

## 虚血性心疾患の重症度評価 に関する $^{201}\text{Tl}$ -心筋 SPECT 指数の有用性

## Quantitation of the se- verity of coronary artery disease using thallium- 201 tomographic scores

岡野 光志  
大鈴 文孝  
勝然 秀一  
柳田 茂樹  
妹尾 正夫  
瀬口 秀孝  
荒川 宏  
水野 杏一  
青崎 登  
中村 治雄

Mitsuji OKANO  
Fumitaka OHSUZU  
Shuichi KATSUSHIKA  
Shigeki YANAGIDA  
Masao SENOO  
Hidetaka SEGUCHI  
Ko ARAKAWA  
Kyoichi MIZUNO  
Noboru AOSAKI  
Haruo NAKAMURA

### Summary

To evaluate coronary artery disease, a new quantitative thallium-201 ( $^{201}\text{Tl}$ )-tomographic scintigraphic score (TSS: modified Massie's score) using oxygen consumption (METS) was developed and compared with coronary angiographic score (CAG-S) in 27 patients (eight patients with normal coronary angiograms, and five, eight and six patients with one, two and three vessel disease, respectively) without previous myocardial infarction. All patients received both coronary angiography and the treadmill exercise test using  $^{201}\text{Tl}$ -myocardial single photon emission computed tomography (SPECT) within two weeks. The redistribution area (RA) and washout rate area (WA) were derived from the circumferential profile analysis using apical (A), midventricular (M) and basal (B) short-axis images. To obtain TSS values, the sum of these values was divided both by percentage of the age-predicted maximal heart rate (%PMHR) and the METS value as follows:

$$\text{TSS} = [\text{RA (A, M, B)} + \text{WA (A, M, B)}] / (\% \text{PMHR} \times \text{METS}).$$

The results were as follows:

1. TSS values were  $6.4 \pm 1.6$ ,  $9.4 \pm 2.2$ ,  $24.2 \pm 12.0$  and  $30.6 \pm 5.0$  (mean  $\pm$  SD) in normals, one, two and three vessel disease groups, respectively. Significant differences were found among each group except between two and three vessel disease groups.
2. The detectability of significant coronary artery disease was 89% (17/19) except in two patients with one vessel disease.
3. A high correlation coefficient was found between TSS (X) and CAG-S (Y), i.e.,  $Y = 0.8X - 3.5$

防衛医科大学校 第一内科  
所沢市並木 3-2 (〒359)

The First Department of Internal Medicine, National  
Defense Medical College, Namiki 3-2, Tokorozawa  
359

Received for publication December 25, 1987; accepted February 26, 1988 (Ref. No. 35-87)

( $r=0.944, p<0.001$ )

It was concluded that the tomographic scintigraphic score (TSS) is useful not only for detecting multivessel disease but also for totally-evaluating its severity, extent and influence on collateral supply, and could be used for analyzing prognosis and the selection of therapeutic interventions.

**Key words**

Coronary artery disease      Thallium-201 emission computed tomography      Tomographic scintigraphic score

はじめに

局所心筋血流量および心筋摂取を非侵襲的に評価するために、日常临床上、thallium-201 ( $^{201}\text{Tl}$ ) 心筋シンチ グラフィーが頻用されるようになり、最近は大動脈・冠動脈バイパス (aorto-coronary bypass: CABG)<sup>1)</sup>、経皮経管的冠動脈形成 (percutaneous transluminal coronary angioplasty: PTCA)<sup>2,3)</sup> 前後における心筋生存能 (viability) の評価、多枝病変の検出、重症度評価、再狭窄の検出などにも本法が利用されている。そのためには、感度や診断精度のより高い解析手技が要求される。それに対し、planar 像は撮像時間が短く、重症病変評価に重要な肺野の情報が得られる利点はあるが<sup>4)</sup>、周辺臓器との重なりのため、特に病変検出感度の点で single photon emission computed tomography (SPECT) に劣る<sup>5,6)</sup>。SPECT を用いた洗出率 (washout rate)、円周断面図法 (circumferential profile analysis) などの定量的解析法による病変存在診断は、感度、特異性ともに優れてはいるものの<sup>6-8)</sup>、病変の重症度評価、多枝病変検出率などには十分であるとは言えない。

本研究では狭心症患者を対象に、生理的要因である運動耐容能により補正された定量的  $^{201}\text{Tl}$ -SPECT 指数<sup>9)</sup>を用い、これと心筋虚血領域の重症度、広がり、側副血行の有無により算出された冠動脈指数とを比較し、本指数の有用性について検討した。

対象と方法

対象は心筋梗塞の既往がなく、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 施行 2 週間以内に行った選択的冠動脈

**Table 1. Patient population**

	n	Sex		Age (mean±SD)
		M	F	
Normal	8	6	2	52.8±4.8
One vessel disease	5	5	0	49.0±8.5
Two vessel disease	8	8	0	60.3±10.5 *
Three vessel disease	6	2	4	65.2±3.9 **

\*:  $p<0.01$ , \*\*:  $p<0.001$

造影 (CAG) で有意狭窄 ( $\geq 50\%$  stenosis in diameter) が、確認された労作性狭心症 19 例、冠動脈疾患が疑われたが冠動脈造影所見が正常で、健常群として取り扱った 8 例、計 27 例である。1 枝病変 5 例、2 枝病変 8 例、3 枝病変 6 例であり、年齢は 41~75 歳、平均 57.0 歳であったが、3 枝病変患者の年齢は有意に高齢であった (Table 1)。冠動脈病変の内訳は、右冠動脈 (RCA) 病変例が 13 例、左前下行枝 (LAD) 病変例が 19 例、回旋枝 (LCX) 病変例は 11 例 (以上延べ数) であった。LCX のみの病変例は 1 例もなく、また 2 枝病変例中、2 例は左主幹部病変を有していた。側副血行は 1 枝病変患者にはみられず、2 枝病変例の 4 例、3 枝病変例の 2 例にみられた。また 1 枝病変例での狭窄度は 50~68% と軽症であったが、2~3 枝病変例では重症狭窄病変を有するものが多かった (Table 2)。

運動負荷には treadmill を使用し、Bruce 法または Bruce 変法にて 3 分ごとに負荷を漸増させる多段階負荷法を用い、負荷中止 30 秒~1 分前に  $^{201}\text{Tl}$  2 mCi を bolus にて静注した。安静時から負荷中止 5 分後まで、1 分ごとに 12 誘導心電図および血圧を記録した。負荷中止基準としては、胸

Table 2. Description of stenotic arteries and collaterals

CAD	n	% stenosis						Collaterals
		50~69	70~79	80~89	90~98	99	100	
One vessel disease	5							
RCA	1	1	0	0	0	0	0	0
LAD	4	4	0	0	0	0	0	0
LCX	0	0	0	0	0	0	0	0
Two vessel disease	8							
RCA+LAD	5	4	2	0	3	0	2	3
LAD+LCX	2(2)	2(2)	0	0	0	0	0	1(1)
LCX+RCA	1	1	0	0	1	0	0	0
Three vessel disease	6	7	2	0	6	2	1	2
Total	19	14	4	0	10	2	3	6

( ): LMT

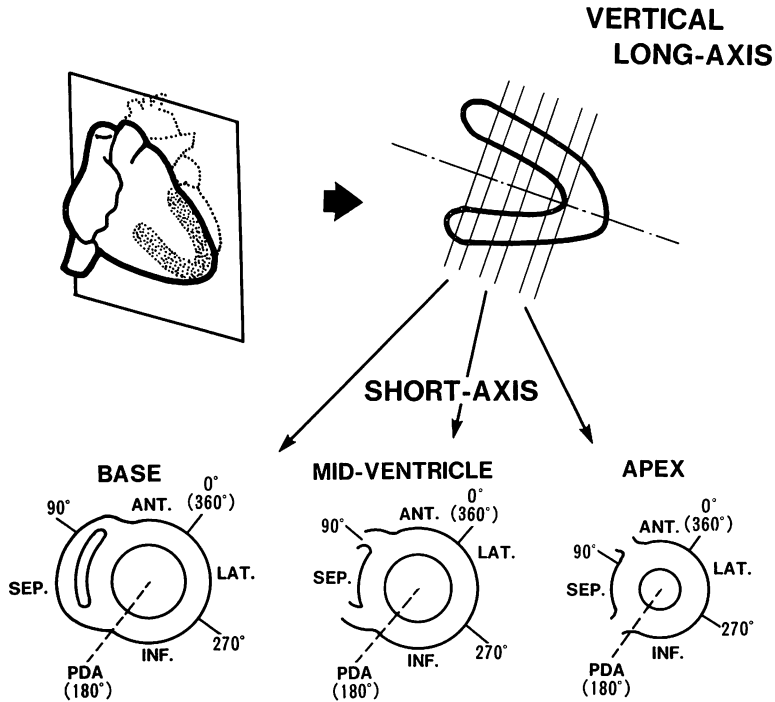
CAD=coronary artery disease; LAD=left anterior descending artery; RCA=right coronary artery; LCX=left circumflex artery; LMT=left main trunk.

痛、息切れ、足の疲れなどの症状のほか、1 mm 以上の虚血型 ST 低下、2 mm 以上の upsloping な ST 低下も採用した。

運動終了 5~10 分後に低エネルギー汎用型平行コリメーター装着の回転型ガンマカメラ (GE 製 MaxiCamera 400AT)、およびオンラインで接続したデータ処理用コンピューター (Maxi-Star) を用いて負荷直後像を、また 3~4 時間後に再分布像を撮像した。データ収集は左後斜位 45 度から右前斜位 45 度までの 180 度、一方向 30 秒、32 方向より行った。

画像再構成には Ramp-Hanning フィルターを用い、cut-off 値 0.5 にてフィルター補正逆投影法により画像を構成し、background 処理、吸収補正は行わなかった。スライス幅 6 mm の左室短軸断層像、水平長軸断層像、および垂直長軸断層像の 3 方向画像を作製した。6~9 スライスの短軸像のうち心尖部 (心内腔が最初にみえるスライス: A)、心基部 (心筋壁の 3 分の 2 以上がみえる最後のスライス: B)、および心室中央 (心尖部と心基部の中間のスライス: M) の 3 スライスを選定し (Fig. 1)、そのドーナツ型の心筋像を内腔中心から放射状に 9 度ごと 40 分割した sector に分

ち、それぞれの sector の 1 pixel あたりの最高カウントを求めた。負荷直後像、再分布像における心長軸での回転を補正するために、右冠動脈の後下行枝走行部位、すなわち右心室と左心室の下方付着端が 180 度となるように、円周断面図曲線をおのおの負荷直後像、再分布像について作製した。各スライスごとその最大カウント曲線の最大カウント数が 100% となるように、負荷直後と再分布時の円周断面曲線を正規化して重ね合わせ、再分布曲線が負荷直後曲線よりも高値となる領域の面積を任意の単位にて算出し、3 スライスを合計し、再分布面積 (RA) とした。同様に洗出率 [(poststress count - delayed count) / poststress count × 100] の円周断面図曲線が健常群より求めた (平均 - 2SD) 曲線よりも低値となる面積を 3 スライス合計し、洗出率面積 (WA) とした (Fig. 2a)。これらの和を負荷終了時の % 年齢別予想最大心拍数 (%PMHR) および METS 数にて除し、<sup>201</sup>Tl-SPECT 指数 (TSS) とした (Fig. 2b)。負荷心電図解析装置には Marquette 製 Case II を用い、各負荷レベルでのスピード (mile/hour) と傾斜角 (%) より、コンピューターに組み込まれた次の近似式にて計算される METS 数を今回の検



**Fig. 1. Diagram of the selection of 3 short-axis slices.**

Three short-axis slices are selected as follows: *apical*; the slice in which endocardial surface becomes visible at the apex, *basal*; the slice in which more than two thirds of myocardial circumference is still visible in the base, and *mid-ventricular*; the slice in the middle between the apex and base. The inferior junction (PDA) of the right and left ventricles is selected as a landmark along the left ventricular circumference and is assigned as a circumferential location of 180° (dotted line).

ANT=anterior; SEP=septum; INF=inferior; LAT=lateral; PDA=posterior descending artery.

討に用いた.

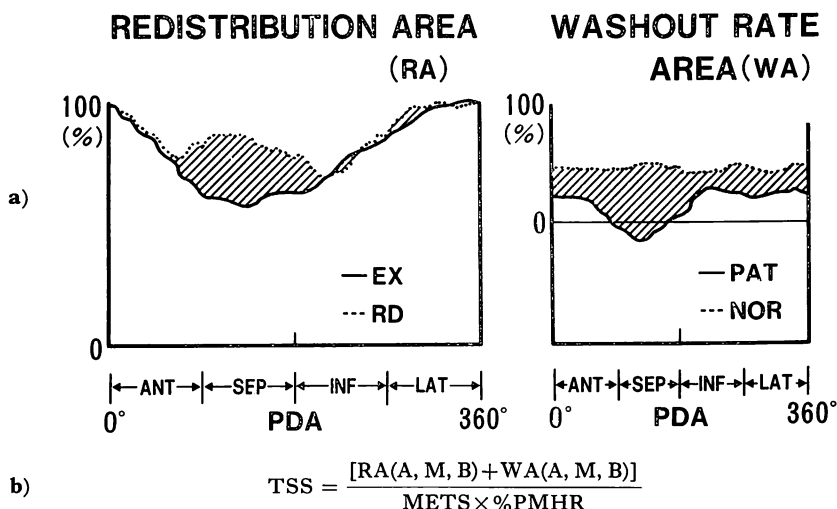
$$\text{METS} = \text{speed} \times (\text{grade} + 8) / 7.8$$

この TSS による虚血病変の診断精度評価基準として, Massie らの方法に準じて冠動脈造影指数 (CAG-S, Table 3, Fig. 3) を用い, TSS と CAG-S の比較検討を行った. AHA 分類に準じ, RCA を 4-PD (PDA), 4-PL の 2 本, LAD を第一中隔枝, 第一, 第二対角枝, 末梢枝の 4 本, LCX を鈍角枝, 後側壁枝の 2 本, 計 8 本に分類し, 狭窄度に応じ得点化し, その合計をその患者の CAG-S とした. また良好な側副血行を受ける狭窄枝では, そのスコアの 50% をその狭窄枝の得点として採用した.

## 結 果

### 1. 運動負荷量

各病変群での到達最大心拍数 (PHR), 最大収縮期血圧 (peak BP), PHR × peak BP (double product), %PMHR および METS 数を Table 4 に示す. Peak BP, %PMHR および METS 数では各群間に有意差はみられず, PHR と double product では 2 枝病変群, 3 枝病変群で有意に低値を示した. %PMHR で有意差のみられなかったのは, Table 1 に示すごとく, 年齢による影響が示唆された.



**Fig. 2a. Determination of redistribution area and washout rate area for a single tomographic frame and an equation of tomographic scintigraphic score (TSS).**  
 A=apical slice; M=mid-ventricular slice; B=basal slice; %PMHR=percent of the age predicted maximal heart rate; METS=energy expenditure at rest, equivalent to an oxygen uptake of approximately 3.5 ml O<sub>2</sub> per (kilogram body) weight per minute.

Redistribution area is defined as the area enclosed between the postexercise profile and the delayed profile where the former is superior to the latter (left shaded area). The washout rate area is defined as the number of points falling below the normal limit (right shaded area). Each area is expressed as an arbitrary unit. Scintigraphic score is corrected by two physiological parameters at the peak exercise. EX=postexercise profile; RD=redistribution profile; PAT=patient profile; NOR=normal profile; ANT=anterior; SEP=septum; INF=inferior; LAT=lateral; PDA=posterior descending artery.

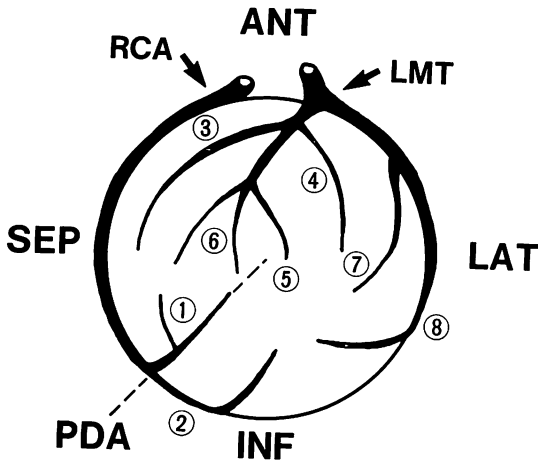
**Table 3. Coronary angiographic score (CAG-S) compared with %stenosis diameter**

% stenosis	CAG-S
50~69	2
70~79	4
80~89	6
90~98	8
99	9
100	10

**2. 病変検出率**

再分布面積 (RA, Fig. 4a) は、健常群、1,2 および 3 枝病変群の順に 40.8±17.0; 57.4±19.2; 67.0±31.8; 73.5±19.0 (平均±2SD) であった。1 枝と 2 枝、2 枝と 3 枝病変群間を除き各群間に有

意差が認められたが、重なりも多数みられた。また 8 例の健常群データより求められた平均+2SD 値は 57.8 であり、この値より大なる値を異常高値とみなしたとき、病変存在診断感度 (sensitivity) は 79% であった。洗出率面積 (WA, Fig. 4b) は、それぞれ 15.0±8.3; 20.8±9.4; 32.0±28.4; 41.3±30.6 となり、診断感度は 58% と比較的低値であった。RA+WA (Fig. 4c) を指標として用いた場合には、それぞれ 59.1±9.8, 78.2±26.8, 99.0±48.4, 114±49.2 となり、診断感度は 74% で、WA とともに RA 単独の場合と同じく 1 枝と 2 枝、2 枝と 3 枝病変群間を除き有意差を認められたが、各群間の重なりも多かった。TSS (Fig. 4d) を用いた場合には、それぞれ 6.4±2.2, 9.4±2.2, 24.2±12.0, 30.6±5.0 で、1 枝と 2 枝病変群間に



- ① 4-PD (=PDA)
- ② 4-PL
- ③ 1st septal
- ④ 1st diagonal
- ⑤ 2nd diagonal
- ⑥ peripheral
- ⑦ obtuse marginal
- ⑧ posterolateral

Fig. 3. Definition of eight coronary arteries.

The coronary anatomy is superimposed on a diagram of the left ventricular myocardium.

RCA=right coronary artery; LMT=left main trunk; ANT=anterior; SEP=septum; INF=inferior; LAT=lateral; PDA=posterior descending artery.

有意差が出現し, 89% の比較的高い診断感度を有していた。しかし 2 枝病変群では各患者間のデータのばらつきが大きく, 3 枝病変群との間に重なりが多数認められた。

### 3. 冠動脈造影指数 (CAG-S) との対比 (Fig. 5)

横軸 (X) を TSS 値, 縦軸 (Y) を CAG-S 値として各患者データをプロットすると,  $Y=0.8X-3.5$ ;  $r=0.944$  ( $p<0.001$ ) の有意な正相関を認めた。また CAG-S と RA, WA および RA+WA との間の相関係数は, それぞれ 0.762 ( $p<0.001$ ); 0.845 ( $p<0.001$ ); 0.863 ( $p<0.001$ ) であった。RA+WA を %PMHR または METS 数のみにより補正した場合, CAG-S との相関係数は, それぞれ 0.837 ( $p<0.001$ ); 0.836 ( $p<0.001$ ) と両者に差はみられなかったが, %PMHR および METS 数の両方で補正した TSS が最も高い相関性を有していた。

### 4. 症例例示

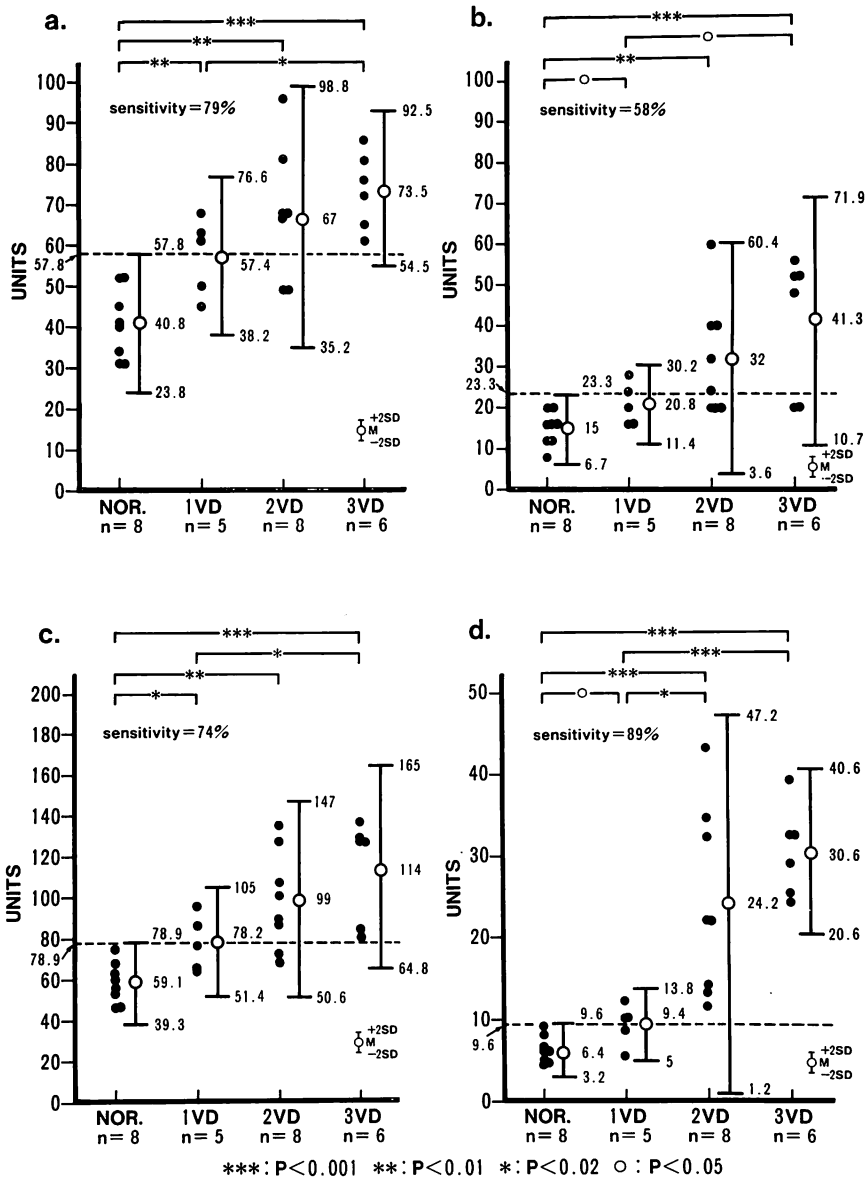
我々の施設で用いている実際の CRT 画像を示す (Fig. 6)。症例は 49 歳の男性, 労作時胸痛を主訴とし, 糖尿病, 高コレステロール血症合併例である。冠動脈造影では AHA 分類の #1 に 95% ( $CAG-S=8+8=16$ ), LAD 第二対角枝分枝後の #7 に 94% ( $CAG-S=8$ ) の狭窄が認められた (Fig. 6c)。運動負荷は Bruce 変法にて行い, stage 3, 8 分 15 秒, 62%PMHR および 4 METS にて胸痛が出現したため中止した。負荷心電図では有意な ST 低下はみられなかった。SPECT 像では視覚的に中隔および下後壁に明らかな再分布を認めた (Fig. 6a)。再分布の定量的方法である

Table 4. Exercise capacity of four groups

	P.H.R. (beat / min)	Peak S.B.P. (mmHg)	Double product ( $\times 10^3$ )	METS	%PMHR
Normal (n=8)	159 $\pm$ 12.4	194 $\pm$ 28.5	21 $\pm$ 5.1	10.5 $\pm$ 2.3	91.6 $\pm$ 7.5
1 VD (n=5)	151 $\pm$ 11.7	202 $\pm$ 12.5	30 $\pm$ 3.4	10.0 $\pm$ 3.0	88.2 $\pm$ 10.5
2 VD (n=8)	118 $\pm$ 10.5	186 $\pm$ 20.2	21 $\pm$ 2.7	6.3 $\pm$ 1.7	73.3 $\pm$ 10.7
3 VD (n=6)	131 $\pm$ 22.0	191 $\pm$ 31.3	25 $\pm$ 7.4	5.5 $\pm$ 2.2	73.5 $\pm$ 16.2

\*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$ , \*\*\*:  $p<0.001$ . All data are expressed as mean $\pm$ SD

1 VD=one vessel disease; 2 VD= two vessel disease; 3 VD=three vessel disease; SBP=systolic blood pressure; Double product=peak HR $\times$ peak SBP; %PMHR=percent of the age predicted maximal heart rate.



**Fig. 4. Redistribution area (a), washout rate area (b), redistribution area plus washout rate area (c), and tomographic scintigraphic score (d) of each group.**

Ordinates are arbitrary units. The dashed line of each diagram is mean+2SD value of the normal data.

NOR=normal; 1VD=one vessel disease; 2VD=two vessel disease; 3VD=three vessel disease; SD=standard deviation.

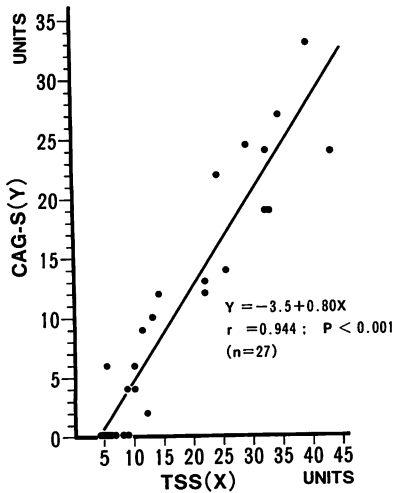


Fig. 5. Correlation between tomographic scintigraphic score and coronary angiographic score.

TSS=tomographic scintigraphic score; CAG-S=coronary angiographic score.

RA 曲線を用いれば, 同部位での虚血領域の広がり, 虚血の強さが一見して把握できる. WA 曲線では心筋全周囲にて正常下限値以下となり, いわゆる diffuse slow washout pattern<sup>10)</sup> を呈し, 2 枝病変患者であることより, 不十分な到達運動負荷量が一因であると思われる.

### 考 按

運動負荷 <sup>201</sup>Tl 心筋 SPECT は, 虚血性心疾患における病変の有無, 多枝病変検出に関する診断のみならず, 投薬や CABG<sup>11)</sup>, PTCA<sup>3)</sup> などの治療方針の決定, 治療効果の判定ならびに治療後の経過観察など, 临床上重要な役割を担うようになった. 特にこれら治療法のために, 虚血領域の局在性診断, 広範な虚血を有するハイリスク患者の同定<sup>12,13)</sup>, 多枝病変患者での優位狭窄の同定, 側副血行の関与<sup>14)</sup> や心筋生存能の評価<sup>1)</sup> などが要求されるようになり, より高い診断精度が必要となった. 虚血性心疾患の診断に関して, 客観性の高い SPECT 定量診断法を用いれば, 虚血存在

診断の感度, 特異性ともに 90% 以上とする報告が多い<sup>6~8)</sup>. 定量解析法には, 主に <sup>201</sup>Tl カウント数分布を百分率表示した円周断面曲線<sup>15)</sup> または経時的な心筋からの洗い出しを表す洗出率<sup>16)</sup> が用いられるが, 円周断面曲線を表示する際, どの点を展開の基準にするかが問題となる. 通常は短軸像の中心を通る垂線, または水平線の一端を 0 度とすることが多いが, 負荷直後と再分布時での心臓長軸に対する回転が考慮されていない. 45 度程度までの回転は日常临床上よく経験するため, 今回の検討では, RCA の後下行枝を基準点として, 回転補正を行った.

各種 SPECT 定量法による診断能を検討した報告は数多いが<sup>17)</sup>, SPECT データを運動負荷量により補正して検討した報告はない. 一般に, 病変枝数が増加するに従い, 運動負荷時間は短縮し, 最大心拍数は減少する<sup>18,19)</sup>. 重症病変患者の負荷耐用能は, Bruce 法 stage II 以下または他の protocol で 6.5 METS 以下とされる. また, 安静時の酸素消費量を表す METS 数は各種仕事量に相関し, 運動負荷試験の各 stage での負荷量は, METS 数の整数倍になるよう考慮されている. 負荷心電図による虚血病変検出法として ST 低下度を心拍数により補正する試みも多数報告され, 診断精度の向上をみている<sup>20,21)</sup>. 我々は, seven-pinhole 断層像を用いた Massie ら<sup>9)</sup> のシンチ指数を改変し, 年齢別の %PMHR および METS 数にて補正された新しい SPECT 指数を考案し, 主要冠動脈病変枝数別の病変検出率の検討, および CAG-S との比較検討を行った.

<sup>201</sup>Tl 心筋シンチによる虚血性心疾患検出率の感度, 特異性は多くの因子により影響される. 感度を下げる要因として, 不十分な運動量<sup>6)</sup>, 軽症狭窄<sup>25)</sup>, 一枝病変<sup>5)</sup>, 側副血行の関与<sup>14)</sup> および LCX<sup>22)</sup>, 対角枝病変などがあり, 一方, 感度を上げる要因としては, 加齢<sup>23)</sup>, 心筋梗塞の既往, 多枝病変または左主幹部病変<sup>5)</sup> などが考えられる. 洗出率は <sup>201</sup>Tl 静注時の到達心拍数に影響され<sup>24)</sup>, 健常人でも不十分な負荷量では偽陽性となること



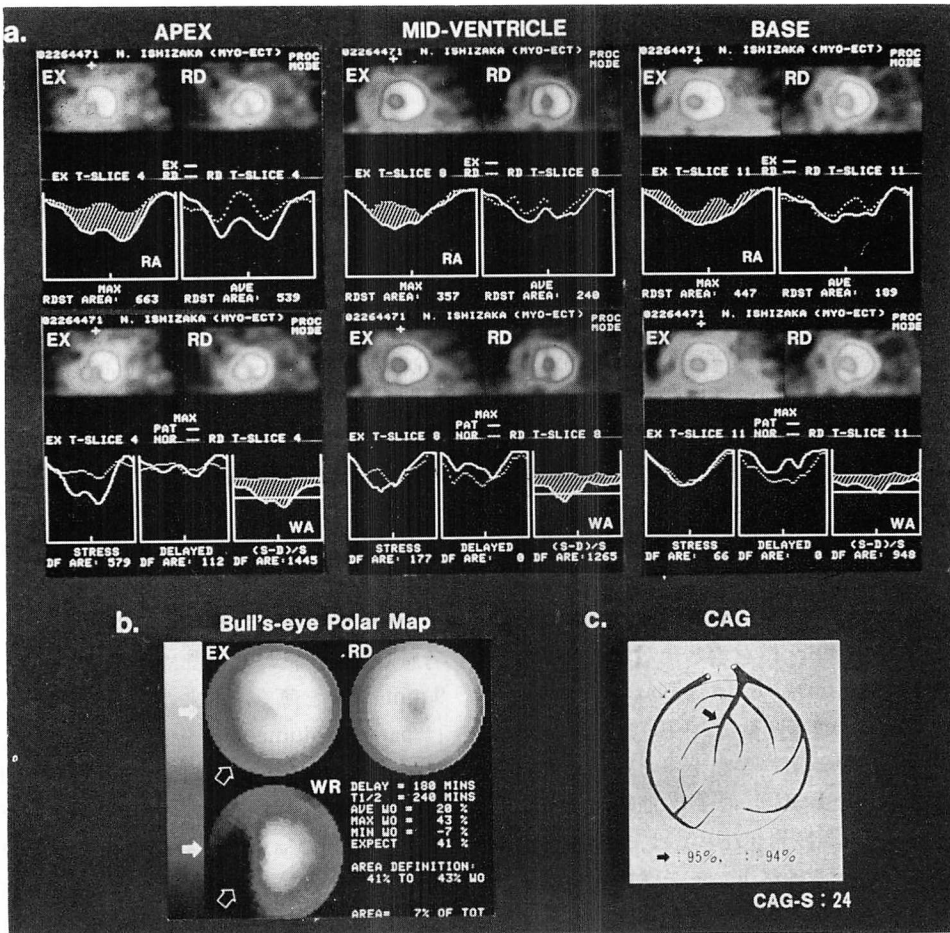


Fig. 6. Examples of redistribution area and washout rate area on CRT monitor (a), Bull's eye polar map images of the same patient (b), and coronary angiographic findings (c).

a) Postexercise (left) and delayed (right) visual images of upper photos show redistribution of the septum through the inferoposterior wall and left ventricular dilatation of postexercise images. Large redistribution area (RA, shaded area) are compatible with visual inspection with respect both to location and severity. Washout rate area (WA, shaded area) represent the diffuse slow washout pattern perhaps because of low exercise in addition to severe ischemia.

b) Postexercise (upper left) (Ex), delayed (upper right) (Rd) and washout rate (WR) (lower) images show septal (black arrow) and inferoposterior (white arrow) transient ischemia.

も希ではない<sup>10)</sup>。また Kaul らは 50% 以下狭窄患者の 89% に洗出率の異常をみたとしている<sup>25)</sup>。今回呈示した症例では、2 枝病変でありながら %PMHR が 63% と低く、diffuse slow washout を呈した。さらに Berger ら<sup>6)</sup>の報告によると、85%PMHR 以上の負荷量であれば、心電図と

<sup>201</sup>Tl 心筋シンチの病変検出感度に差はなく、85% 以下の場合には明らかに <sup>201</sup>Tl シンチの方が高くなり、これは運動負荷早期に血流異常が生じるためであるとしている。我々の症例でも、心電図では全く虚血性 ST 変化は出現せず、シンチ所見上明らかな再分布を認めている。多枝病変患

者では洗出率曲線は健常群データに比べ低値となり, WA が大きく, %PMHR と METS 数が小さいため, さらに WA が増加し, TSS 値が大きくなる. このように, TSS は多枝病変などの運動耐用能の低い患者の検出率が高くなるように意図されている.

<sup>201</sup>Tl シンチの感度に及ぼす側副血行の影響については議論の多いところである. Rigo ら<sup>14)</sup>は, 正常血管からの側副血行により完全狭窄領域の血流が正常化するとし, 逆に Berger ら<sup>26)</sup>は, ほとんど影響しないとしている. このため, 今回の検討では, 側副血行を受ける狭窄病変領域では, その得点の半分を CAG-S として採用した.

SPECT データより算出された TSS による全体病変検出感度は, RA, WA, RA+WA に比べ 89% と比較的高値であり, 多枝病変検出感度は 100% と優れていた. 1 枝病変群 5 例のうち 2 例は正常下限以下の TSS 値を示したが, 両者ともに軽症狭窄 (LAD 60%, RCA 68%) 例であり, %PMHR, METS 数もそれぞれ 104%, 15 および 83%, 9 と, 運動耐用能が高かったためと考えられた. 運動負荷 SPECT の CP 曲線では, 特に balance-type の 3 枝病変などでは, <sup>201</sup>Tl が相対的血流量を反映する性格上, その虚血巣を過小評価するケースが多く<sup>4)</sup>, まれに正常パターンを呈することもあり, これが RA 値を用いた検討で, 2 枝病変群と 3 枝病変群との重なりが多かった理由の一つと考えられる. このような時に洗出率が異常であることも多く<sup>13)</sup>, 検出率の向上がみられるが, 今回の検討では RA と RA+WA による検出率に差はみられなかった. また, 通常最もカウント数の高い左室側壁は LCX の支配領域であることが多く, ここに重篤な一過性虚血が生じた場合にも, 相対的な百分率表示法である周囲断面曲線では過小評価することになる. 今回の対象の中には, LCX 単独, または LCX に最も重篤な狭窄を有する多枝病変患者は含まれていなかったため, この点についての影響は少なかったものと思われる.

冠動脈病変は主要冠動脈の病変枝数で評価されることが多いが, 個々の患者の病変部位および冠動脈枝の還流領域は千差万別であり, 虚血領域を心臓全体について把握する必要がある. 病変部と健常心筋とを分離でき, 病変部の大きさを定量的に評価できる SPECT データを用いた TSS では, 2 枝と 3 枝病変群間に重なりが多かったものの, 病変枝数, つまり病変の広がり, 重症度としての狭窄度と側副血行の関与を加味した CAG-S との間に, 良好な相関関係がみられた. これは狭窄程度の強い虚血領域は軽症の部位に比べて欠損の程度が強く, その領域も大きくなる反面, 運動能力は小となる傾向があるためと考えられる. したがって TSS は冠動脈疾患の重症度をよく反映しており, 治療方針, 予後決定など, 臨床上有用な解析法であると思われる.

今回の解析法では純粋な心尖部データの記録は考慮しなかった. 心尖部は解剖学的にも厚さが 9 mm 前後と薄く, 本来の心尖部短軸スライス像は partial volume 効果を受けやすいため, 正確に評価できないからである. しかし, 軽症 LAD 病変の虚血巣は心尖部のみに出現するという報告もあり, 今回の検討法でも, 対象に LAD 病変患者が多いため, 全体的に過小評価した可能性が残る. 今後, 水平または垂直長軸断面層像の心尖部円周断面曲線の作製も考慮する必要があると思われる<sup>27)</sup>. また, 今回は 4 時間後円周断面曲線が負荷直後曲線よりも高値となる面積を再分布面積としたが, 重症狭窄枝還流域では, 心筋梗塞の既往がなくても, 4 時間後像で持続性欠損像となる場合も少なくない (遅延再分布) ため<sup>28)</sup>, 洗出率, 面積算出法と同様に, 負荷直後曲線と正常下限曲線の間の面積を, defect score として評価する方法も検討する必要がある<sup>27)</sup>. 最近では極座標表示法 (Bull's-eye polar map; Fig. 6b) が普及し, 重症病変患者では負荷直後像で心拡大を呈することもしばしば観察され, 心尖部と心基部の範囲の設定に問題を残すものの, 処理時間の短縮, 心筋全体の虚血状態を一見して把握できるなどの利点を有

するため<sup>29)</sup>、今回の定量解析法を導入し、さらに検討してゆく予定である。また、心筋梗塞例は対象としなかったが、予後を推測するために重要な多枝病変の検出、梗塞部生存能の評価など、現在最も注目されている観点についても、CABG や PTCA 前後における症例を中心に検討を加えてゆく予定である。さらに、本邦でも放射性ヨード脂肪酸<sup>30,31)</sup>による心筋シンチの臨床応用が近い将来計画されており、<sup>201</sup>Tl では必ずしも評価が容易でない心筋生存能の判定が可能になるかもしれない。

### 要 約

Massie らの <sup>201</sup>Tl-心筋 SPECT 指数を改変し (TSS)、その病変検出精度を検討した。また狭窄度、病変の広がり、側副血行の有無により算出した冠動脈指数 (CAG-S) との比較検討を行った。

対象は選択的冠状動脈造影および運動負荷 <sup>201</sup>Tl-SPECT を施行した健常群 8 例、心筋梗塞の既往のない虚血性心疾患患者 19 例 (1 枝病変 5 例、2 枝病変 8 例、3 枝病変 6 例) である。

SPECT 短軸断層像にて心尖部 (A)、心室中央部 (M) および心基部 (B) 3 スライスの円周断面曲線 (circumferential profile curve) を作製し、負荷直後像、4 時間後像より再分布面積 (RA) を、また健常群の洗出率より平均-2SD 曲線を作製し、正常下限曲線より洗出率曲線が低値となる面積 (WA) を各スライスごとに求め、これらの和を % 年齢別予想最大心拍数 (%PMHR) および METS 数にて除し、次式より TSS を算出した。

$$TSS = (RA + WA)(A, M, B) / (\%PMHR \times METS)$$

TSS 値は健常群、1, 2, 3 枝病変群の順に  $6.4 \pm 2.2$ ,  $9.4 \pm 2.2$ ,  $24.2 \pm 12.0$ ,  $30.6 \pm 5.0$  となり、2 枝と 3 枝病変群間を除き、各群間に有意差を認めた。TSS 値は 1 枝病変 2 例を除く 17 例で、健常群データより求めた平均+2SD 値より大であり、感度 89%、特異性 100% の高い診断率を示した。また TSS (X) と CAG-S (Y) の間に  $Y = 0.8X -$

$3.5$ ;  $r = 0.944$  ( $p < 0.001$ ) の比較的高い正相関をみた。

以上より、<sup>201</sup>Tl-心筋 SPECT 指数は、多枝病変検出のみならず、病変狭窄度、病変の広がり、側副血行の有無とも良く相関し、虚血性心疾患患者の予後、治療効果判定などに有用な定量解析法であると思われる。

### 文 献

- 1) Hakki AH, Iskandrian AS, Kane SA, Amenta A: Thallium-201 myocardial scintigraphy and left ventricular function at rest in patients with rest angina pectoris. *Am Heart J* **108**: 326, 1984
- 2) Wijns W, Serruys PW, Reiber JH, Brand M, Simoons ML, Kooijman CJ, Balakumaran K, Hugenholtz PG: Quantitative angiography of the left anterior descending coronary artery: Correlations with pressure gradient and results of exercise thallium scintigraphy. *Circulation* **71**: 273-279, 1985
- 3) Kanemoto N, Hor G: Improvement of regional myocardial perfusion following percutaneous transluminal coronary angioplasty in patients with coronary artery disease. *Jpn Heart J* **26**: 495-508, 1985
- 4) Nygaard TW, Gibson RS, Ryan JM, Gascho JA, Watson DD, Beller GA: Prevalence of high-risk thallium-201 scintigraphic findings of left main coronary artery stenosis: Comparison with patients with multiple- and single-coronary artery disease. *Am J Cardiol* **53**: 462-469, 1984
- 5) Gibson RS, Beller GA: Should exercise electrocardiography be replaced by radionuclide method? *in Controversies in Coronary Artery Disease* (ed by Rahimtoola SH, Brest AN), FA Davis, Philadelphia, 1982, pp 1-33
- 6) Berger BC, Watson DD, Taylor DJ, Craddock GB, Martin RP, Teates CD, Beller GA: Quantitative thallium-201 exercise scintigraphy for detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* **22**: 585-593, 1981
- 7) Wackers FJT, Fetterman RC, Mattera JA, Clements JP: Quantitative planar thallium-201 stress scintigraphy: A critical evaluation of the method. *Semin Nucl Med* **15**: 46-66, 1985
- 8) Kaul S, Boucher CA, Newell JB, Chesler DA, Greenberg JM, Okada RD, Strauss HW, Dinsmore RE, Pohost GM: Determination of the quantitative thallium ranging variables that optimize detection of coronary artery disease. *J Am*

- Coll Cardiol 7: 527-537, 1986
- 9) Massie BM, Hollenberg M, Wisneski JA, Go M, Gertz EW, Henderson S: Scintigraphic quantification of myocardial ischemia: A new approach. *Circulation* 68: 747-755, 1983
  - 10) Bateman TM, Maddahi J, Gray RJ, Murphy FL, Garcia EV, Conclin CM, Raymond MJ, Stewart ME, Swan HJC, Berman DS: Diffuse slow washout of myocardial thallium-201: A new scintigraphic indicator of extensive coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 4: 55-64, 1984
  - 11) Gibson RS, Watson DD, Taylor DJ, Crosby 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* 1: 804-815, 1983
  - 12) McDonnell TJ, Becker LC, Bulkley BH: Thallium imaging in cardiac lymphoma. *Am Heart J* 101: 809-814, 1981
  - 13) Gewirtz H, Paladino W, Sullivan M, Most AS, Gascho JA, Watson DD, Beller GA: Value and limitations of myocardial thallium washout rate in the noninvasive diagnosis of patients with triple-vessel coronary artery disease. *Am Heart J* 106: 681-686, 1984
  - 14) Rigo P, Becker LC, Griffith LSC, Alderson PO, Bailey IK, Pitt B, Burrow RD, Wagner HN: Influence of coronary collateral vessels on the results of thallium-201 myocardial stress imaging. *Am J Cardiol* 44: 452-458, 1979
  - 15) 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: 577-584, 1981
  - 16) McCarthy DM, Sciacca RR, Blood DK, Cannon PJ: Discriminant function analysis using thallium-201 scintiscans and exercise stress variables to predict the presence and extent of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 49: 1917-1926, 1982
  - 17) Maddahi J, Abdulla A, Garcia AV, Swan HJC, Berman DS: Noninvasive identification of left main and triple vessel coronary artery disease: Improved accuracy using quantitative analysis of regional myocardial stress distribution and washout of thallium-201. *J Am Coll Cardiol* 7: 53-60, 1986
  - 18) McNear FJ, Margolis JR, Lee KL, Kisslo JA, Peter RH, Kong Y, Behar VS, Wallace AG, McCants CB, Rosati RA: The role of the exercise test in the evaluation of patients for ischemic heart disease. *Circulation* 57: 64-70, 1978
  - 19) Weiner DA, Ryan TJ, McCabe CH, Chaitman BR, Sheffield LT, Ferguson JC, Fisher LD, Tristani F: Prognostic importance of a clinical profile and exercise test in medically treated patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 3: 772-779, 1984
  - 20) Detrano R, Salcedo E, Passalacqua M, Friis R: Exercise electrocardiographic variables: A critical appraisal. *J Am Coll Cardiol* 8: 836-847, 1986
  - 21) Hollenberg M, Budge R, Wisneski JA, Gertz EW: Treadmill score quantifies electrocardiographic response to exercise and improves test accuracy and reproducibility. *Circulation* 61: 276-285
  - 22) Rigo P, Bailey IK, Griffith LSC, Pitt B, Wagner HN, Becker LC: Stress thallium-201 myocardial scintigraphy for the detection of individual coronary arterial lesions in patients with and without previous myocardial infarction. *Am J Cardiol* 48: 209-216, 1981
  - 23) DePace NL, Iscandrian AS, Nadell R, Colby J, Hakki AH: Variation in the size of jeopardized myocardium in patients with isolated left anterior descending coronary artery disease. *Circulation* 67: 988-994, 1983
  - 24) Kaul S, Chesler DA, Pohost GM, Strauss HW, Okada RD, Boucher CA: Influence of peak exercise heart rate on normal thallium-201 myocardial clearance. *J Nucl Med* 27: 26-30, 1986
  - 25) Kaul S, Newell JM, Chesler DA, Pohost GM, Okada RD, Boucher CA: Quantitative thallium imaging findings in patients with normal coronary angiographic findings and in clinically normal subjects. *Am J Cardiol* 57: 509-512, 1986
  - 26) Berger BC, Watson DD, Taylor DJ, Burwell LR, Martin RP, Beller GA: Assessment of the effect of coronary collaterals on regional myocardial perfusion using thallium-201 scintigraphy. *Am J Cardiol* 46: 365-370, 1980
  - 27) Tamaki N, Kodama S, Yonekura Y, Senda M, Fujita T, Mukai T, Tamaki S, Suzuki Y, Nohara R, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Quantitative analysis of thallium myocardial emission CT (2): Evaluation of ischemic size. *Jpn J Nucl Med* 21: 823-830, 1984 (in Japanese)
  - 28) Gutman J, Berman DS, Freeman M, Rosanski 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
  - 29) Caldwell JH, Williams DL, Harp DG, Stratton

- JR, Ritchie JL: Quantitation of size of relative myocardial perfusion defect by single photon emission computed tomography. *Circulation* **70**: 1048-1056, 1984
- 30) Kennedy PL, Corbett JR, Kulkarni PV, Wolfe CL, Jansen DE, Hansen CL, Buja LM, Parkey RW, Willerson JT: Iodine 123-phenylpentadecanoic acid myocardial scintigraphy: Usefulness in the identification of myocardial ischemia. *Circulation* **74**: 1007-1015, 1986
- 31) Knapp FF Jr, Ambrose KR, Goodman MM: New radioiodinated methyl-branched fatty acids for cardiac studies. *Eur J Nucl Med* **12** (Suppl): 39-44, 1986