

## 《原 著》

Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) による  
Tl-201 心筋シンチグラフィの定量診断

——心筋 SPECT, Planar 像の視覚的診断との対比を含めて——

植 原 敏 勇\*

**要旨** SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) を用いた  $^{201}\text{TlCl}$  による心筋シンチグラフィの定量解析について、視覚的診断と対比しながら臨床的検討を行った。定量解析法に関しては基礎的検討ですでに述べたとおりであるが、今回さらに側壁梗塞の再標準化プログラムを追加した。この再標準化は特に左回旋枝領域の病変の検出に有用であった。心筋梗塞の診断精度は、心筋 SPECT 定量診断・SPECT 視覚的診断・Planar 視覚的診断の順に優れていた。梗塞部位別の検討では、前壁梗塞は SPECT 視覚的診断も定量的診断に匹敵する良好な sensitivity を示したが、下後壁梗塞は定量的診断の方が優れた sensitivity を示した。一方正常正診率 (specificity) に関しては、定量的診断は視覚的診断よりやや低かった。また定量解析を用いた梗塞マップは、梗塞の部位・範囲・拡がり・程度を立体的に把握できるため、梗塞の責任冠動脈病変の推定がより正確かつ容易となった。

## I. 緒 言

$^{201}\text{TlCl}$  を使用した心筋シンチグラフィは、心筋への血流とその viability を直接視覚的に診断でき、心筋虚血・梗塞・線維化などの判定に有用である。通常的心筋 Planar 像は、1)  $^{201}\text{TlCl}$  が心筋のみに特異的に取り込まれるわけではなく、肝臓・胃壁にも集積するためこれらとの重なりが避けられない。2) 胸郭内で斜め横位をとる心臓の形態のため、心筋自体の前後の重なりが避けられない。3) 心筋の正面像・第2斜位像・左側面像の撮像では前側壁と後壁中隔の全体および前壁中隔と後側壁の心基部が観察できず、必ずしも心筋の全領域を撮像できない。以上の欠点を有している。このうち3)に関しては、すでに報告したようにス

ラントコリメータの使用により解決できる<sup>1,2)</sup>。一方、1), 2), 3) の根本的な諸問題の解決には心筋断層像が最適である。7 ピンホールコリメータを用いた心筋断層像の評価は、諸家の成績で示されるように奥行き方向の分解能が悪く心基部の診断に問題が残る<sup>3)</sup>。回転型ガンマカメラを用いた Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) による心筋断層像は、すでに基礎的検討で述べたように分解能などの精度は非常に優れている<sup>4)</sup>。ただし、剖検例の検討から示されたように、①心筋の下後壁は前壁よりやや薄いこと、②心尖部は特に薄いこと、③心室中隔の奥行きの長さは左室自由壁より短い上に、心基部には心筋成分に乏しい心室中隔膜様部が存在する。①～③のため左室心筋自体が均一とは言えない。さらに胸郭の構成が複雑なため単純な吸収補正をしても心筋各部は完全に均一にならず、このため定量診断の有用性が示唆された。本稿では心筋梗塞の臨床診断を通じて、心筋 SPECT 断層像の定量評価の方法およびその有用性に関して、心筋 SPECT, Planar 視覚的診断<sup>5)</sup>と比較して検討した。

\* 国立循環器病センター放射線診療部

受付：60年3月15日

最終稿受付：61年10月13日

別刷請求先：吹田市藤白台 5-7-1 (☎ 565)

国立循環器病センター放射線診療部

RI 検査室

植 原 敏 勇

## II. 方 法

### 1) データ収集と処理

3~4 mCi の  $^{201}\text{TlCl}$  安静時静注後約10分より 5 方向 (正面, 第 2 斜位  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , 左側面) の心筋 Planar 像を撮像し, ひき続き心筋 SPECT 像を撮像した. SPECT は島津社製対向型回転式ガンマカメラ (LFOV-E 型) およびオンラインで接続したミニコンピュータ (Scintipac 2400) を用い, 1 方向 30 秒で  $10^\circ$  ごと回転させ  $180^\circ$  回転で合計 36 方向からデータ収集を行った. データ処理は, まず各画像の 9 点スムージングを行い, Shepp and Rogan のフィルター処理をした後, 心筋の体軸横断断層像を作成し, さらに心筋の長軸面垂直断層像, 短軸面断層像を再構成した<sup>6,7)</sup>.

### 2) 心筋 SPECT 像の定量的診断法

正常臨床例10例の心筋 SPECT 像を撮像し, 心筋長軸面垂直断層像の segmental analysis と心筋短軸面断層像の circumferential profile analysis (CPA)<sup>8)</sup> を行いその平均と標準偏差より正常範囲

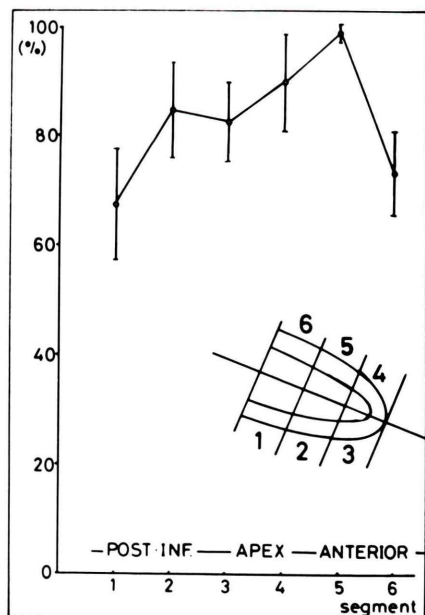


Fig. 1 Segmental analysis of myocardial long-axial tomography.

を決定した. 前者の segmental analysis は Fig. 1 に示す 6 等分に従った. 後者の CPA は心尖部と心基部でパターンが異なるため, 心尖部より心基部に向かって 1/4, 2/4, 3/4 の 3 断面で行い, 各面ごとに 36 等分割を行った (Fig. 2). それぞれ各区分ごとに正常例10例のカウント率の平均と標準偏差を算出し, 平均値  $\pm 2$  SD (standard deviation: 標準偏差) を定量解析における正常範囲とした (Figs. 1, 2).

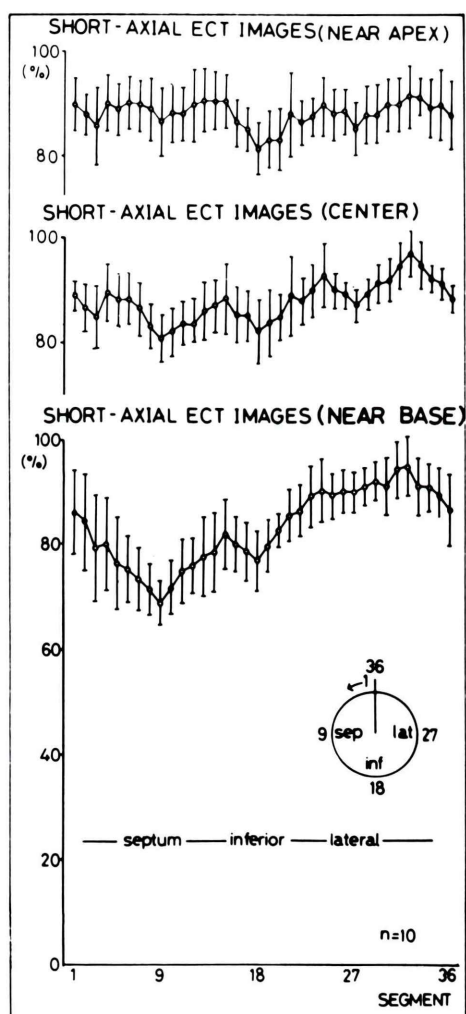


Fig. 2 Circumferential profile analysis of myocardial short-axial tomography.

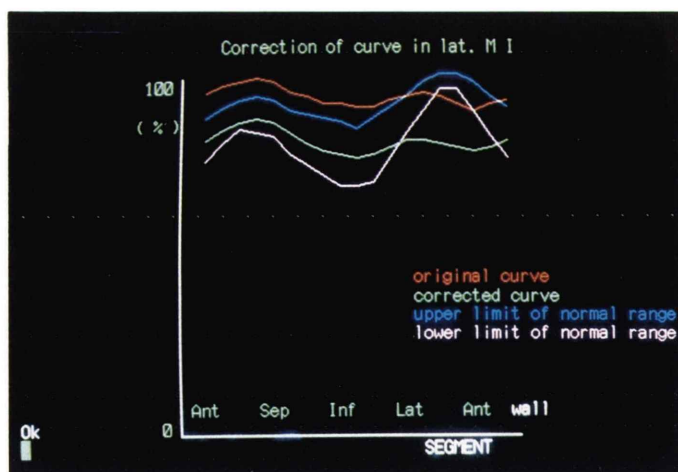


Fig. 3 Schema of re-standardization of profile curve in case of lateral myocardial infarction.

### 3) 心筋 SPECT 像の視覚的診断と心筋 Planar 像の視覚的診断の精度比較

視覚的診断のごとく検者の主観による診断の精度評価には、検者の目を一種の検出器と見なし半定量的に 5 段階評価を用いて診断する ROC (Receiver Operating Characteristic) 解析が最適であり、これを採用した<sup>9-12)</sup>。検者は放射線科医師 4 名と放射線技師 3 名で、臨床データは全く知らされず心筋 SPECT 像と Planar 像を別々に読影し診断を行った。また ROC カーブの精度を示す値

Table 1 d'e value of ROC analysis

	d'e		
	Planar	SPECT	SPECT/Planar
I	2.46	2.54	1.03
II	2.10	2.39	1.14
III	2.02	2.24	1.11
IV	1.75	2.79	1.59
V	2.08	2.23	1.07
VI	1.84	2.08	1.13
VII	0.98	1.48	1.51
VIII	—	2.92	—

Table 2 Total of ROC score in Inf, Ant, Inf+Ant MI and Normal cases

	Inf MI (n=19)			Ant MI (n=16)			Ant+Inf MI (n=5)			Normal (n=41)		
	Planar	SPECT	SPECT/Planar	Planar	SPECT	SPECT/Planar	Planar	SPECT	SPECT/Planar	Planar	SPECT	SPECT/Planar
I	34 (1.8)	29 (1.5)	0.85	27 (1.7)	24 (1.5)	0.89	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	182 (4.4)	183 (4.5)	1.01
II	43 (2.3)	31 (1.6)	0.72	32 (2.0)	25 (1.6)	0.78	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	169 (4.1)	172 (4.2)	1.02
III	35 (1.8)	31 (1.6)	0.89	30 (1.9)	22 (1.4)	0.73	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	154 (3.8)	143 (3.5)	0.93
IV	46 (2.4)	42 (2.2)	0.91	33 (2.1)	25 (1.6)	0.76	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	167 (4.1)	194 (4.7)	1.16
V	35 (1.8)	44 (2.3)	1.26	31 (1.9)	25 (1.6)	0.81	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	149 (3.6)	180 (4.4)	1.21
VI	33 (1.7)	42 (2.2)	1.27	25 (1.6)	24 (1.5)	0.96	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	167 (4.1)	186 (4.5)	1.11
VII	51 (2.7)	52 (2.7)	1.02	41 (2.6)	25 (1.6)	0.61	7 (1.4)	8 (1.6)	1.14	131 (3.2)	158 (3.9)	1.21
VIII	—	27 (1.4)	—	—	22 (1.4)	—	—	5 (1.0)	—	—	170 (4.1)	—
Average												
I-IV	40 (2.1)	33 (1.8)	0.84	31 (1.9)	24 (1.5)	0.79	5 (1.0)	5 (1.0)	1.00	168 (4.1)	173 (4.2)	1.03
I-VII	40 (2.1)	39 (2.0)	0.98	31 (2.0)	24 (1.5)	0.78	5.3 (1.1)	5.4 (1.1)	1.02	160 (3.9)	174 (4.2)	1.09

( )=mean

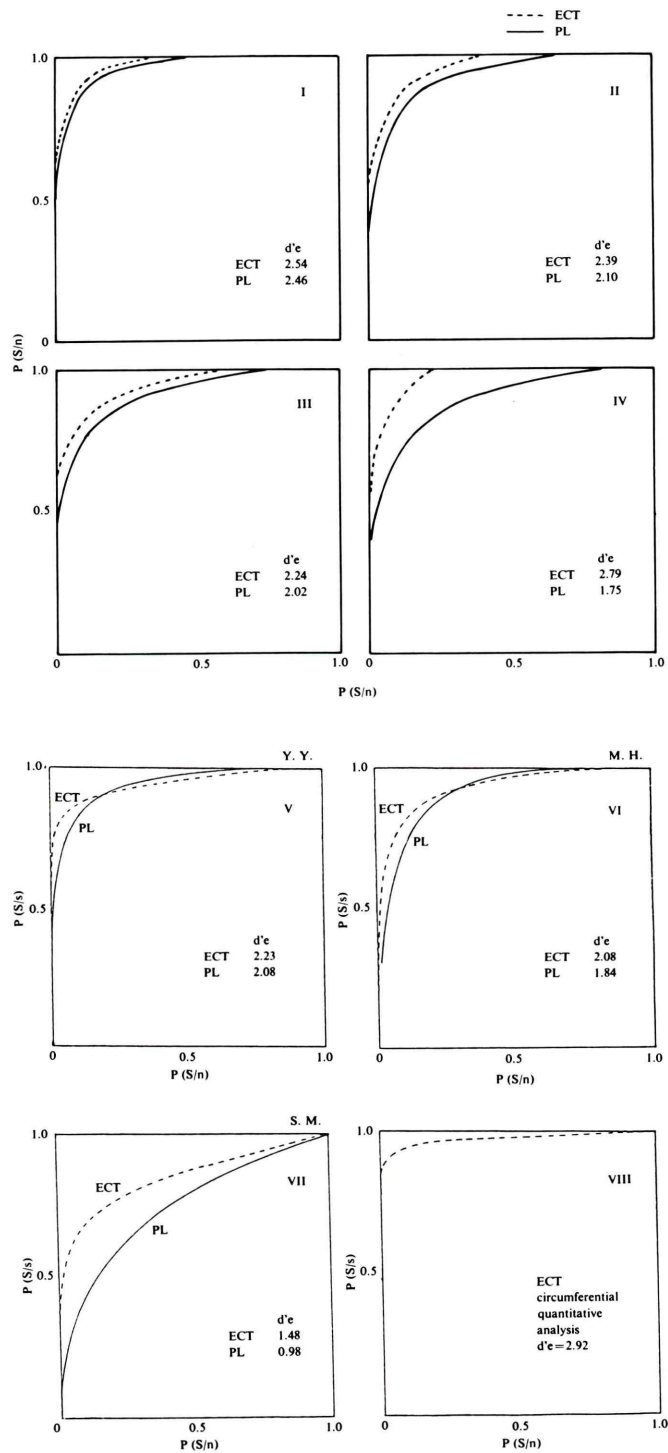


Fig. 4 Comparison of detectability of myocardial infarction between SPECT and planar image by ROC analysis.



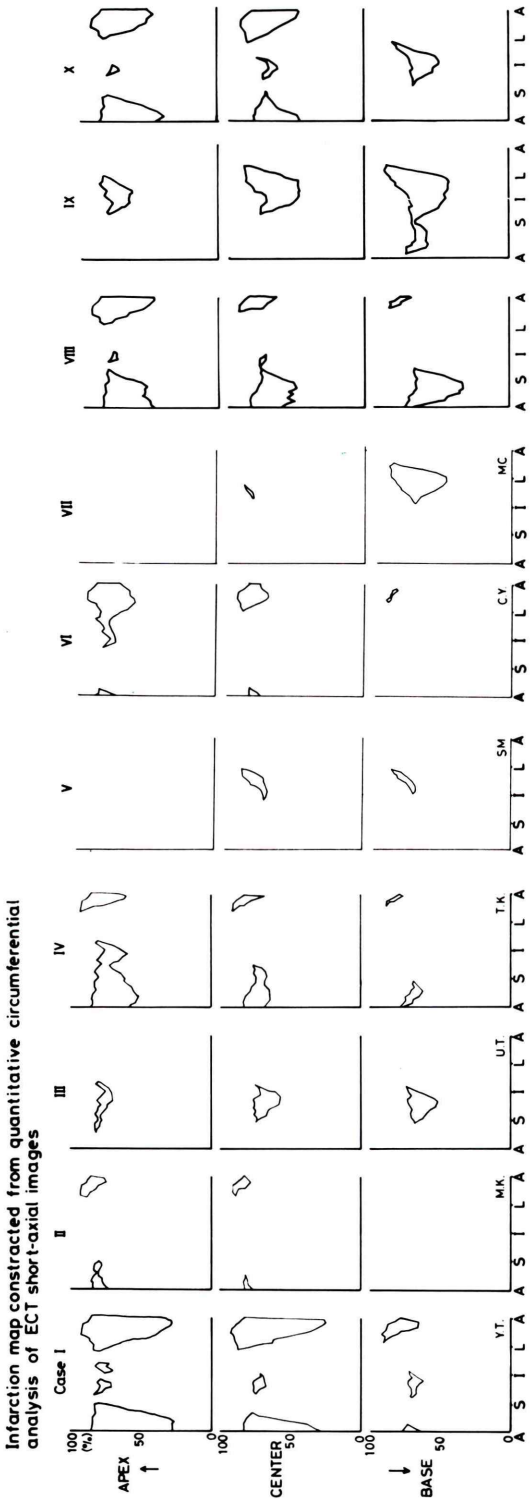


Fig. 5-11 Infarction maps of typical MI cases.

I. Anterior + Inferior MI (LAD + RCA lesion), II. Anterior MI (LAD lesion), III. Inferior MI (RCA lesion), IV. Anterior MI (LAD lesion), V. Postero-lateral MI (LCX lesion), VI. Antero-lateral MI (DX lesion), VII. Postero-lateral MI (LCX lesion), VIII. Anterior MI (LAD lesion), IX. Infero-Posterior MI (RCA + LCX lesion), X. Anterior + Infero-Posterior MI (LAD + RCA lesion).

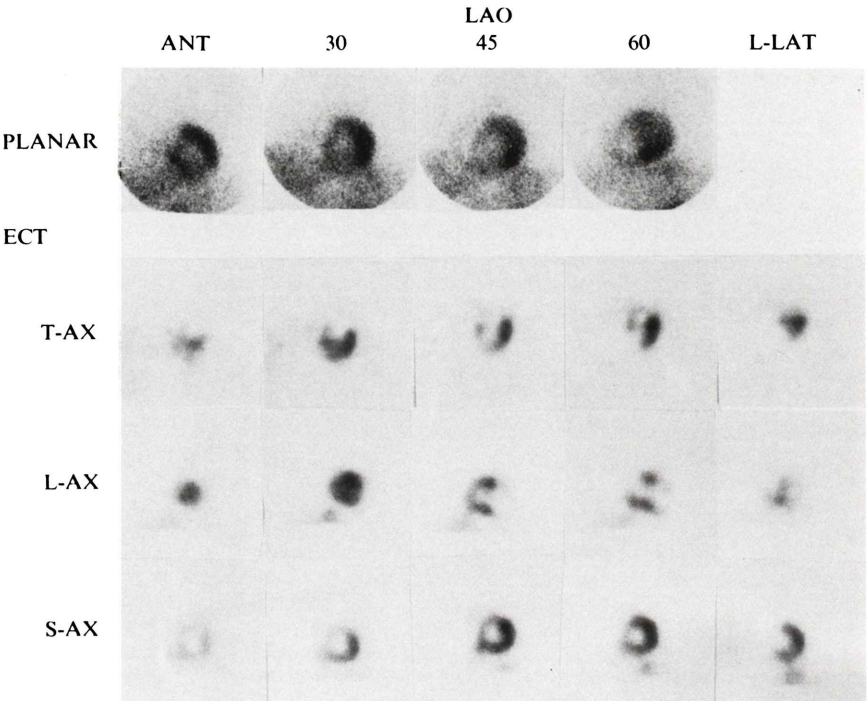


Fig. 5-(2) case 8

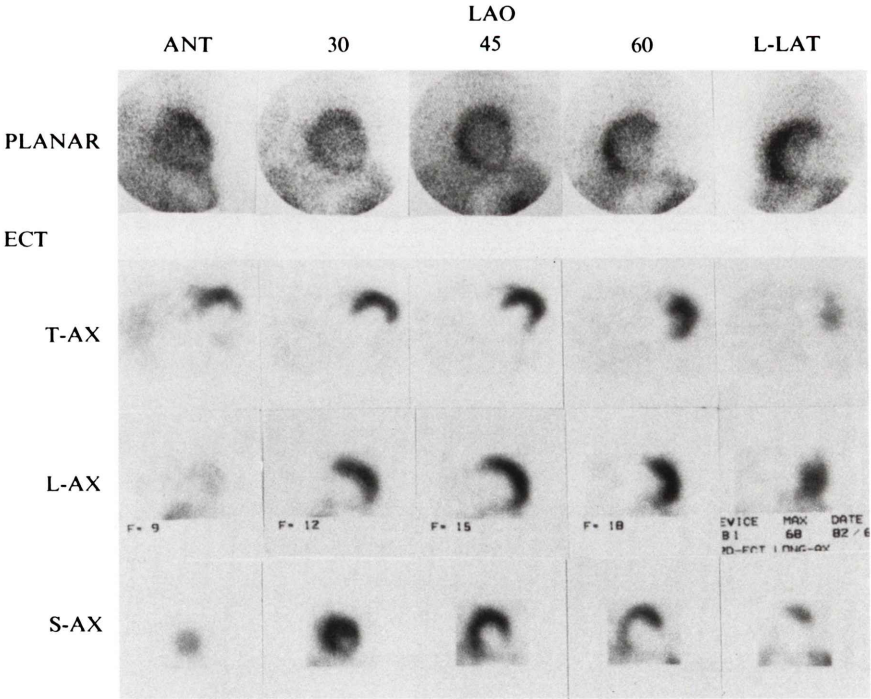


Fig. 5-(2) case 9

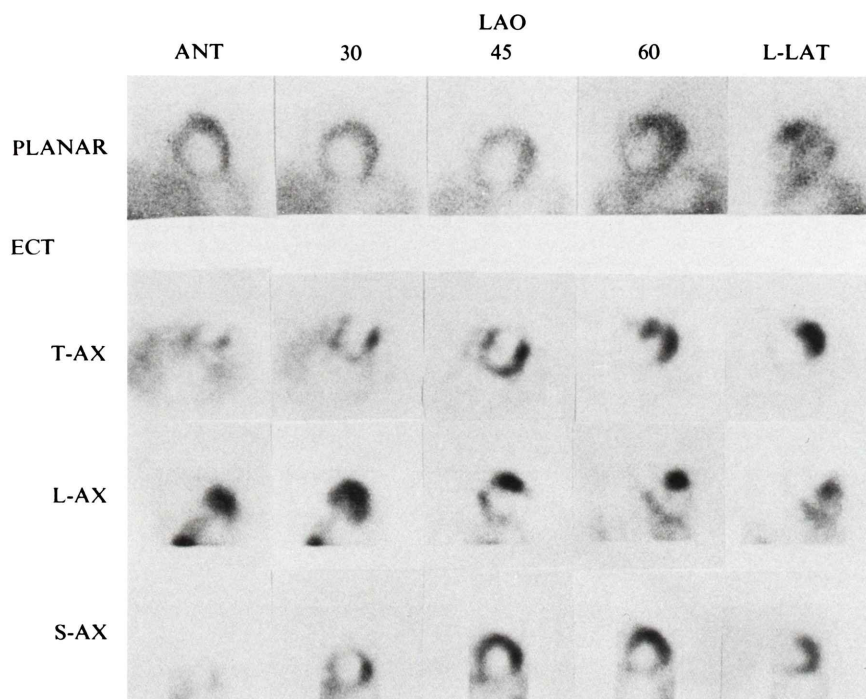


Fig. 5-(2) case 10

として両正規分布表を用いて、ROC accuracy index (d'e 値) の算出を試みた。さらに ROC score を用いて梗塞部位別の検出能を比較した。

#### 4) 心筋 SPECT 像の視覚的診断と定量的診断の精度比較

視覚的診断と定量的診断を比較するために定量的診断にも ROC 解析を応用した。すなわち、前述した心筋断層像の定量解析における正常範囲を利用し、2 SD を中心に前後を 5 段階に区分し、

1 SD 以内 : criteria 5 (almost definitely normal)

1~1.7 SD : criteria 4 (probably normal)

1.7~2.3 SD: criteria 3 (possibly abnormal)

2.3~3 SD : criteria 2 (probably abnormal)

3 SD 以上 : criteria 1 (almost definitely abnormal)

として ROC 解析を行った。

#### 5) 梗塞マップの作成

正常例 10 例より求めた正常範囲 (平均  $-2$  SD)

を実際の症例の profile curve と同時に表示し、異常域の広がりと程度を表示した梗塞マップを作成した。また正常域下の梗塞部の面積を全正常域下面積 (正常下限の曲線以下の全面積) で除したものを梗塞スコア (%) として算出した。

#### 6) 側壁梗塞の定量診断に対する再標準化プログラムの開発

側壁梗塞の定量診断の際、Fig. 3 のシェーマに示すごとく梗塞部位を過少評価する可能性がある。すなわち Fig. 3 の青色線と桃色線をそれぞれ正常範囲の上限と下限とすると、実際の profile curve と同様に正常範囲は側壁で最も高い値をとるため、側壁に灌流異常がない限りこの部分のカウントが最も高くなり (100% の値をとる)、全体のカーブの規準点となる。しかし、側壁に灌流異常が存在するとこの規準点が下がるため profile curve 全体が相対的に上昇し、側壁以外の正常部は正常上限よりも高くなり側壁の灌流異常は過少評価される。Fig. 3 の赤色線で示す profile curve

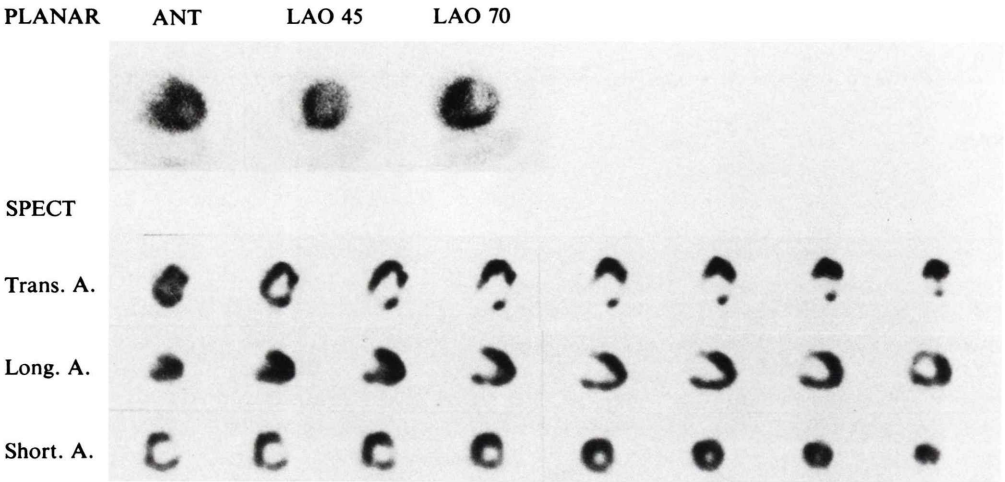


Fig. 6-(1) Postero-lateral MI

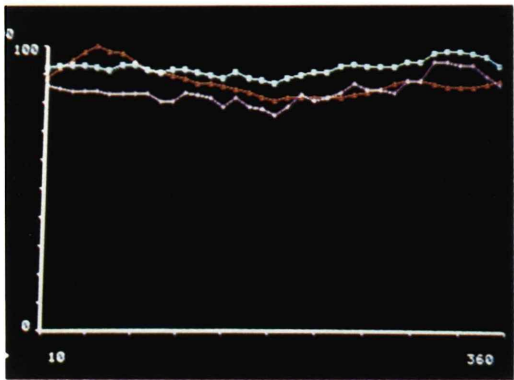


Fig. 6-(2) Apex

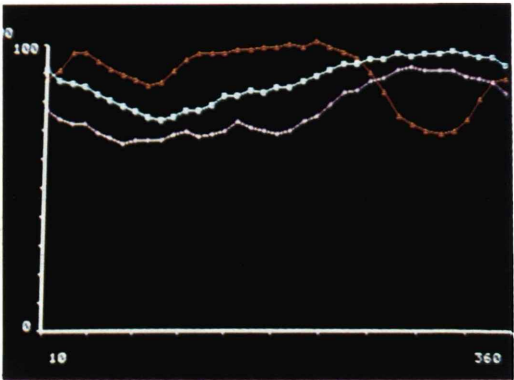


Fig. 6-(2) Base

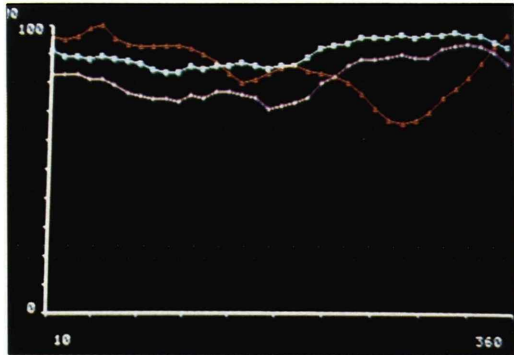


Fig. 6-(2) Center

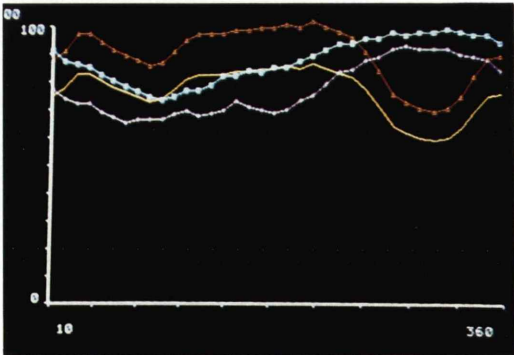


Fig. 6-(3) Base

Fig. 6 Case 1, Postero-lateral MI.  
(1) Myocardial imaging by SPECT.  
(2) Circumferential profile curve of apical, central, basal portions.  
(3) Restandardization of circumferential profile curve of basal portions.



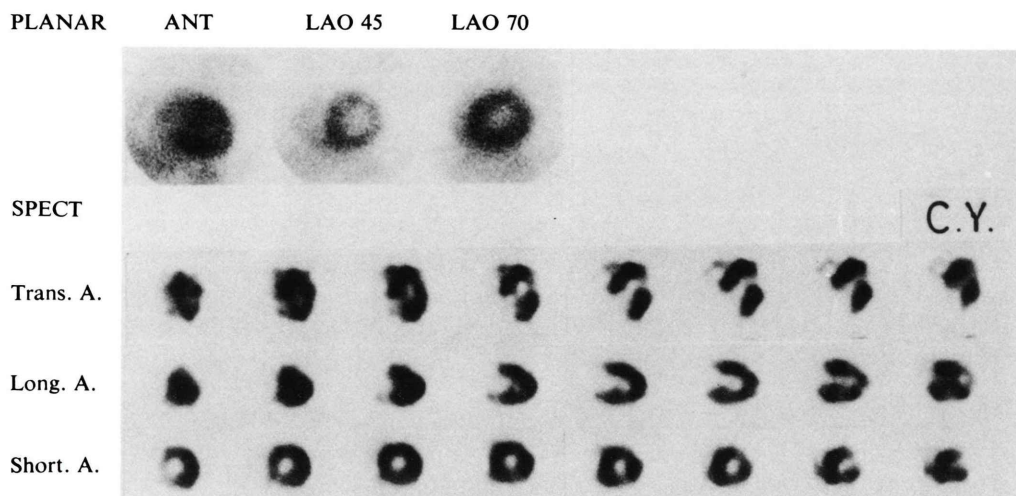


Fig. 7-(1) Antero-lateral MI

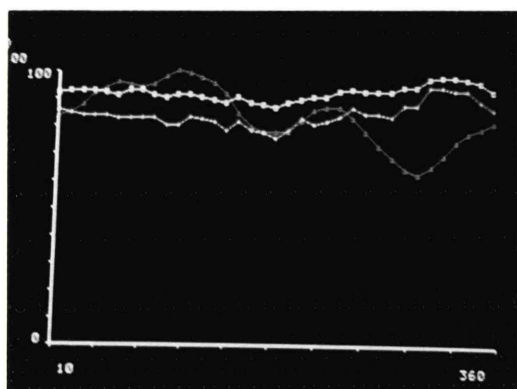


Fig. 7-(2) Apex

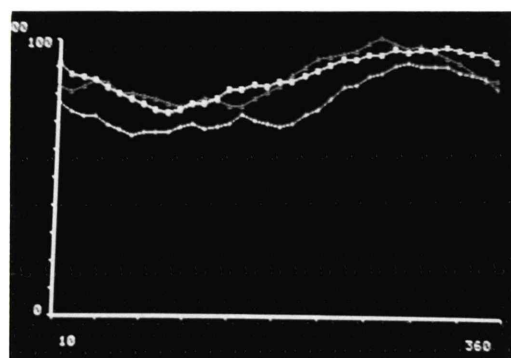


Fig. 7-(2) Base

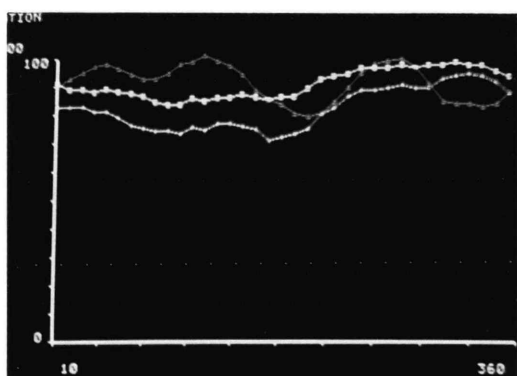


Fig. 7-(2) Center

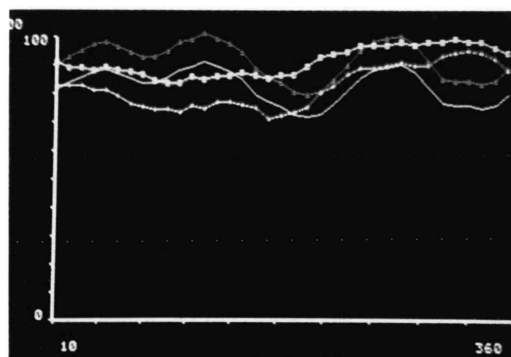


Fig. 7-(3) Center

Fig. 7 Case 2, Antero-lateral MI.

- (1) Myocardial imaging by SPECT.
- (2) Circumferential profile curve of apical, central, basal portions.
- (3) Restandardization of circumferential profile curve of central portion.

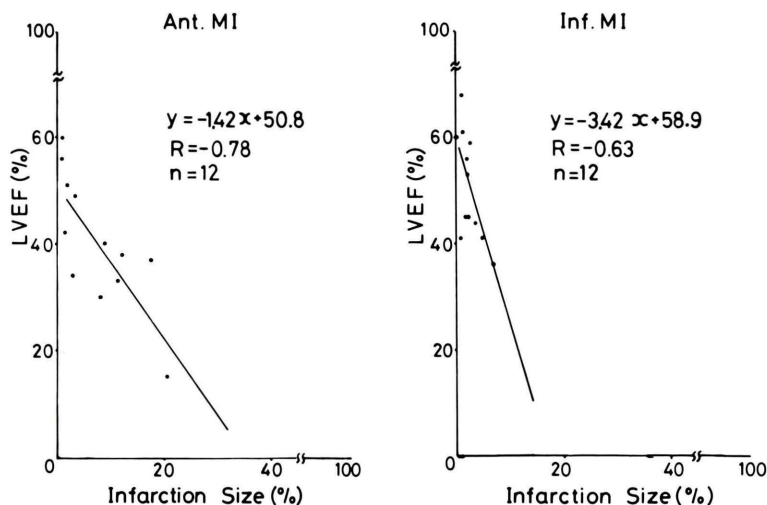


Fig. 8 Correlation between LVEF and Infarction Size.

の症例は、前壁中隔を中心に各部のカウントが正常上限(青色線)を超えている。これは、profile curveが相対的な表示であることと、正常域が各部で一定でないことによりおこる現象で、側壁部の灌流異常が過少評価されている。本来正常部といえども正常域を超えることはあり得ず、これを是正するため、前壁中隔部を正常域に重なるように赤色線の profile curve を再構成すれば、緑色線で示すような profile curve となり側壁部の灌流異常が正しく評価できる。

#### 7) 梗塞 score と心機能の比較検討

梗塞 score が梗塞の範囲と程度を反映するものと仮定して、前壁梗塞、下後壁梗塞についてそれぞれ左室駆出分画 (LVEF) と梗塞 score を比較検討した。LVEF は  $^{99m}\text{Tc}$  赤血球標識による心プールシンチグラフィマルチゲート法より算出した。

### III. 対 象

ROC 解析を施行した対象は、正常例 41 例、心筋梗塞 40 例 (前壁梗塞 16 例、下後壁梗塞 19 例、前壁+下後壁梗塞 5 例) である。全例に心電図・心エコー図検査が施行されており、診断の困難なものを含めた 38 例には左室造影、冠動脈造影が施行され、全例診断が確立している。梗塞例はすべて

貫通性梗塞で、弁膜・先天性心疾患などの合併したものは含まれていない。

### IV. 結 果

#### 1) 心筋 Planar 像と SPECT 像の視覚的診断における精度比較

Figure 4 と Table 1 に心筋 Planar 像と SPECT 像による視覚的診断の ROC 解析の結果を示す。検者 I, II, III は放射線科医師で、I は心筋 Planar 像、SPECT 像ともに精通した医師、II, III は心筋 Planar 像は日常読影しているが SPECT 像は読影していない医師、IV は放射線科研修医である。V, VI は放射線技師で心筋 SPECT, Planar 像ともに日常検査および基礎的実験で精通している。VII は放射線技師だが RI in vivo 部門は未経験である。

全検者とも心筋 SPECT 像の診断精度は心筋 Planar 像の診断精度より優れていた。心筋 Planar 像の診断精度は日常読影の経験の多少におおむね一致した。心筋 SPECT 像の診断精度は IV を除き心筋 Planar 像の診断精度に比例した。

次に梗塞部位別に ROC score を比較したのが Table 2 である。たとえば検者 I について下後壁梗塞 19 例の ROC score を心筋 Planar, SPECT 診断

でそれぞれ加算すると34と29になり、1例平均では1.8と1.5になる。この時のSPECT/Planar比は0.85である。以下同様にしてROC scoreとSPECT/Planar比を算出したのがTable 2である。梗塞部位に関してはROC scoreが低いほど梗塞の検出率が高く、SPECT/Planar比が低いほどSPECTによる梗塞の検出率がPlanarに比し優れていることを示す。逆に正常部位に関してはROC scoreが高いほど正常の正診率が高く、SPECT/Planar比が高いほどSPECTによる正常正診率がPlanarより優れていることを示す。

前壁梗塞ではSPECT/Planar比は全検者で1.0以下で、SPECT診断はPlanar診断より梗塞診断のsensitivityが優れている。しかもSPECT診断は経験に関係なく全員ほぼ同じ優れたROC scoreを示した。一方下後壁梗塞では、検者I～IVの医師グループではSPECT診断の方がPlanar診断より梗塞診断のsensitivityは優れていたが、V～VIIの技師グループではSPECT診断のROC scoreが高いためPlanar診断の方が梗塞診断のsensitivityが優れていた。また全体に前壁梗塞に比しROC scoreが高くsensitivityが劣る傾向があった。

一方、specificityに関しては、検者IIIを除きSPECT診断の方が正常正診率が高かった。

## 2) 心筋 SPECT 像の視覚的診断と定量的診断の比較

心筋 SPECT 定量診断を ROC 解析した結果は Fig. 4 の VIII と Table 1 の VIII に示すように  $d'e=2.92$  で、いずれの検者の視覚的診断よりも優れていた。一方各梗塞別に見ると (Table 2), 前壁梗塞では各検者の ROC score と有意差はないが、下後壁梗塞では各検者の視覚的診断より ROC score が低く優れた sensitivity を示した。しかし正常正診率は各検者の視覚的診断の平均値くらいで、specificity は視覚的診断とほぼ同等であった。

## 3) 梗塞マップ

典型的な症例の梗塞のパターンを Fig. 5-(1) に示す。Case I は左前下行枝 (LAD) と右冠動脈

(RCA) の両方に責任冠動脈を有する前壁+下後壁梗塞であるが、心尖部では大きな前壁の灌流欠損と下壁の小さな灌流欠損がある。心基部側に向かうにつれ前壁の灌流欠損は小さくなり、下後壁の灌流欠損はほぼ同じ大きさで存続する。Case II は左前下行枝 (LAD) に責任冠動脈を有する比較的小さな前壁梗塞で、心尖部寄りに小さな灌流欠損を有する。Case III は右冠動脈 (RCA) に責任冠動脈を有する下後壁梗塞で心基部後壁中隔に最大の灌流欠損があり、心尖部に向かって欠損は小さくなる。Case IV は LAD に責任冠動脈病変を有する比較的広汎な前壁梗塞だが、心尖部では前壁のみならず下壁にも及ぶ灌流欠損を認めるが、中央部～心基部では下後壁に灌流欠損はなく前壁の灌流欠損も小さくなる傾向にある。Case V と VII は左回旋枝 (LCX) に責任冠動脈病変を有する後側壁梗塞であるが、灌流欠損は後側壁心基部を中心に拡がっている。Case VI は対角枝 (DX) のみに冠動脈病変を有する前側壁梗塞であるが、心尖部～中央部に灌流欠損が拡がっている。Case VIII は LAD の 1 枝障害例だが、前壁中隔を中心に灌流欠損は心尖部前側にも拡がっている。Case IX は RCA と LCX が両方100%閉塞を示し責任冠動脈と考えられる症例であるが、心基部後側壁を中心に心尖部下壁と後壁中隔に灌流欠損が拡がっている。Case X は LAD と RCA に責任冠動脈病変を有する症例であるが、心尖部前壁と心尖部下後壁に別個の灌流欠損を有するのが明瞭に認められる。

Case VIII, IX, X の心筋 Planar, SPECT 像を Fig. 5-(2) に示す。いずれも心筋 SPECT 像のみならず Planar 像でも灌流欠損は明らかだが、灌流欠損の拡がりや程度、責任冠動脈の推定には梗塞マップがより明瞭である。

## 4) 側壁梗塞の定量診断：再標準化プログラムの開発

側壁梗塞2例に再標準化プログラムを応用し、その有用性を検討した。症例1 (Fig. 6) は左回旋枝に90%狭窄を有する後側壁梗塞であり、心筋 SPECT 像にて視覚的にも明瞭に灌流欠損が存在



する (Fig. 6-(1)). この短軸断層像 3 断面における定量解析 (circumferential profile analysis) を Fig. 6-(2) に示す. 桃色線が正常下限, 青色線が正常の平均値, 赤色線が症例の profile curve である. 青色線は 3 断面とも前側壁部 ( $300\sim 340^\circ$ ) 付近でほぼ 100% を示し, この部が全体の基準点となっていることを示す. 当症例は中央部と心基部の断面の側壁部で赤色線が桃色線より下に位置し, この部に灌流欠損が存在する. すなわち赤色線が桃色線より下に描出される範囲で, これらの両曲線で囲まれる部分が心筋梗塞の広がりや程度を示すことになる. 赤色線 (症例) の規準点 (100% をとる点) は, 3 断面とも側壁部ではなく中隔～下壁にあるため, 中隔～下壁の赤色線は青色線の上に位置し特に心基部ではこれが著明である. 本来, 赤色線は青色線とほぼ同じ位置にくるべきで, 青色線より下に下がり桃色線 (正常下限) を超えて下に出ると灌流欠損となるのだが, 逆に赤色線が青色線の上に大きく出るのは, ①断面の選択を心尖部寄りに取りすぎた時, ②側壁梗塞で基準点となるべき部分が低下したため, 相対的に正常部が上昇した場合, のいずれかである. この症例では②に相当すると考えられ, 実際は赤色線と青色線が重なるように再標準化するのが望ましい. そこで心基部の断面にて, 中隔～下壁にて赤色線が青色線に一致するように再標準化した (補正係数 0.82). その結果は, Fig. 6-(3) に示す黄色線の profile curve となり, 後側壁の灌流欠損が正確に表示された.

症例 2 は対角枝に 90% 狭窄を有する前側壁梗塞であり, 心筋 SPECT 像では明瞭に灌流欠損が存在する (Fig. 7-(1)). この短軸断層像の 3 断面における定量解析 (CPA) を Fig. 7-(2) に示す. 心尖から中央部にかけて赤色線が桃色線より下に位置し, この部の灌流低下が示される. しかし赤色線の基準点は側壁にないため, 中隔部で赤色線は青色線より上方に位置し, 特に中央部でこの傾向が明瞭である. そこで中央部の断面で赤色線と青色線が中隔部でおおむね一致するように標準化した (補正係数 0.90). これにより Fig. 7-(3) の黄色線の

ような profile curve となり, 前側壁の灌流欠損がより正確に表示された.

#### 5) 梗塞スコアと心機能の比較検討

梗塞スコアと残余心機能の比較検討を行うため, 梗塞スコアと左室駆出分画 (LVEF) との相関を求めた (Fig. 8). 前壁梗塞では  $r=0.78$ , 下後壁梗塞では  $r=0.63$  の有意な相関が得られた.

### V. 考 察

#### 1) 心筋 Planar 像と SPECT 像の視覚的診断における精度比較

心筋 Planar 像と SPECT 像の視覚的診断の比較においては, 全検者とも後者の診断精度が優れていた<sup>13-16)</sup>. この中には日常 SPECT 像を見慣れていないものも含まれていることを考慮すると, 灌流欠損の SPECT 診断は Planar 診断の応用として読影が可能で, しかも心筋 SPECT 像は Defect/Normal (D/N) 比が低く<sup>17)</sup>, 欠損が見やすいため診断精度が良好であったと考えられた.

梗塞部位別の解析では<sup>18,19)</sup>, 前壁梗塞の心筋 Planar 診断, SPECT 診断の平均 ROC score は, それぞれ 2.0, 1.5, SPECT/Planar 比は 0.8 であり, SPECT 診断は明らかに優れた sensitivity を示した. しかも経験の差に関係なく平均 ROC score は 1.4~1.6 の間でバラつきが少なく, 誰にでも容易に診断できると考えられた.

一方, 下後壁梗塞に関しては, 心筋 Planar 診断の全検者の平均 ROC score は 2.1 (I~IV の医師グループでは 2.1), SPECT 診断では 2.0 (医師グループ 1.8), SPECT/Planar 比は平均 0.98 (医師グループ 0.84) であった. 医師グループでは SPECT 診断は Planar 診断より良好な sensitivity を示したが, 技師グループでは逆の結果であった. これは特に検者 V, VI は SPECT の精度評価の実験に直接たずさわっており, ベッドの吸収の影響などで下後壁のカウントが正常でもやや低いことに精通しているため, これを過大評価しすぎ, 下後壁の SPECT 診断の診断基準を緩くしたためであり, したがって下後壁の specificity は良好であった.



また全体に前壁梗塞は下後壁梗塞より梗塞スコアが大きく梗塞巣が大きいことが示唆され(後述), これも前壁梗塞の検出率のよい原因と考えられた。一方正常例に関しては, 全検者の ROC score の平均は Planar 診断で 3.9, SPECT 診断で 4.2 で後者の specificity の方が優れていた。特に検者 IV~VII でこの傾向が強く, 一方検者 I~III ではほとんど差がなかった。検者 V, VI は SPECT 診断の診断基準が緩い傾向にあり, sensitivity は低めだが specificity は良好であった。

## 2) 心筋 SPECT 像の視覚的診断と定量的診断の比較

心筋 SPECT 像の定量的診断の精度は, 全体として見ても各梗塞部位別に見ても視覚的診断より多少とも優れていた。特に視覚的診断の成績の悪い下後壁梗塞には有効と考えられた。ただ検者 I のごとく心筋 SPECT 像に精通した医師なら定量的診断とほぼ同程度の診断精度を得られた<sup>19)</sup>。

定量的診断は客観的な評価が可能で優れた成績ではあったが, specificity がやや低い傾向にあった。この原因として, (1) 著者らの設定した定量解析の decision criteria の基準が厳しい, (2) 定量解析の誤差<sup>20)</sup>, (3) <sup>201</sup>TlCl のエネルギーが低く SPECT 像を作成するに十分なカウントでないため artifact などが問題になる, などが考えられる。(1) に関しては, 一般的に平均値  $\pm 2$  SD (標準偏差) を正常域とするのが妥当と考えられ, この  $-2$  SD 値を中心として前後を 5 段階に区分する decision criteria は合理的と考えられる。(2) に関しては, 定量解析時の ROI の設定・中心点の決定・36分割時の際のカウントの統計的誤差などが関与している可能性がある。著者らは, ①定量解析を行うスライスの決定は全断層像を並べた上で慎重に決定する。②灌流欠損がある場合自動輪郭決定は困難なため, 熟練者が manual で ROI, 中心点を決定する。③連続 3 点が decision criteria を超えた部分を有意とする。以上のようにして誤差を極力防いでいる。(3) に関しては現在では薬物・装置の改良がないと解決は困難である。

このような点はあるが, 定量的診断は正常範囲

との比較が容易にできるため, 客観的かつ精度のよい診断が得られる。

## 3) 梗塞マップ

心筋 SPECT 像の定量的診断から得られる梗塞マップは, 梗塞に対する責任冠動脈の推定, 梗塞の程度の推定に非常に有用である<sup>21,22)</sup>。冠動脈左前下行枝を責任冠動脈とする前壁梗塞は, 心尖部では前壁中隔・前側壁の他 1 部下壁にも灌流欠損が波及するが, 心基部では全体に灌流欠損の範囲は小さくなり特に下壁には灌流欠損は認められない。これは左前下行枝の走行と枝(中隔枝・対角枝)の分布から考えても理屈にあう(Fig. 5-(1); Case II, IV, VIII 参照)。また Fig. 5-(1); Case VI に示す対角枝障害の梗塞より, 左前下行枝の前側壁側は対角枝領域であることが示された。一方, 右冠動脈病変は Case III (Fig. 5-(1)) に示すごとく, 心基部後壁中隔・下後壁を中心に灌流欠損が存在し, 心尖側への拡がりは漸減的である。これは右冠動脈の支配領域に一致し, 左回旋枝・左前下行枝との優位関係でそれぞれ下壁心尖部・後側への病変の拡がりが決まる。左回旋枝の病変は Fig. 5-(1); Case V, VII のごとく心基部～中央部の後側壁を中心とした領域であることが示される。以上の各冠動脈の灌流分布の特徴を把握した上で梗塞マップを観察すれば, 冠動脈病変の推定がより容易である。例えば Fig. 5-(1); Case I, X を IV, VIII と比較すると, I, X では左前下行枝領域の前壁後側に加えて右冠動脈領域の下後壁梗塞が合併しているのが明瞭に把握できる。

心筋 Planar 診断の際, 冠動脈支配領域に個人差があるため, 中隔下部・心尖部下壁・後側壁・心尖部側壁など冠動脈支配の境界領域部の病変は, どちらが責任冠動脈か迷ったり 1 枝病変か多枝病変かの診断が困難な場合がある。このような場合, 心筋 SPECT 像は心筋の全部分を網羅して観察できるため上述した各冠動脈の支配領域の特徴を捉えれば, 極端な冠動脈支配の変異を示す症例を除けば, かなり正確に責任冠動脈の推定が可能である。この際, 視覚的診断では診断者は多くの断層像から心筋の灌流異常部を立体的に頭の中で組み

立てて冠動脈支配領域を推定しなければならず、慣れないと煩雑で困難であるが、梗塞マップを用いれば灌流異常の程度・範囲・拡がりを容易に把握でき、責任冠動脈の推定を含めた診断をより容易に行うことができる。

#### 4) 再標準化プログラムの有用性

前述の2症例で示したごとく(Figs. 6, 7), 側壁梗塞の定量診断で梗塞の拡がりと程度を正確に描出するために、再標準化プログラムは非常に有用であった。特に心尖部は正常範囲が全体にほぼ一定のため実際に再標準化を必要とすることはないが、心基部は側壁に比し下壁・中隔の正常範囲がかなり低いため再標準化が重要になる。したがって、心基部の基準点となる側壁上部を支配している左回旋枝(解剖学的に特に鈍縁枝領域と考えられる)領域は、症例1で示したごとく再標準化の重要な対象である。一方、対角枝領域は症例2に示すごとく灌流欠損が心尖部に近いいため、再標準化の効果は軽度である。

以上のごとくCPAによるprofile curveに再標準化が重要なのは、左回旋枝領域を含む病変であり、比較的小数例に限られる。しかし赤色線(症例)が青色線(正常平均)より有意に上に位置するのを観察したなら、側壁の灌流異常を過少評価しないように、再標準化を行う必要がある。

#### 5) 梗塞スコアと心機能との比較検討

梗塞スコアのもう1つの利点は、各梗塞部の程度を表わす梗塞スコアを得ることができることである。Fig. 8の結果のごとく左心機能により大きな影響をもつ前壁梗塞で $r = -0.78$ の逆相関が得られた。したがって梗塞スコアにより梗塞の程度を算出することにより、患者の残余心機能との関連において患者の予後の重要な指標になり得ると考えられた。

## VI. 結 語

SPECTを用いた $^{201}\text{TlCl}$ 心筋断層シンチグラムの定量解析を行い、心筋Planar, SPECT像の視覚的診断と灌流欠損の診断精度について比較検討した。

1) 心筋SPECT像の定量解析は、おもに心筋短軸断層像のcircumferential profile analysisを用い、心尖部・中央部・心基部の3断面について正常者10人の平均と標準偏差から正常範囲を決定し、これを基礎にして病変の検出を行った。

2) 定量解析をする像の選択、関心領域・中心点の設定は熟練者の手作業により慎重に行った。自動輪郭抽出は灌流欠損部の輪郭を取れないため不適当であった。

3) 側壁梗塞が存在するとprofile curveの基準点がなくなり、相対的にprofile curveが正常平均より有意に上昇する領域を観察できる。このような場合、再標準化プログラムによる補正を行うことにより、灌流欠損の部位・拡がり・程度を正確に把握できた。特に正常曲線の特性より、冠動脈左回旋枝(特に鈍角枝)領域の灌流異常に対して、この再標準化が有用であることが証明された。

4) ROC解析を用いた灌流欠損の診断精度の検討では、心筋SPECT定量診断、SPECT視覚的診断、Planar視覚的診断の順に優れた診断精度が示された。前壁梗塞はいずれの診断も比較的良好な検出率を示したが、下壁梗塞の視覚的診断は個人差があり、全体に定量診断より劣っており、定量診断が有用であった。正常正診率はいずれも同程度で大差はなかった。

5) 定量解析により灌流欠損の部位・拡がり・程度を各断面ごとに定量的に捉えられ梗塞マップを作成できた。これは、罹患冠動脈の推定に非常に有用であった。また梗塞スコアにより梗塞の程度を把握でき、残余心機能との関連において患者の病態把握にも有用であった。

稿を終えるにあたり、ご校閲いただきました大阪大学医学部放射線科小塚隆弘教授、国立循環器病センター高宮誠部長、および直接ご指導いただいた西村恒彦医長に深謝いたします。また放射線診療部の諸先生、技師諸兄のご協力に感謝いたします。



## 文 献

- 1) 植原敏勇, 西村恒彦, 林田孝平, 他: スラントコリメータを使用した心筋シンチグラフィ (方法論を中心として). 核医学 20: 63-76, 1983
- 2) 植原敏勇, 西村恒彦, 林田孝平, 他: スラントコリメータを併用した心筋シンチ長軸像 (第1斜位像) による心筋虚血の評価. Journal of Cardiology 12: 101-110, 1982
- 3) 西村恒彦, 山田幸典, 植原敏勇, 他: 7-ピンホールコリメータによる心筋断層シンチグラフィ (第1報 心筋梗塞症例における有用性と限界について). 核医学 18: 1271-1285, 1981
- 4) 植原敏勇, 西村恒彦, 林田孝平, 他: Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) による Thallium-201 心筋シンチグラフィの定量診断 (基礎的検討). 核医学 21: 1301-1313, 1984
- 5) 植原敏勇, 西村恒彦, 林田孝平, 他: Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) を使用した心筋シンチグラフィによる虚血性心疾患の定量評価. ニュータウンカンファレンス心臓核医学 7: 91-94, 1983
- 6) Borello JA, Clintorne NH, Rogers WL, et al: Oblique angle tomography: a restructuring algorithm for transaxial tomographic data. J Nucl Med 22: 471-473, 1981
- 7) 竹田 寛, 前田寿登, 中川 毅, 他: 対向型ガンマカメラによる  $^{201}\text{Tl}$  心筋断層像: 左室軸断層像の臨床的有用性. 核医学 19: 1237-1242, 1982
- 8) 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
- 9) Sweats JA: ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. Invest Radiology 14: 109-121, 1979
- 10) Metz CE: Basic principles of ROC analysis. Seminars in Nuclear Medicine 8: 283-298, 1978
- 11) 内田 勝, 稲津 博: 放射線像の評価. 日本放射線技術学会雑誌 34: 556-586, 1979
- 12) 山下一也, 若松孝司: 信号検出理論の X 線撮影系への適用. 日本放射線技術学会雑誌 33: 111-117, 1977
- 13) 植原敏勇: 心筋長軸短軸断層像による心筋梗塞診断精度の向上. ニュータウンカンファレンス心臓核医学 5: 65-68, 1982
- 14) 玉木長良: ECT 解析法によるタリウム心筋 ECT の評価. ニュータウンカンファレンス心臓核医学 5: 65-68, 1982
- 15) Maublant J, Cassagues J, LE Jeune JJ, et al: A comparison between conventional scintigraphy and emission tomography with thallium-201 in the detection of myocardial infarction: Concise communication. J Nucl Med 23: 204-208, 1982
- 16) Jaszcak RJ, Whitehead FR, Lim CB: Lesion detection with single photon emission computed tomography (SPECT) compared with conventional imaging. J Nucl Med 23: 97-103, 1982
- 17) Ritchie JL, Larsson S, Israelson A, et al: Single photon tomographic imaging of a standard heart phantom with  $^{201}\text{Tl}$ : a gamma camera based system. Eur J Nucl Med 7: 254-259, 1982
- 18) Ritchie JL, Williams DL, Harp G, et al: Transaxial tomography with Thallium-201 for detecting remote myocardial infarction, comparison with planar imaging. Am J Cardiol 50: 1236-1241, 1982
- 19) Kirsch CM, Doliwa R, Buell U, et al: Detection of severe coronary heart disease with Tl-201: Comparison of resting single photon emission tomography with invasive arteriography. J Nucl Med 24: 761-767, 1983
- 20) 分校久志, 南部一郎, 関 宏恭, 他: Tl-201 心筋ファントムにおける SPECT 斜断層再構成の再現性と定量性の検討. 核医学 21: 723-730, 1984
- 21) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, et al: Segmental analysis of stress thallium myocardial emission tomography for localization of coronary artery disease. Eur J Nucl Med 9: 99-103, 1982
- 22) Tamaki S, Kambara H, Kadota K, et al: Improved detection of myocardial infarction by emission computed tomography with thallium-201: relation to infarct size. Br Heart J 52: 621-627, 1984

## Summary

### **Quantitative Assessment of $^{201}\text{Tl}$ Myocardial SPECT —Including the Comparison with Visual Diagnosis of Myocardial SPECT and Planar Images—**

Toshiisa UEHARA

*Department of Radiology, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka*

Clinical evaluation of the quantitative analysis of Tl-201 myocardial tomography by SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) was performed in comparison with visual evaluation. The method of quantitative analysis has been already reported in our previous paper. In this study, the program of re-standardization in the case of lateral myocardial infarction was added. This program was useful mainly for the evaluation of lesions in the left circumflex coronary artery. Regarding the degree of diagnostic accuracy of myocardial infarction in general, quantitative evaluation of myocardial SPECT images was highest followed by visual evaluation of myocardial SPECT images, and visual evaluation of myocardial planar images. However, in the case of anterior myocardial infarction, visual evaluation of myocardial SPECT images has almost the same de-

tectability as quantitative evaluation of myocardial SPECT images. In the case of infero-posterior myocardial infarction, quantitative evaluation was superior to visual evaluation. As for specificity, quantitative evaluation of SPECT images was slightly inferior to visual evaluation of SPECT images. An infarction map was made by quantitative analysis and this enabled us to determine the infarction site, extent and degree according to easily recognizable patterns. As a result, the responsible coronary artery lesion could be inferred correctly and the calculated infarction score could be correlated with the residual left ventricular function after myocardial infarction.

**Key words:** Single photon emission computed tomography (SPECT), Tl-201 myocardial scintigraphy, Quantitative circumferential profile analysis.