリウム心筋 ECT を 56 例に施行し、虚血性心疾患の評価を行い次の結論を得た。



- 1) 視覚的判定法では虚血性心疾患例の94%, 罹患冠動脈の82%に異常を認めた。
- 2) 罹患冠動脈数別の検討では, 1枝病変例を正診しえたのは78%, 2枝病変69%, 3枝病変53%と罹患数が増えるにつれて正診率は低下した。
- 3) 定量的判定法により, 3枝病変例の正診率は上昇し, 罹患冠動脈の検出率は改善したが, やや読み過ぎの傾向がみられた。
- 4) 罹患冠動脈別の検討では, sensitivityはRCA 85%, LAD 90%, LCX 63%であり, specificityはいずれも90%以上と優れた診断能を示した。
- 5) LAD病変例の検討では, 起始部病変例で高率に前壁部の欠損が認められた。
- 6) X線左室造影との対比では, 再分布のみられた欠損で著明な壁運動を認めたのが15%に対し, 再分布のない欠損では63%にのぼり, 心筋 viability の評価が可能と考えられた。

本論文の要旨は第23回日本核医学会総会(昭和58年9月, 於高槻)にて発表した。

## 文 献

- 1) Bailey IK, Griffith LSC, Rouleau J, et al: Thallium-201 myocardial perfusion imaging at rest and during exercise: Comparative sensitivity to electrocardiography in coronary artery disease. *Circulation* **55**: 79-87, 1977
- 2) Ritchie JL, Trobach GB, Hamilton GW, et al: Myocardial imaging with thallium-201 at rest and during exercise: Comparison with coronary arteriography and resting and stress electrocardiography. *Circulation* **56**: 66-71, 1977
- 3) Massie BM, Botvinick EH, Brundage BH: Correlation of thallium-201 scintigrams with coronary anatomy: Factors affecting region by region sensitivity. *Am J Cardiol* **44**: 616-622, 1979
- 4) Rigo P, Bailey IK, Griffith LSC, et al: Value and limitations of segmental analysis of stress thallium myocardial imaging for localization of coronary artery disease. *Circulation* **61**: 973-981, 1980
- 5) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Clinical evaluation of thallium-201 emission myocardial tomography using a rotating gamma camera: Comparison with seven-pinhole tomography. *J Nucl Med* **22**: 849-855, 1981
- 6) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: 回転型ガンマカメラによる<sup>201</sup>Tl心筋断層像: 特に7ピンホールコリメータによる断層法との比較検討(第1報)基礎的検討. *核医学* **18**: 793-799, 1981
- 7) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: 回転型ガンマカメラによる<sup>201</sup>Tl心筋断層像(第2報)臨床的検討. *核医学* **18**: 801-808, 1981
- 8) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Comparative study of thallium emission myocardial tomography with 180° and 360° data collection. *J Nucl Med* **23**: 661-666, 1982
- 9) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: 回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用(第3報)180°データ収集によるタリウム心筋ECTの検討. *核医学* **19**: 535-540, 1982
- 10) AHA committee report: A reporting system of patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* **51**: June, 1975
- 11) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, et al: Values and limitations of segmental analysis of stress and redistribution Tl ECT for location of coronary artery disease. *J Nucl Med* **24**: 18, 1983 (abst)
- 12) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: 回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用(第4報)心拍同期ECTの試み. *核医学* **19**: 757-764, 1982
- 13) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: 回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用(第5報)——<sup>99m</sup>Tcピロリン酸心筋ECTによる急性心筋梗塞の局在診断——. *核医学* **19**: 1179-1187, 1982
- 14) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Multiaxial tomography of heart chambers by gated blood-pool emission computed tomography using a rotating gamma camera. *Radiology* **147**: 547-554, 1983
- 15) Berman DS, Maddahi J, Charuzi Y, et al: Rate of redistribution in Tl-201 exercise myocardial scintigraphy. *Circulation* **58**: II-63, 1978 (abst)
- 16) 竹田 寛, 前田寿登, 中川 毅, 他: ガンマカメラ回転型 Emission computed tomography による<sup>201</sup>Tl 負荷心筋断層像. *核医学* **20**: 53-62, 1983
- 17) Maddahi J, Garcia EV, Berman DS, et al: Improved noninvasive assessment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of thallium-201. *Circulation* **64**: 924-935, 1981
- 18) Bodenheimer MM, Banka VS, Fooshee CM, et al: Relationship between regional myocardial perfusion and the presence, severity and reversibility of asynergy in patients with coronary artery disease. *Circulation* **58**: 789-796, 1978

## Summary

### Cardiac Emission Computed Tomography (ECT) Using a Rotating Gamma Camera (6) Evaluation of Stress and Redistribution ECT Imaging

Nagara TAMAKI\*, Yoshiharu YONEKURA\*, Takao MUKAI\*, Toru FUJITA\*,  
Kotaro MINATO\*, Rikushi MORITA\*, Kanji TORIZUKA\*, Ryuji NOHARA\*\*,  
Yukinoso SUZUKI\*\*, Shunichi TAMAKI\*\*, Kazunori KADOTA\*\*,  
Hirofumi KAMBARA\*\*, Chuichi KAWAI\*\* and Yasushi ISHII\*\*\*

*\*Department of Radiology and Nuclear Medicine, and \*\*Department of Internal Medicine,  
Kyoto University Medical School*

*\*\*\*Department of Radiology, Fukui Medical School*

The value of stress and redistribution thallium-201 emission computed tomography (ECT) for detecting individual coronary artery involvement was analyzed in 58 cases, including 8 normal cases and 48 cases with angiographically proved coronary artery disease (CAD).

Perfusion defect was observed in 45 of the 48 cases with CAD (94%) and in 78 of the 95 diseased coronary arteries (82%). Number of diseased coronary arteries was accurately predicted in 78% of those with single vessel disease and 69% of those with two-vessel disease, but only in 53% of those with three-vessel disease. Quantitative assessment of thallium distribution and washout rate improved the sensitivity for detection of diseased vessels (95%) and accuracy for prediction of three vessel disease (76%). The sensitivity for detection of individual coronary artery involvement was

85% for RCA, 90% for LAD, and 63% for LCX. The specificity was also high (90% for RCA, 93% for LAD, and 100% for LCX.)

Segmental analysis of ECT imaging was comparatively assessed with the results of contrast left ventriculography. Marked wall motion abnormalities (dys- or akinesis) were seen in 15% of the segments with transient perfusion defect, but in 63% of those with persistent perfusion defect.

We conclude that stress and redistribution thallium ECT imaging is a sensitive and specific tool for predicting individual coronary artery involvement and regional myocardial viability.

**Key words:** Thallium-201, emission computed tomography, rotating gamma camera, coronary artery disease, exercise test.