

運動負荷タリウムエミッション・コンピューター断層法による心筋梗塞後の心筋生存能の評価

Evaluation of myocardial viability in myocardial infarction by thallium-201 emission computed tomography

玉木 長良  
児玉 秋生  
米倉 義晴  
向井 孝夫  
鳥塚 莞爾  
田巻 俊一\*  
野原 隆司\*  
鈴木 幸園\*  
神原 啓文\*  
河合 忠一\*

Nagara TAMAKI  
Shusei KODAMA  
Yoshiharu YONEKURA  
Takao MUKAI  
Kanji TORIZUKA  
Shunichi TAMAKI\*  
Ryuji NOHARA\*  
Yukisono SUZUKI\*  
Hirofumi KAMBARA\*  
Chuichi KAWAI\*

Summary

Stress thallium-201 emission computed tomography (ECT) was performed for 24 patients with myocardial infarction for quantitative evaluation of regional thallium redistribution and washout. ECT was performed using a rotating gamma camera 10 minutes and 2.5 hours after thallium injection during maximal exercise. Three short-axis sections and one central long-axis section were selected for the circumferential profile curves. Redistribution (%) and washout (%) were calculated from the stress and redistribution profile curves in each section. These parameters were evaluated by comparison with regional wall motion on radiographic contrast ventriculography.

Forty-eight of the 52 segments (92%) with normal thallium uptake showed normal wall motion. Among the segments with abnormal thallium uptake, normal or hypokinetic wall motion was observed in 12 of 13 segments (92%) with more than 20% redistribution and in 16 of 19 segments (84%) with 10-20% redistribution, while it was observed in only 15 of 36 segments (42%) without redistribution ( $p < 0.001$ ).

Among 48 infarcted segments, 16 segments (33%) showed significant redistribution on ECT analysis. Normal or hypokinetic wall motion was observed in three of five segments (60%) with more than 20% redistribution, and in 10 of 11 segments (91%) with 10-20% redistribution, while it was seen in only eight of 30 segments (17%) without redistribution ( $p < 0.005$ ).

京都大学医学部 放射線核医学科  
\*同 第三内科  
京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

Department of Radiology and Nuclear Medicine, and  
\*Third Division, Department of Internal Medicine,  
Kyoto University School of Medicine, Shogoin 54,  
Sakyo-ku, Kyoto, 606

Washout (%) was classified as normal (>20%), mildly decreased (10–20%) and decreased (<10%) in each segment, but there was no correlation between % washout and regional wall motion in infarcted segments.

We conclude that stress thallium ECT showing three-dimensional radionuclide distribution in the myocardium permits semi-quantitative evaluation of thallium redistribution and washout. Thallium redistribution was occasionally seen in infarcted segments on ECT analysis. Furthermore, any regional wall motion abnormality was milder in segments with redistribution than in those without redistribution, suggesting that thallium redistribution may be one of the signs of the viable myocardium.

#### Key words

Thallium-201      Emission computed tomography      Myocardial infarction      Wall motion      Stress

### はじめに

運動負荷タリウム心筋シンチグラフィーは、運動負荷時の心筋内血流分布状態を非侵襲的に把握でき、虚血性心疾患の評価に有用である<sup>1,2)</sup>。特に負荷後の両分布の有無により、一過性の虚血巣と梗塞巣との区別が可能であり<sup>3)</sup>、心筋の生存能(viability)を評価する上で役立つといわれている<sup>4)</sup>。しかしながら通常の二次元シンチグラフィーは、心筋内の RI 分布を二次元投影像として表現しているため、病巣と健常部心筋との重なりから、タリウム分布状態の詳細な検討は困難であり、RI の断層法(エミッション CT:ECT)による評価が有用と考えられる。

我々は4年前より回転型ガンマカメラによるタリウム心筋 ECT について検討し、断層表示法の有用性を報告してきた<sup>5,6)</sup>。運動負荷 ECT は罹患冠動脈病変の推定に役立つ<sup>7-9)</sup>、特に ECT の定量的解析法により軽度の冠動脈病変の検出も可能となった<sup>10)</sup>。

今回は心筋梗塞例の心筋局所の生存能を判定するため、運動負荷 ECT よりタリウム分布、再分布の定量評価を試みたので報告する。

### 対象および方法

対象としたのは心電図、血清酵素等より診断の確定した心筋梗塞で、冠動脈造影および X 線左室造影を施行した 24 例を選んだ。RI 検査はいずれも発症 1 ヶ月から 1 年の間に施行した。

運動負荷は立位エルゴメーターを用い、3分ごとに 25 ワットずつ漸増する多段階運動負荷とし、胸痛または心電図 ST 変化を指標として最大負荷時にタリウム 2 mCi を静注し、さらに1分間運動を持続させた。約 10 分後より高分解能コリメーターを装着した回転型ガンマカメラ(GE 製: Maxi 400 T)、およびデータ処理装置(DEC 製: PDP 11/60)を用いて運動負荷時の ECT を施行し、さらに約 2 時間半後に、同じ位置にて両分布時の ECT を施行した<sup>7-9)</sup>。

心筋 ECT は被験者を ECT 台上に仰臥位とし、心臓前面の 180° (LPO から RAO 位まで)を一方方向 30 秒で 5.8° ずつ回転させ、32 方向からデータ収集した<sup>9-10)</sup>。ECT の再構成には重畳積分法を用い、Chesler の filter を使用し、吸収補正は行わなかった。まず横断断層像を再構成したのち、心臓の軸に沿った短軸断層像、長軸断層像を再構成した。いずれも心臓全体をカバーする、12 mm ごとの連続した多層断層像を得た。

ECT の定量評価には 3 種の短軸断面、および心尖部を通る中央の 1 長軸断面を選んだ。それぞれの断層像の中心から 10° ごと放射状に 36 区域を細分し、各々の区域の最大カウントを表示する circumferential profile curve を作成した。この profile の展開は短軸断面では 0 時を 0°, 長軸断面では心尖部を中央の 180° として、おのおの時計方向に 360° 展開した<sup>10)</sup> (Fig. 1)。運動負荷 ECT と再分布 ECT の同じ断面で、profile curve の最大値をおのおの 100% として表示

ECT segments supplied by 3 major vessels

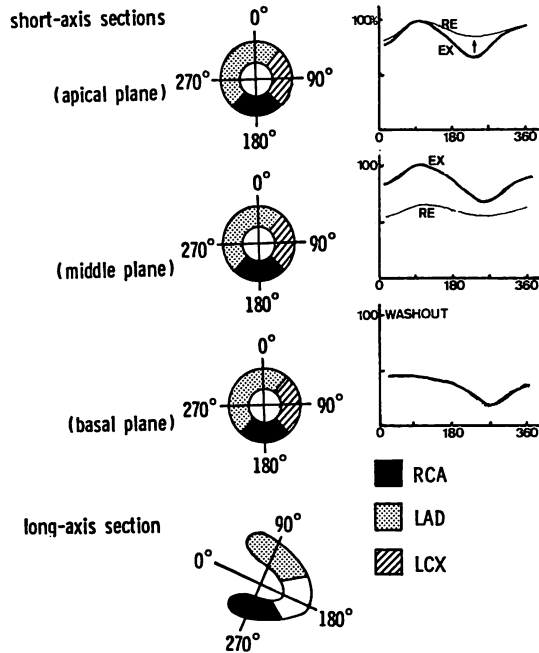


Fig. 1. Schematic presentation of left ventricular myocardial segments in ECT images (left) and circumferential profile curves (right).

Percent redistribution and % washout are calculated from the stress and redistribution profiles.

し、運動負荷から再分布に至る % カウントの増加を % 再分布とした (Fig. 1 右上). 次に運動負荷時の分布を 100% とし、再分布のカウントの減少を % washout として表示した (Fig. 1 右下). これら二つの指標を再分布の指標として用い、X 線左室造影の各区域ごとの壁運動所見と対比検討した。

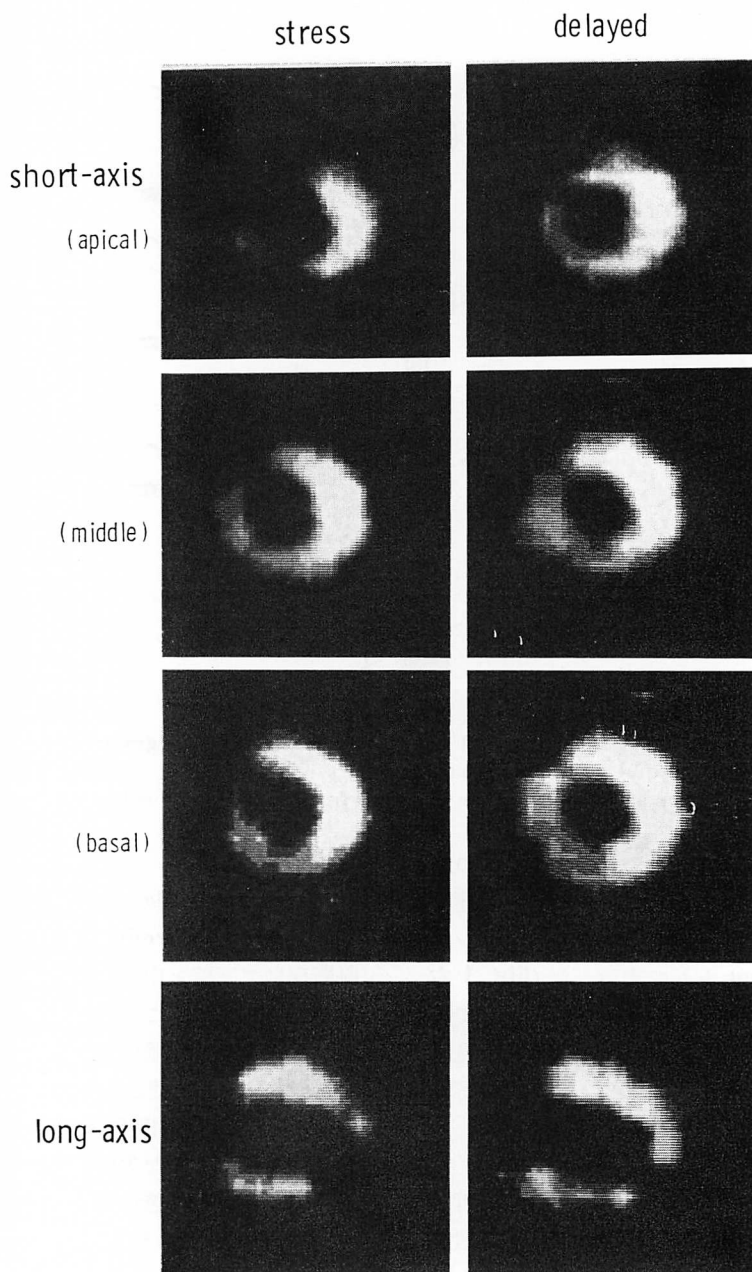
### 結 果

Fig. 2 に前壁梗塞例の運動負荷 ECT と再分布 ECT 像を示す. 冠動脈造影にて RCA 起始部に 90%, LAD 起始部に 99% 狭窄があり, X 線左室造影にて心尖部に akinesis, 中隔と前側壁に hypokinesis からみられた例である. ECT では運動負荷時に下壁と中隔に欠損があり, 下壁のみならず梗塞部の中隔にも明らかな再分布がみら

れた。

Fig. 3 左に同例の uptake, 右に washout の circumferential profile curve を示す. 心尖部短軸断面にて下壁と中隔に uptake の低下があり, 再分布のみられることが明らかである. 長軸断面にて心尖部, 前壁に軽度の再分布がみられた. % washout は下壁と心尖部で低下していた.

Fig. 4 に別の前壁梗塞例の ECT 像を示す. 前壁, 中隔に大きな欠損があり, 再分布はみられない. 本例の冠動脈造影では LAD 起始部に 99% 狭窄があり, X 線左室造影では心尖部に dyskinesia, 前側壁に akinesis が認められた. 本例は梗塞発症後も狭心症様の胸痛発作があるため, その後大動脈・冠動脈バイパス手術が施行されたが, グラフトの血流はよいものの, 術後壁運動の改善やタリウムの欠損の縮小はみられず, 梗塞部



**Fig. 2. Stress (left) and redistribution (right) ECT images of a case with old anterior myocardial infarction.**

A perfusion defect with significant redistribution is observed in septal and inferior segments.

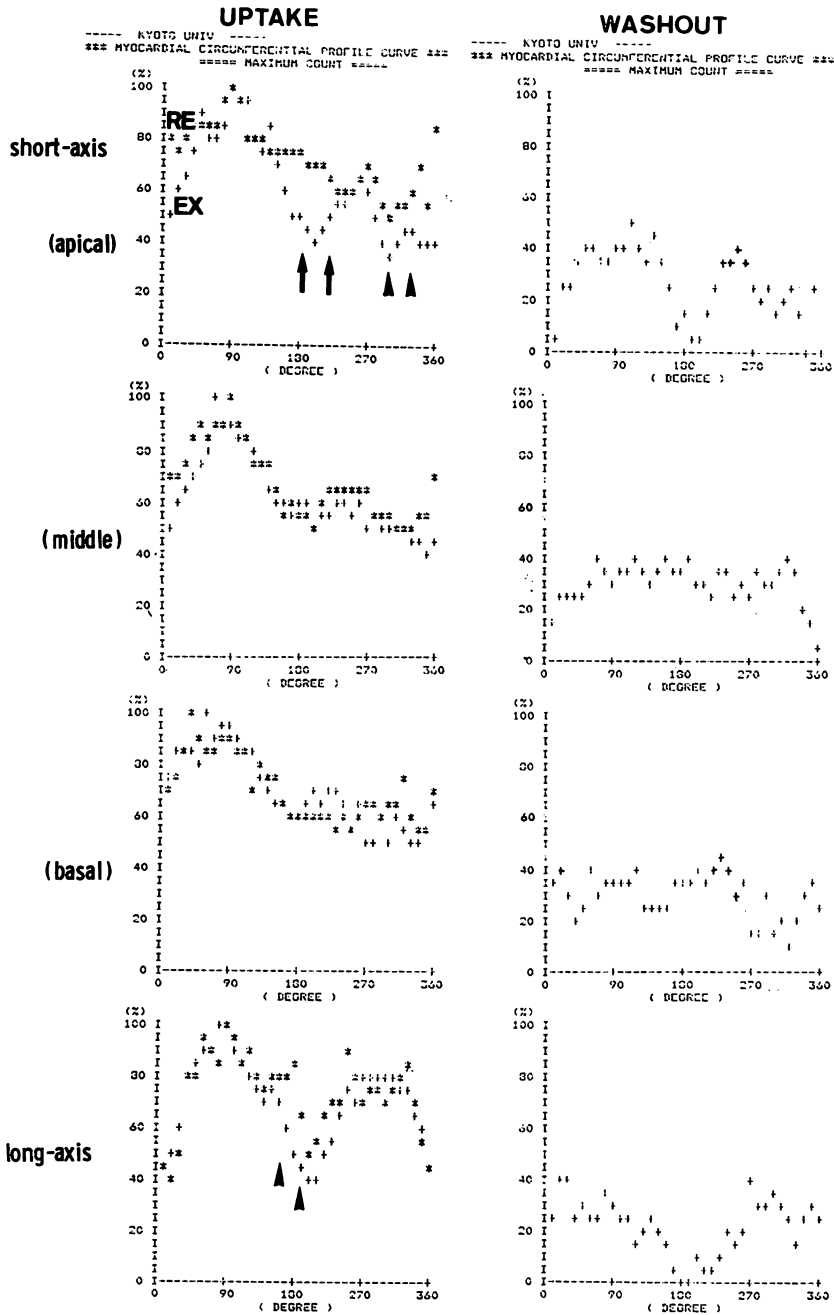
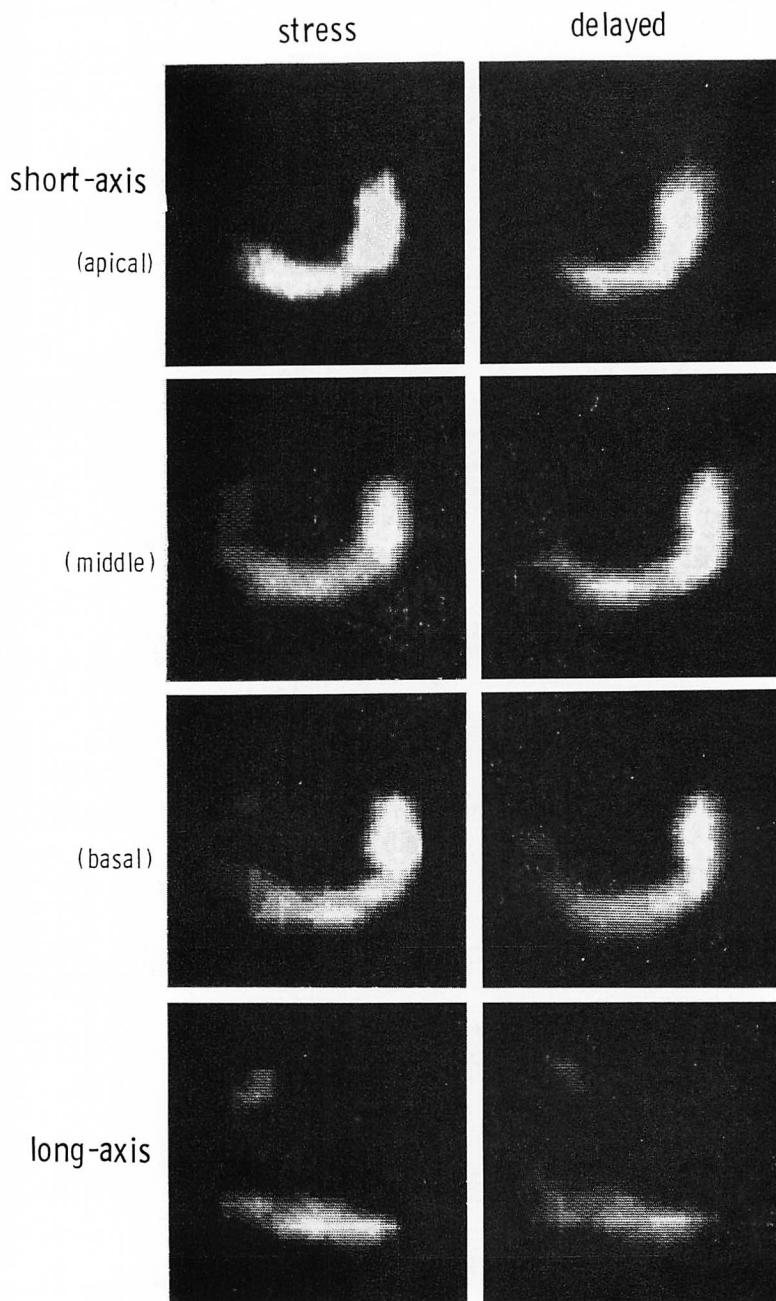


Fig. 3. The circumferential profile curves of uptake (left) and washout (right) in the same case as in Fig. 2.

A perfusion defect with redistribution is well seen in inferior (arrows), septal (upper arrow heads) and apical walls (lower arrow heads). Percent washout profile curves show decreased washout in the same regions.



**Fig. 4. Stress (left) and redistribution (right) ECT images of a case with broad anterior infarction.**

A large perfusion defect is noted in anterior and septal regions. No redistribution is observed.

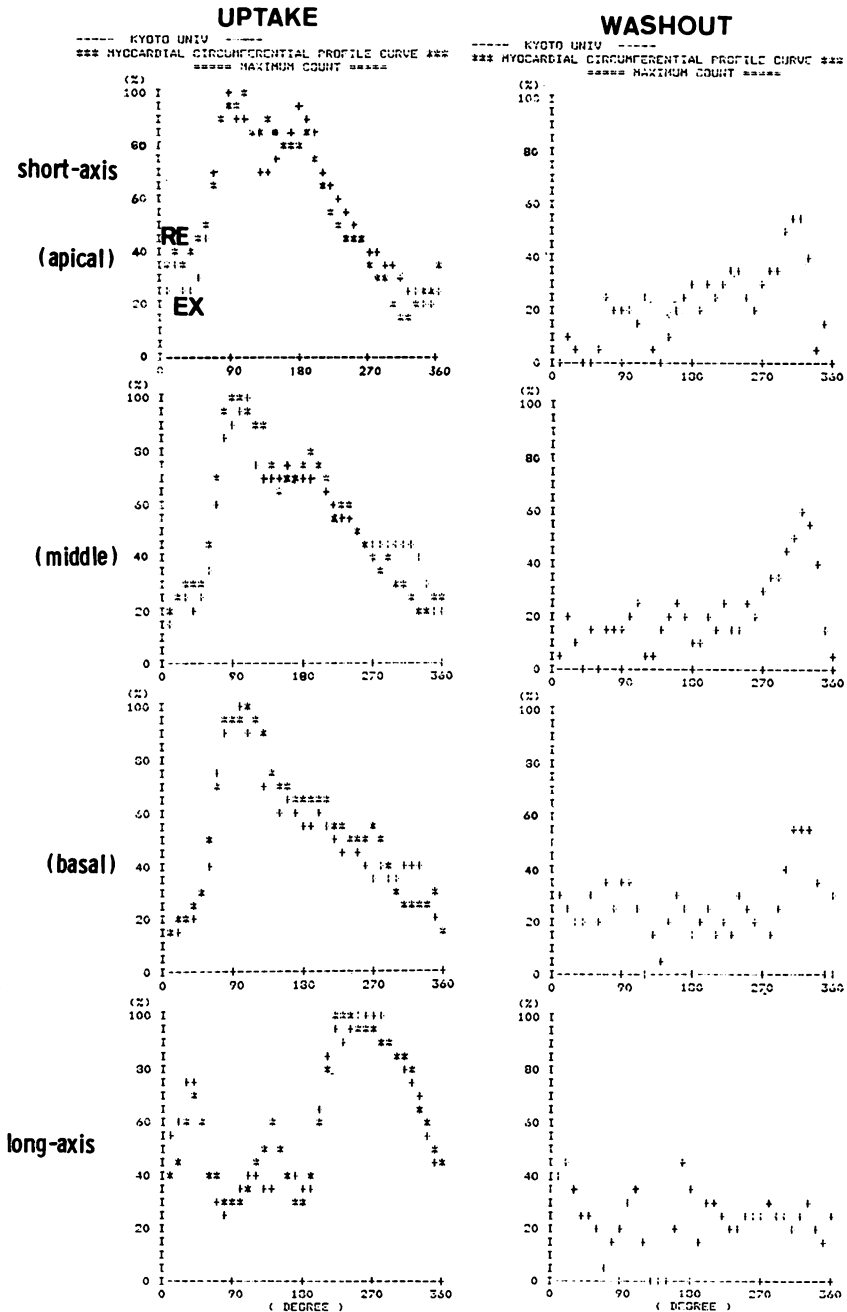


Fig. 5. The circumferential profile curves of uptake (left) and washout (right) in the same case as in Fig. 4.

Markedly decreased uptake without significant redistribution is observed in anterior and septal regions.

**Table 1. Comparison of ECT redistribution and washout with regional wall motion**

Redistribution	Regional wall motion (LVG)			
	Normal	Hypo-kinesis	Akinesis	Total
0-9%	1	14	21	36
10-20%	6	10	3	19
>20%	9	3	1	13
No defect	48	4	0	52

Washout	Regional wall motion (LVG)			
	Normal	Hypo-kinesis	Akinesis	Total
<9%	10	4	8	22
10-20%	4	10	5	19
>20%	50	17	12	79

心筋の生存能はほとんどないと考えられた例である。同例の circumferential profile curve を Fig. 5 に示すが, uptake は中隔, 前壁で著明に低下し, 負荷時再分布時ともに差はなく, 再分布はみられない。% washout は全体に低下していた。

X 線左室造影から, 心基部を除いた AHA 分類の 5 区域の局所壁運動所見と, ECT の再分布の指標の % 再分布, および % washout との関係を検討した (Table 1)。24 例の 120 区域中, ECT 上, 欠損のみられなかったのは 52 区域で, 48 区域 (92%) が正常壁運動を示した。% 再分布が 20% 以上という著明な再分布のみられた 13 区域中 12 区域 (92%), 10~20% の再分布を示した 19 区域中 16 区域 (84%) が正常か hypokinesis に留ったのに対し, 再分布のみられない 36 区域では 21 区域 (58%) が, akinesis ないし dyskinesis といった著明な壁運動異常を示した。すなわち再分布のある区域では, 再分布のない区域に比べ, 壁運動異常の程度が軽いことが示された ( $p < 0.001$ )。一方, % washout を 20% 以上の正常群, 10 ないし 20% の軽度低下群, 10% 未満の低下群の三つに細分してみたが, それらと局所壁運動とは有意な関係を示さなかった。

**Table 2. Redistribution and washout vs. regional wall motion in infarct segments**

Redistribution	Regional wall motion (LVG)			
	Normal	Hypo-kinesis	Akinesis	Total
0-10%	0	8	22	30
10-20%	3	7	1	11
>20%	0	3	2	5
No defect	1	1	0	2

Washout	Regional wall motion (LVG)			
	Normal	Hypo-kinesis	Akinesis	Total
<10%	3	8	14	25
10-20%	0	8	4	12
>20%	1	3	7	11

以上の関係を心筋梗塞 48 区域に限って検討した (Table 2)。10% 以上の再分布は 16 区域 (33%) にみられた。% 再分布が 20% 以上であった 5 区域中 3 区域 (60%), 10 ないし 20% であった 11 区域中 10 区域 (91%) が正常か軽度の壁運動異常を示したのに対し, 再分布のみられなかった 30 区域中 22 区域 (73%) は著明な壁運動を示した。ここでも再分布と壁運動異常との間に有意な相関関係がみられた ( $p < 0.005$ )。一方, % washout と壁運動異常との間には有意な関係はみられなかった。

### 考 按

ECT は高いコントラストが得られる RI の tracer study 法と, X 線 CT と同様の断層表示法という両者の利点を持っている。特にタリウム心筋 ECT では心筋血流分布状態の立体的な把握が可能であり, 病巣部を健常心筋や他臓器と分離して評価できる。したがってタリウム分布の詳細な検討も可能と考えられる。近年回転型ガンマカメラの普及により, タリウム心筋 ECT を用い, 心筋梗塞や虚血病変について数多くの報告がなされるようになった<sup>5-15)</sup>。



今回の運動負荷 ECT の定量評価法により、従来の心筋シンチグラフィでは再分布をほとんど認めない<sup>3)</sup>とされていた心筋梗塞領域にも、比較的高頻度にタリウムの再分布が認められることが示された。この再分布を伴う領域では、壁運動異常の程度が軽かった。タリウムの再分布は、運動負荷直後に心筋や全身の筋肉等に分布したタリウムが再び血中に戻り、安静時の状態で心筋に再分布され、負荷時にタリウムの入らなかった領域にとり込まれてゆく現象と解釈されており<sup>3,4)</sup>、再分布のみられる領域は、一過性虚血となったがなお生存可能な心筋と考えられる<sup>4)</sup>。ECT による立体表示法では心筋梗塞領域を他と分離評価でき、同部の再分布状態が的確に視覚化されるようになり、梗塞部の一過性虚血巣が明瞭になったものと考えられる。したがってこのような領域では、再分布のない領域に比べて、壁運動異常が軽いのは理にかなっている。

しかし今回の検討は安静時の左室局所壁運動所見と対比したにすぎず、この生存能を論じるにはやや不十分と考えられる。今後、薬物による壁運動異常の変化<sup>16)</sup>や大動脈・冠動脈バイパス術後の壁運動異常の改善等に関して検討する必要があると思われる。

一方、タリウムの washout は、虚血性心疾患、とりわけ多枝病変例で遅延し、診断上有用な指標である<sup>8,10,17)</sup>。しかしながら、今回の心筋梗塞における ECT の検討では、心筋梗塞領域のタリウム washout の状態はさまざまで、壁運動異常と一定の関係はみられなかった。これは取り込みのほとんどない領域での washout の計算に問題もあるが、重症の虚血性心疾患ではタリウムの肺への取り込みが高いため、心筋への取り込みや washout が全体に遅れる例も認められる。したがって心筋局所の washout の評価は、常に心筋全体の washout との関係において評価すべきものと考えられる。

運動負荷タリウム ECT の定量評価法は、その読影をより客観的に行いうる利点をもつ。さら

には正常の分布と対比して評価できる利点もあり、虚血性心疾患の評価では、定性法以上に優れた診断精度が得られる<sup>8,9)</sup>。しかしながらその評価は、運動負荷時と再分布時とで、同じ断面においてなされなくてはならない。我々は被験者の胸壁に点線源をつけることにより、再現性の高い位置決めを施行している。またカウント不足による統計変動にも十分留意する必要がある。現在の収集方法では 1 slice に 15~25 万カウントが得られるが、circumferential profile 解析には十分なカウントとはいえない。我々は profile curve 上、20° 以上連続する異常領域のみを異常として判定し、統計変動による false positive が少なくなるように努めている。

タリウム ECT の定量評価のさいの最大の問題は、正確な吸収補正ができず、カウントの絶対値を評価の対象にするのが困難なことである。この点で positron CT による評価が期待されており、我々もアンモニアの positron CT とタリウム ECT との対比検討を行っている<sup>18)</sup>。しかしながら、今後種々の改良により、比較的簡単に施行できるタリウム ECT を用いて、より正確なタリウム分布の定量評価が可能となることが望まれる。

## 要 約

運動負荷タリウムエミッション CT (ECT) を心筋梗塞 24 例に施行し、局所のタリウム再分布および washout の定量評価から心筋の生存能 (viability) の判定を試みた。最大運動負荷時にタリウム 2 mCi 静注約 10 分後の運動負荷時、および 2 時間半後の再分布時に、同じ位置で ECT を施行した。ECT の左室短軸の 3 断面と長軸の中央の 1 断面に circumferential profile curve を作成し、同じ断面での負荷時および再分布時の profile curve から、% 再分布と % washout を算出した。X 線左室造影の心基部を除いた 5 区域について、これらを指標と壁運動異常所見と対比検討し、次の結果を得た。

1. 正常なタリウム分布の 52 区域中, 48 区域 (92%) が正常壁運動を示した。

2. 欠損を示した区域の中で, 再分布が 20% 以上の 13 区域中 12 区域 (92%), 10 ないし 20% の 19 区域中 16 区域 (84%) が正常か hypokinesis であったのに対し, 再分布のない 36 区域ではわずかに 15 区域 (42%) であった ( $p < 0.001$ ).

3. 心筋梗塞部位 48 区域に限ると, 16 区域 (33%) に再分布が認められた。

4. 梗塞部の中で再分布が 20% 以上の 5 区域中 3 区域 (60%), 10 ないし 20% の 11 区域中 10 区域 (91%) が正常か hypokinesis であったのに対し, 再分布のない 30 区域ではわずかに 8 区域 (17%) に留まり, 梗塞部のタリウム再分布のあるほど, 壁運動異常の程度が軽い傾向にあった ( $p < 0.005$ ).

5. % washout と 20% 以上の正常群, 10 ないし 20% の軽度低下群, 10% 以下の低下群の三つに分類したが, 梗塞部はさまざまな washout を示し, 壁運動との間に一定の関係はみられなかった。

タリウム ECT では心筋血流分布を立体的に評価できるため, タリウムの分布状態の半定量的な検討が可能である。ECT では梗塞領域にも高頻度に再分布を認め, 再分布のある領域ではない領域に比べ, 壁運動異常の程度は軽く, 心筋の生存能力を示唆する所見と考えられた。

#### 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) Ritchie JL, Trobaugh GB, Hamilton GW, Gould KL, Narahara KA, Murray JA, Williams DL: Myocardial imaging with thallium-201 at rest and during exercise: Comparison with coronary arteriography and resting and stress electrocardiography. *Circulation* **56**: 66, 1977
- 3) Pohost GM, Zir LM, Moore RH, McKusick KA, Guiney TE, Beller GA: Differentiation of tran-

siently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. *Circulation* **55**: 294, 1977

- 4) Rozanski A, Berman DS, Gray R, Levy R, Raymond M, Maddahi J, Pantaleo N, Waxman AD, Swan HJC, Matloff J: Use of thallium-201 redistribution scintigraphy in the preoperative differentiation of reversible and nonreversible myocardial asynergy. *Circulation* **64**: 936, 1981
- 5) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, Yonekura Y, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Clinical evaluation of thallium-201 emission myocardial tomography using a rotating gamma camera: Comparison with seven-pin-hole tomography. *J Nucl Med* **22**: 849, 1981
- 6) Tamaki N, Mukai T, Yamamoto K, Ishii Y, Tamaki S, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Assessment of myocardial infarction by thallium emission computed tomography. *J Cardiology* **13**: 45, 1983 (in Japanese)
- 7) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, Torizuka K, Nohara R, Suzuki Y, Tamaki S, Kadota K, Kambara H, Kawai C: Stress thallium-201 myocardial emission CT: Comparative evaluation with coronary arteriography and left ventriculography. *J Cardiology* (in press) (in Japanese)
- 8) 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: 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. *核医学* **20**: 1299, 1983
- 9) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, Fujita T, Nohara R, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K, Ishii Y: Segmental analysis of stress thallium myocardial emission tomography for localization of coronary artery disease. *Eur J Nucl Med* **9**: 99, 1984
- 10) Tamaki N, Yonekura Y, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Quantitative analysis of thallium uptake and washout by stress emission computed tomography. *Circulation* **68**: III-246, 1983
- 11) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, Fujita T, Yamamoto K, Minato K, Yonekura Y, Tamaki S, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Comparative study of thallium emission myocardial tomography with 180° and 360° data collection. *J Nucl Med* **23**: 661, 1982
- 12) Maublant J, Cassagnes J, LeJoune JJ, Mestas D, Veyre A, Jallut H, Meyniel G: A comparison between conventional scintigraphy and emission

- tomography with thallium-201 in the detection of myocardial infarction. *J Nucl Med* **23**: 204, 1982
- 13) Ritchie JL, Williams DL, Harp G, Strattom JL, Caldwell JH: transaxial tomography with thallium-201 for detecting remote myocardial infarction. *Am J Cardiol* **50**: 1236, 1982
- 14) 竹田 寛, 前田寿登, 中川 毅, 山口 信, 田口光雄, 浜田正行, 二神康雄, 小西得司, 竹沢英郎: ガンマカメラ回転型 Emission Computed Tomography による  $^{201}\text{Tl}$  負荷心筋断層像: Segmental analysis による冠状動脈狭窄性病変の検出率. *核医学* **20**: 53, 1983
- 15) 井上登美夫, 石原十三夫, 山川通隆, 玉木良雄, 野崎美和子, 永井輝夫: 心筋梗塞診断における  $^{201}\text{Tl}$  心筋 ECT の臨床的評価. *核医学* **19**: 1159, 1982
- 16) Ramanathan KB, Bodenheimer MM, Banka VS, Helfant RH: Severity of contraction abnormalities after acute myocardial infarction in man: Response to nitroglycerine. *Circulation* **60**: 1230, 1979
- 17) Maddahi J, Garcia EV, Berman DS, Waxman A, Swan HJC, Forrester J: Improved noninvasive assessment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of thallium-201. *Circulation* **64**: 924, 1981
- 18) Tamaki N, Yonekura Y, Senda M, Fujita T, Murata K, Tanada S, Saji E, Torizuka K: Comparative study of myocardial perfusion imaging by Tl-201 single photon ECT and N-13 ammonia positron CT. *J Nucl Med* **25**: 6, 1984