

## 運動負荷 $^{201}\text{Tl}$ 心筋 SPECT による大動脈・冠動脈バイ パスグラフト開存および心 筋生存能の評価

## Graft patency and myo- cardial viability after aor- to-coronary bypass sur- gery evaluated by exercise $^{201}\text{Tl}$ myocardial SPECT

矢田 隆志  
二神 康夫  
小山 孝夫  
岩田 次郎  
小西 得司  
浜田 正行  
中野 越  
竹沢 英郎  
湯浅 浩\*  
草川 実\*

Takashi YADA  
Yasuo FUTAGAMI  
Takao KOYAMA  
Jiro IWATA  
Tokuji KONISHI  
Masayuki HAMADA  
Takeshi NAKANO  
Hideo TAKEZAWA  
Hiroshi YUASA\*  
Minoru KUSAGAWA\*

### Summary

To evaluate graft patency and myocardial viability after aorto-coronary (AC) bypass surgery, 58 patients (29 with old myocardial infarction and 29 with effort angina) underwent symptom-limited exercise  $^{201}\text{Tl}$  myocardial SPECT using a bicycle ergometer before and after surgery. The results were as follows:

1. The overall angiographic graft patency was 87% (97 of 112 grafts).
2. According to the stress SPECT images, graft patencies were 98% for areas with postoperative improvement by  $^{201}\text{Tl}$  uptakes, 79% for areas with unchanged patterns, and 53% for areas with worsened patterns. In spite of patent grafts, among cases with worsened  $^{201}\text{Tl}$  uptakes the etiologies included perioperative infarction, anastomotic strictures, and poor run-off distal to the anastomoses.
3. Following patency of grafts, postoperative normalized perfusion patterns were observed in 69% (27 of 39 segments) of segments with persistent preoperative low uptakes and 25% (4 of 16 segments) of segments with persistent preoperative defects.

Thus, exercise  $^{201}\text{Tl}$  myocardial SPECT proved a useful diagnostic means of assessing graft patency and effectiveness. However, after AC bypass surgery, 25% of the regions which had persistent defects before surgery exhibited normal perfusion patterns. These findings suggest that persistent defects may represent hypoperfusion of viable myocardium, and that we should carefully diagnose myo-

三重大学医学部 第一内科  
\*同 胸部外科  
三重県津市江戸橋 2-174 (〒514)

The First Department of Internal Medicine and \*De-  
partment of Thoracic Surgery, Faculty of Medicine,  
Mie University, Edobashi 2-174, Tsu 514

Received for publication September 7, 1987; accepted October 25, 1987 (Ref. No. 33-68)

cardial scars.

### Key words

Aorto-coronary bypass

Graft patency

Myocardial viability

<sup>201</sup>Tl SPECT

## はじめに

近年, 大動脈・冠動脈バイパス (AC bypass : ACB) 術は虚血性心疾患の治療として重要な地位を占め, さらに PTCA の発展ともあいまって, 内科領域では, 心筋生存能 (viability) の評価と, 術後の病変部血行再開 (revascularization) の効果判定が要求されるようになった. 過去の報告<sup>1~6)</sup>において, <sup>201</sup>Tl 心筋シンチグラフィがこれらの評価に対し重要な手段となることが認められてきたが, 特に心筋生存能におけるその信頼性はゆるぎのないものと考えられてきた. 今日まで <sup>201</sup>Tl 心筋シンチグラフィ上, 恒久的欠損 (persistent defect) 部は不可逆的な心筋傷害を表わすとされてきたが, しかし, 最近, 同部においても生存能を有する場合がありますと報告されている<sup>7,8)</sup>. 今回, 我々はこの視点に立ち, 運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋 SPECT を用い, AC バイパス例のグラフト開存, 心筋生存能の評価を行い, この方法の有用性について検討したので報告する.

## 対 象

対象は AC バイパス前後に運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋 SPECT を施行し, 術後, 選択的グラフト造影ないしは DSA の観血的手段により, グラフトの開存の有無が確認された虚血性心疾患患者 58 例で, 男 55 例, 女 3 例, 年齢分布は 32~71 歳 (平均 56.0 歳) である. 術前診断は陳旧性心筋梗塞 29 例, 労作性狭心症 29 例であり, 1 枝病変 12 例, 2 枝病変 (左主幹部病変を含む) 16 例, 3 枝病変 30 例である. なお, 冠動脈病変は 75% 以上の狭窄を有意狭窄とし, 左主幹部病変に関しては 50% 以上を有意狭窄とした.

## 方 法

運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋 SPECT は AC バイパス術前平均 59 日 (1-181 日), 術後平均 113 日 (22-444 日) に施行した. 観血的検査は SPECT 検査前後 2 か月以内に施行し, グラフト開存の有無を確認した.

運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋 SPECT の方法は, 既報<sup>9)</sup>のごとく, 自転車エルゴメーターによる symptom-limited 多段階運動負荷を行い, 症状出現時, <sup>201</sup>Tl を 2.5~3.0 mCi 静注し, さらに 1 分間の運動を持続した後, 静注 10 分後の負荷像, 3 時間後の再分布像データを収集した. 負荷心電図は電極を Mason-Likar の方法を modify した位置に置き, 運動中は 1 分毎, 運動中止直後, および負荷後 1 分毎に 3-8 分まで 12 誘導を記録した.

SPECT 画像は, 体軸横断断層 (TA), 第一斜位断層像 (RAO), 第二斜位断層像 (LAO) を再構成し, 前壁, 中隔, 前側壁, 心尖部, 下後壁, 後側壁の 6 segments に分け, それぞれ集積の程度に応じて, 正常, 軽度集積低下, 高度集積低下, 完全欠損の 4 段階で視覚的に評価した.

グラフト部位と SPECT 像の対応は, 左前下行枝へのグラフトでは, 前壁, 中隔, 前側壁, 心尖部, 左回旋枝へのそれでは後側壁, 右冠動脈へのそれでは下後壁とした.

## 成 績

### 1. SPECT 所見とグラフト開存率

グラフト造影では 112 本中 97 本が開存しており, 開存率は 87% であった. Fig. 1 に, SPECT 所見を術前後比較し, その改善度に応じたグラフト開存率を示す. 図中, 分数の分母はグラフト施行領域を表し, 分子はそのうちグラフトが開存している領域を表す. 術前に比べ術後集積が改善し

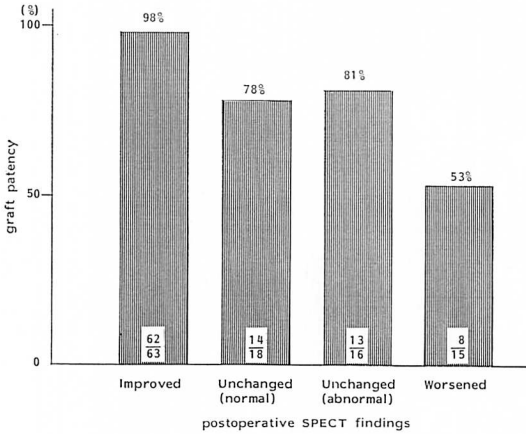


Fig. 1. Prediction of graft patency by postoperative SPECT (n=58 cases).

Denominators represent numbers of grafting areas and numerators represent numbers of areas with patent grafts. High graft patency in improved postoperative areas and low graft patency in worsened areas are noted.

た領域では 98%，術前後ともに正常な領域では 78%，術前後とも変化なく集積異常が認められる領域では 81%，術後悪化した領域では 53% のグラフトが開存していた。グラフトが開存している領域にもかかわらず，集積の悪化した例の原因は，perioperative infarction，吻合部狭窄，グラフトより末梢への流出が悪い場合などであった。

症例 1：63 歳，女性。3 枝病変で 3 枝バイパスを施行した例の術前後の SPECT を Fig. 2 に示す。術前には右冠動脈病変に相当する下後壁に一過性虚血が認められるが，他の冠動脈領域に異常は認められない。一方，術後には下後壁は正常となったが，術前存在しなかった前壁，中隔，心尖部に一過性虚血が認められる。後側壁の集積は術前後ともに正常で変化がない。本例では左前下行枝および左回旋枝へのグラフトは閉塞し，右冠動脈へのグラフトは開存していた。

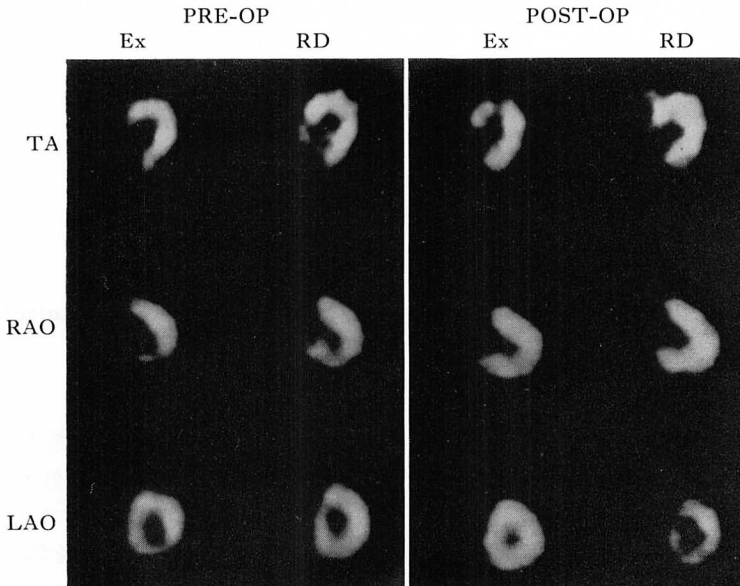
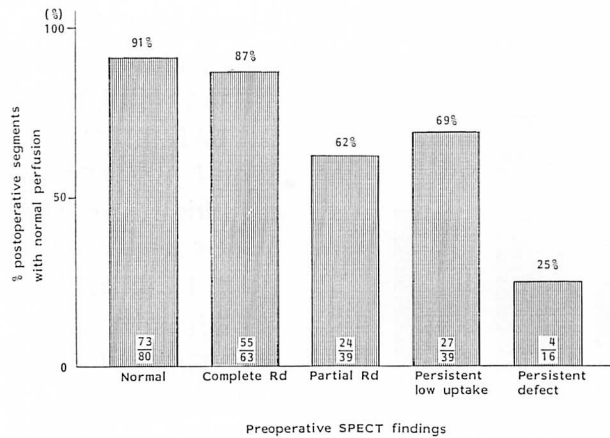


Fig. 2. SPECT images of Case 1 with 3 vessel disease and 3 bypass graftings (63-year-old woman).

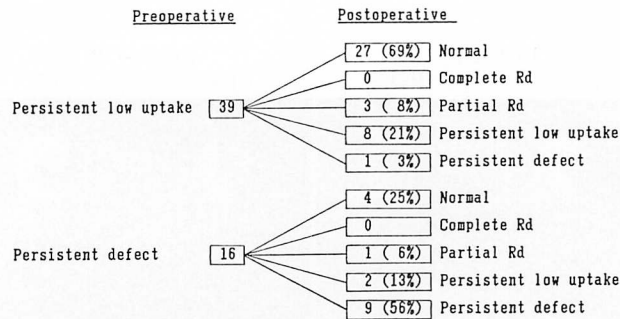
Transient ischemia in the inferoposterior wall is improved after surgery, but the anteroseptal and apical areas show transient ischemia. Angiographically, grafts to the LAD and LCX are occluded and a graft to the RCA is patent.

PRE-OP=preoperative, POST-OP=postoperative, Ex=exercise, RD=redistribution, TA=transaxial, RAO=right anterior oblique, LAO=left anterior oblique.



**Fig. 3. Frequency of postoperatively normalized perfusion.**

Denominators represent numbers of segments with patent grafts and numerators represent numbers of postoperative segments with normal perfusion patterns. Sixty-nine percent of segments with persistent low uptakes and 25% of segments with persistent defects show normal perfusion patterns after surgery.



**Fig. 4. Postoperative SPECT findings in segments with persistent preoperative low uptakes or defects.**

RD=redistribution.

## 2. SPECT 所見と心筋 viability

グラフトが開存している 237 segments において、術前の SPECT 所見に応じた術後の正常化率を **Fig. 3** に示す。図中、分数の分母はグラフト開存 segments を表し、分子はそのうち術後正常化した segments を表す。ここで注目すべきことに、術前に持続性の集積低下 (persistent low uptake) を示した 39 segments の中 27 segments (69%) が正常化し、さらに術前、持続性の完全欠損 (persistent defect) を示した 16 segments 中

4 segments (25%) が術後正常化した。

**Fig. 4** は、術前持続性集積低下ないしは持続性完全欠損 segment が、グラフト開存により術後いかなる所見を呈したかを表す。前述のごとく、術前持続性集積低下 39 segments 中、27 segments (69%) が正常化し、3 segments (8%) が再分布を示した。すなわち 77% がなんらかの改善を呈した。一方、術前持続性完全欠損 16 segments において、術後同様に持続性完全欠損を示したのは 9 segments (56%) に減少し、残り

7 segments (44%) はなんらかの改善所見を示した。特にそのうち 4 segments (25%) は全く正常化した。すなわち持続性完全欠損がなんらかの改善を示したグラフト開存 5 例(延べ 7 segments) 中 4 例が 3 枝病変例であり、左室造影上その 7 segments 中、normokinetic 1 segment, hypokinetic 4 segments, akinetic 2 segments であった。しかし、心電図上全例に Q 波は認められた。

症例 2: 58 歳, 男性。前壁中隔および下壁 梗塞 3 枝病変で、3 枝バイパスを受けた例の術前後の SPECT 像を Fig. 5 に示す。術前では、前壁、中隔、心尖部の持続性完全欠損、下後壁の持続性高度集積低下および後側壁の軽度集積低下が認められる。術後には術前持続欠損を示した前壁、心尖部は正常化し、中隔は軽度集積低下へと改善している。下後壁は高度集積低下のまま不変であり、後側壁は高度集積低下へと悪化している。本例は 3 グラフトともに開存していたが、左回旋枝

へのグラフトは吻合部に 90% の狭窄が確認された。

同例の術前後の心電図を Fig. 6 に示す。術前 II, III, aVF,  $V_3$  に Q 波,  $V_1, V_2$  に QS pattern が認められるが、術後  $V_1 \sim V_3$  に R 波が出現している。

## 考 察

$^{201}\text{Tl}$  の心筋内動態はまだ完全には解明されていないが、運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋イメージにおける 2~4 時間後の再分布現象<sup>10)</sup> は、一過性虚血、すなわち同部を灌流する冠動脈枝の病的狭窄を表すとされている。再分布の機序として、健常心筋部と虚血心筋部の washout 率の差、および虚血心筋部における  $^{201}\text{Tl}$  の持続的集積によって説明されている。すなわち、健常心筋では  $^{201}\text{Tl}$  の高い初期集積、さらにそれに引き続く高いクリアランスがあり、一方、虚血心筋では初期集積が悪く、

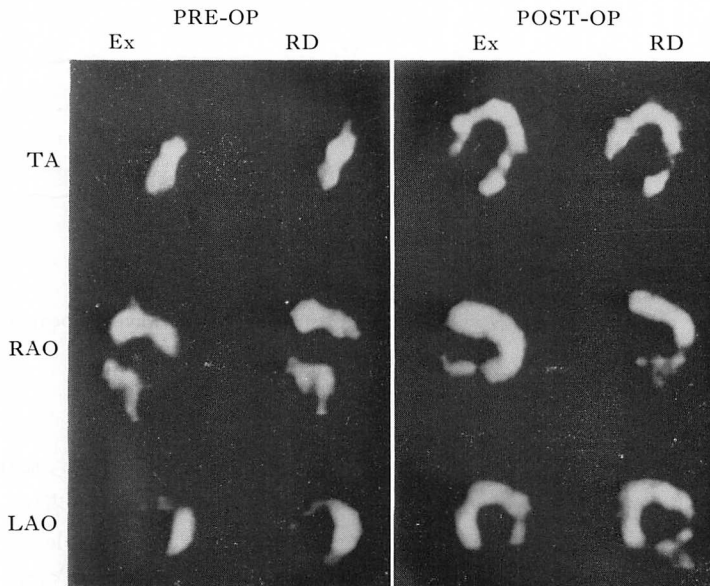
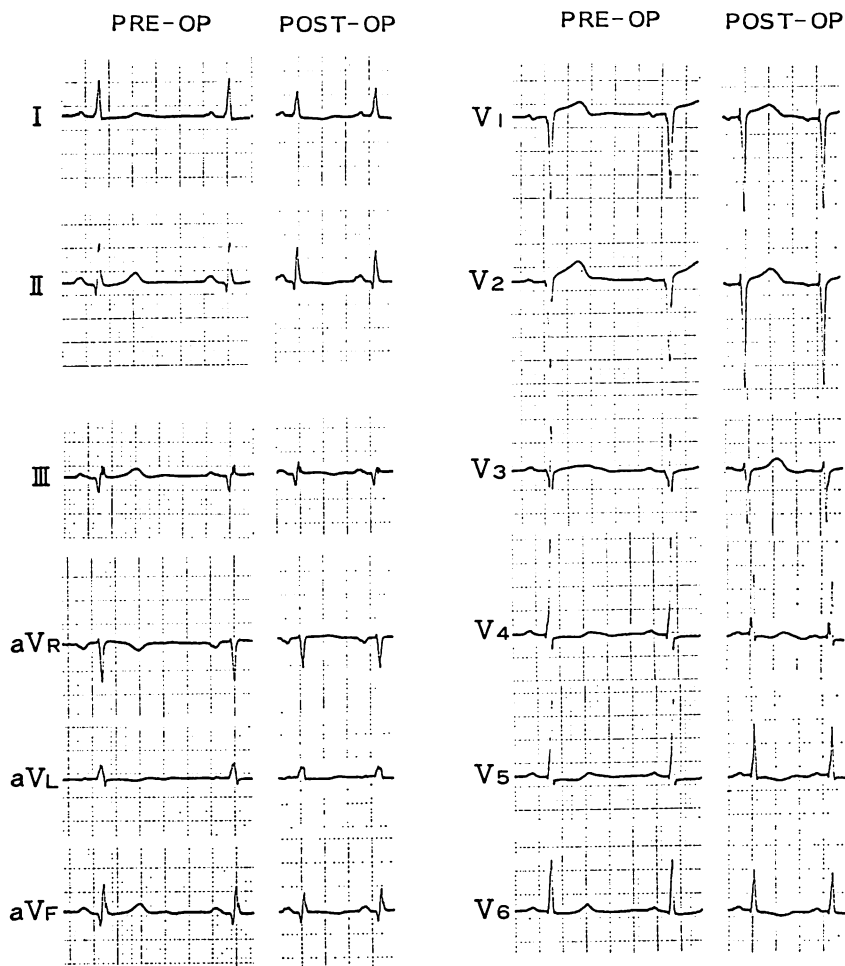


Fig. 5. SPECT images of Case 2 (58-year-old man) with old anteroseptal and inferior infarction and with 3 vessel disease and 3 bypass graftings.

Preoperative persistent defects in anteroseptal and apical areas are normalized or improved after surgery. Angiographically, all grafts are patent, but a graft to the LCX has anastomotic stricture. Abbreviations are same as in Fig. 2.



**Fig. 6. ECG findings of the same case in Fig. 5.**

ECG shows QS or abnormal Q waves in  $V_1$ - $V_3$  before surgery, but R waves appear in the same leads after surgery.

Abbreviations as before.

またクリアランスは低い。従って、 $^{201}\text{Tl}$  投与 2~4 時間後、健常部と虚血部のクリアランスの差が、両部の  $^{201}\text{Tl}$  濃度を同じにする。また、既に  $^{201}\text{Tl}$  のクリアランス段階にある健常心筋に比し、虚血心筋部は持続的に  $^{201}\text{Tl}$  を細胞内に取り込み続ける。以上 2 つのメカニズムが再分布現象を生むとされている。そして再分布を呈する部分は viable とみなされ、一方、再分布を示さない完全

欠損部は nonviable すなわち scar とされてきた。

しかし、最近一部の報告者<sup>7,8)</sup>によって、完全欠損部が必ずしも nonviable とはいえない例が存在することが注目されてきた。

今回の我々の結果では、なんらかの事情で AC バイパスグラフトが造設された持続性集積低下領域あるいは持続性完全欠損領域が、術後正常化した率はそれぞれ 69%, 25% にのぼった (Fig. 3).

また、更に、持続性集積低下あるいは持続性完全欠損が、術後なんらかの改善をみた領域は、それぞれ 77%, 44% であった (Fig. 4).

同様な報告として、Liu ら<sup>8)</sup>によれば、1 枝病変で PTCA を施行した 10 例において、完全欠損を示した 16 segments 中、12 segments (75%) が視覚的に正常化している。Gibson ら<sup>11)</sup>によれば、同じく 42 segments 中、19 segments (45%) が AC バイパス術後正常化した。Berger ら<sup>12)</sup>は同じ手術により完全欠損 18 segments 中、13 segments が改善し、そのうち 12 segments (67%) が正常化したと報告している。

このような完全欠損が正常化する例は、多枝病変例、心電図上 Q 波を認めない例、左室造影ないしは RI アンジオ上完全欠損部の壁運動が正常か hypokinetic な例に多いといわれている<sup>8,11-13)</sup>。我々の持続性完全欠損に関する成績は過去の報告より低率となっているが、持続性収縮低下を含めるとほぼ同様となる。

このような完全欠損部が、グラフト造設ないしは PTCA による再疎通後、集積改善を示すようになる機序として、次のことが考えられる。

一つは、再分布が 3 時間よりもさらに遅れて出現する場合 (late redistribution) である。Gutman ら<sup>13)</sup>は運動負荷直後欠損を示した部のうち 21% に、18~24 時間後の再分布を認めたと報告し、この遅延した再分布が生じる機序として、欠損部灌流冠動脈病変がそれだけ高度であること、さらに多枝病変例では欠損部の反対側領域にも有意な冠動脈狭窄があり、そのため同領域の  $^{201}\text{Tl}$  washout が悪く、したがってクリアランスカーブの傾きが緩やかとなり、その領域の  $^{201}\text{Tl}$  濃度が欠損部の濃度と一致する時点、すなわち再分布が出現する時点が遅れるためであると説明している。

また、視覚評価が背景雑音の切除レベルに左右される場合もあると考えられる。我々の施設では最大集積値の 40% で背景雑音を除去しており、低レベルの再分布を消去している可能性がある。

さらに恒久的な完全欠損として示される non-

viable な領域が、再疎通後、実際に  $^{201}\text{Tl}$  集積能を再獲得するという場合も考えられる。これに関して、重篤な虚血状態に陥った心筋が、早期に血行再建を受けると  $^{201}\text{Tl}$  集積が改善するという実験的根拠がある<sup>14,15)</sup>。しかし今回の我々の対象例では全例、期待的に AC バイパス術を受けており、早期に血行再建を受けた例はないため、 $\text{Tl}$  再獲得という仮説では説明しえない。

いずれにせよ、完全欠損の場合にも蘇生可能な場合があり、術前の生存能評価には注意を要する。特に多枝病変例では、左室造影、RI アンジオなどの診断技術を用い、完全欠損部の壁運動を参考にして心筋生存能を評価する必要があると考えられ、このことは同時に  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィの診断限界を示すものと思われる。

## 結 論

運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT は、グラフト開存の有無およびその効果判定に有用であり、今後とも重要な地位を保持していくと考えられるが、術前の心筋生存能 (viability) を過少評価することがあり、恒久的な完全欠損部においても蘇生可能なものがあつた。特に多枝病変例では、完全欠損部の壁運動を参考とすることが、心筋生存能の正確な把握につながると考えられた。

## 要 約

大動脈・冠動脈バイパス患者 58 例 (陳旧性心筋梗塞 29 例、労作性狭心症 29 例) に symptom-limited 自転車エルゴメーター運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT を術前後に施行し、SPECT 所見とグラフト開存の有無、および心筋生存能 (viability) との関連について検討を行い、以下の結果を得た。

1. グラフトは延べ 112 本が造設され、97 本 (87%) が開存していた。
2. SPECT 負荷像にて、術前に比べ術後集積が改善した領域では 98%、不変の領域では 79%、悪化した領域では 53% のグラフトが開存していた。グラフト開存にもかかわらず集積が悪化した

場合は手術に関係する梗塞, 吻合部狭窄, グラフトより末梢の流出不良などが原因であった.

3. グラフト開存後の灌流心筋分節では, 術前に持続性の集積低下を示した分節では 69% (27/39), 完全欠損の分節では 25% (4/16) が術後正常化した.

以上より, 運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT は, グラフト開存の有無, およびその効果の判定に有用であり, 今後とも重要な診断技術と考えられたが, 術前の再分布像は心筋生存能を過少評価することがあり, 特に持続性完全欠損でも蘇生可能な場合があり, 注意を要すると考えられた.

#### 文 献

- 1) Ritchie JL, Narahara KA, Trobaugh GB, Williams DL, Hamilton GW: Thallium-201 myocardial imaging before and after coronary revascularization. *Circulation* **56**: 830-836, 1977
- 2) Rehn T, Griffith L, Achuff S, Pond M, Becker L: Value and limitations of thallium-201 imaging to detect bypass graft patency. *Am J Cardiol* **43**: 434, 1979 (abstr)
- 3) Kolibash AJ, Call TD, Bush CA, Tetelman MR, Lewis RP: Myocardial perfusion as an indicator of graft patency after coronary artery bypass surgery. *Circulation* **61**: 882-887, 1980
- 4) Greenberg BH, Hart R, Botvinick EH, Werner JA, Brundage BH, Shames DM, Chatterjee K, Parmely WW: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy to evaluate patients after coronary bypass surgery. *Am J Cardiol* **42**: 167-176, 1978
- 5) Rasmussen SL, Nielsen SL, Amtorp O, Folke K, Fritz-Hansen P: 201-Thallium imaging as an indicator of graft patency after coronary artery bypass surgery. *Eur Heart J* **5**: 494-499, 1984
- 6) Wainwright RJ, Brennan-Roper DA, Maisey MN, Sowton E: Exercise thallium-201 myocardial scintigraphy in the follow-up of aortocoronary bypass graft surgery. *Br Heart J* **43**: 56-66, 1980
- 7) Futagami Y, Hamada M, Ichikawa T, Yamakado T, Konishi T, Nakano T, Takezawa H, Takeda K, Maeda H: Detectability of stress-induced ischemic lesion in previous myocardial infarction using  $^{201}\text{Tl}$  myocardial single photon emission computed tomography. *J Cardiogr* **13**: 821-832, 1983 (in Japanese)
- 8) Liu P, Kiess MC, Okada RD, Block PC, Strauss HW, Pohost GW, Boucher CA: 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
- 9) 二神康夫, 浜田正行, 市川毅彦, 小西得司, 中野 赳, 竹沢英郎, 竹田 寛, 前田寿登, 中川 毅: 心筋シンチグラムの Emission CT 法: 虚血性心疾患における検討. *心臓* **15**: 856-864, 1983
- 10) Pohost GM, Alpert NM, Ingwall JS, Strauss HW: Thallium redistribution: Mechanisms and clinical utility. *Semin Nucl Med* **10**: 70-93, 1980
- 11) Gibson RS, Watson DD, Taylor GJ, Grosby IK, Wellons HL, Holt ND, Beller GA: Prospective assessment of regional myocardial perfusion before and after coronary revascularization surgery by quantitative thallium-201 scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* **3**: 804-815, 1983
- 12) Berger BC, Watson DD, Burwell LR, Crosby IK, Wellons HA, Testes CD, Beller GA: Redistribution of thallium at rest in patients with stable and unstable angina and the effect of coronary artery bypass surgery. *Circulation* **60**: 1114-1125, 1979
- 13) Gutman J, Berman DS, Freeman M, Rozanski A, Maddahi J, Waxman A, Swan HJC: 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
- 14) Markis JE, Malagold M, Parker JA, Silverman KJ, Barry WH, Als AV, Paulin S, Grossman W, Braunwald E: Myocardial salvage after intracoronary thrombolysis with streptokinase in acute myocardial infarction: Assessment by intracoronary thallium-201. *N Engl J Med* **305**: 777-782, 1981
- 15) Maddahi J, Ganz W, Ninomiya K, Hashida J, Fishbein MC, Mondkar A, Buchbinder N, Marcus H, Geft I, Shah PK, Rozanski A, Swan HJC, Berman DS: Myocardial salvage by intracoronary thrombolysis in evolving acute myocardial infarction: Evaluation using intracoronary injection of thallium-201. *Am Heart J* **102**: 664-674, 1981