

## Tl-201 心筋 SPECT (二次元極座標表示法, 心筋展開図法)による梗塞責任冠動脈病変の推定

## Assessment of infarct-related coronary arteries using the bull's eye view method and unfolded surface mapping in thallium-201 myocardial tomography

鵜野起久也  
土橋 和文  
中田 智明  
和田 篤志  
能戸 徹哉  
早瀬 章  
橋本 章  
田中 繁道  
久保田昌宏\*  
飯村 攻

Kikuya UNO  
Kazufumi TSUCHIHASHI  
Tomoaki NAKATA  
Atsushi WADA  
Tetsuya NOTO  
Akira HAYASE  
Akira HASHIMOTO  
Shigemichi TANAKA  
Masahiro KUBOTA\*  
Osamu IIMURA

### Summary

Infarct-related coronary lesions and collaterals were assessed by the bull's eye view and the unfolded surface map derived from thallium-201 myocardial tomography (Tl-201 SPECT) in 25 patients with anterior myocardial infarction. The patients were categorized in six groups according to their cine-angiographic findings: locations of stenosis (proximal or distal portions of the first diagonal branch or distal site of the first septal branch), and the presence or absence of collaterals. The anterior half of the left ventricle on the bull's eye view map was divided into eight regions from the anterior septum to the lateral wall and from the apex to the cardiac base. Tl-201 SPECT images were expressed as functional maps using maximum-count circumferential profile analysis: an "extent image" showing the extent of perfusion defect, and a "severity image" demonstrating the degree of hypoperfusion.

The following results were obtained:

1. Perfusion defect of the "extent image" at the basal portion of the anterior septum reflected poor collaterals, with a sensitivity of 81.3%, a specificity of 77.8%, and a diagnostic accuracy

札幌医科大学 第二内科

\*同 放射線科

札幌市中央区南1条西16丁目(〒060)

The Second Department of Internal Medicine and

\*Department of Radiology, Sapporo Medical College,

S-1, W-16, Chuo-ku, Sapporo 060

Received for publication June 8, 1989; accepted October 12, 1989 (Ref. No. 36-418)

of 80.0%.

2. Coronary stenosis at segment 6 (AHA classification) was differentiated from that at segment 7 by detecting hypoperfusion at the basal septum on the “severity image”, with a sensitivity of 71.4%, a specificity of 77.8%, and a diagnostic accuracy of 75.0%.

3. Perfusion defect at the basal section of the proximal portion of the anterior wall on the “extent image” indicated stenosis at the proximal segment 6, with a sensitivity of 57.1% and a specificity of 88.9%.

4. A defect pattern at the basal septum and the anterior wall on the unfolded surface map indicated a lesion at segment 6, with a sensitivity of 63.6% and a specificity of 100%.

In conclusion, the bull’s eye view and the unfolded surface map derived from Tl-201 SPECT show the perfusion distribution through the major branches of the left anterior descending coronary artery. Assessment of the locations and degrees of perfusion abnormalities by the “extent” or “severity” images can contribute to identification of the sites of infarct-related coronary stenoses and to assessment of the functional collaterals.

**Key words**

Myocardial infarction      Thallium-201 myocardial tomography      Bull’s eye view method      Infarct-related artery      Collaterals

**目 的**

回転型ガンマカメラを用いた Tl-201 心筋断層法 single photon emission computed tomography (Tl-201 SPECT) は高い病変検出能を有し、冠動脈疾患における虚血巣や梗塞巣の判定、さらには心筋壁形態の観察等に繁用されている<sup>1-8)</sup>。ことに最近では、本法を用いた定量的診断も高く評価されるようになってきた<sup>9-14)</sup>。しかし、Tl-201 SPECT 法では多数の連続した画像の処理や読影の煩雑のため、近年、SPECT の三次元データをより簡便に解析できる方法として、二次元極座標表示法 (bull’s eye 法)<sup>15)</sup>、心筋展開図法<sup>16,17)</sup>など、一枚の画像で二次元的に表示する方法が用いられるようになってきた。我々<sup>17)</sup>も最近、bull’s eye 法および心筋展開図法を用いた梗塞量の定量的手法について報告した。しかしながら、責任冠動脈の定性的診断において、病変主要冠動脈の分枝まで含めた詳細を検討した報告は少ない<sup>19)</sup>。今回我々は冠動脈病変をより詳細、かつより客観的に診断することを目的とし、Tl-201 SPECT 像に bull’s eye 法および心筋展開図法を応用し、さらにこれらから infarct area mapping を新たに作

成し、左前下行枝一病変例における本法の有用性を検討した。

**対 象**

対象は冠動脈造影にて左前下行枝 (LAD) 一病変例のみ 75% 以上の有意狭窄病変を認めた慢性期の貫壁性前壁心筋梗塞患者 25 例 (男性 23 例、女性 2 例) で、年齢は 24~77 歳 (平均 51.7±11.2 歳) である。対象は冠動脈の病変部位により、AHA 分類による segment 6 病変例のうち、第一対角枝中極側病変例 (seg. 6-1) 7 例、第一対角枝末梢

**Table 1. Classification of coronary angiographic findings in 25 patients**

Location of coronary stenosis	Collaterals		Total (cases)
	Rich	Poor	
Segment 6-1*	2	5	7
Segment 6-2**	2	2	4
Segment 7	5	9	14
Total	9	16	25

Coronary stenosis is located in the proximal (\*) or distal (\*\*) portion of the left anterior descending artery to the first diagonal branch.

側病変例 (seg. 6-2) 4例, および segment 7病変例 (seg. 7) 14例に分け, さらに各々を良好な collateral の有無によって二分し, 総計 6 群に分類した (Table 1). なお, 冠動脈バイパス術・冠血管形成術 (PTCA) および血栓溶解療法 (PTCR) を施行した症例は含まれていない.

方 法

使用装置は高分解能 コリメーターを装着した dual head 回転型ガンマカメラ (Siemens 製

ZLC-75), およびオンラインで接続したミニコンピューターシステム (島津製 Scintipac 2400) である. TI-201・Cl 4 mCi を安静時に静注後, 同 SPECT 装置にて左後斜位 45° より右前斜位 45° まで 180° に渡り 5° 毎, 36 方向から一方向 30 秒のデータ収集を行った. TI-201 SPECT 像は, 従来の我々の方法<sup>8,18)</sup>に基づき, 以下のごとく作成した. すなわち, 9 点処理後 Shepp and Rogan フィルターを用いた back projection 法により, まず体軸横断像を作成し, 次に左心長軸に一致し

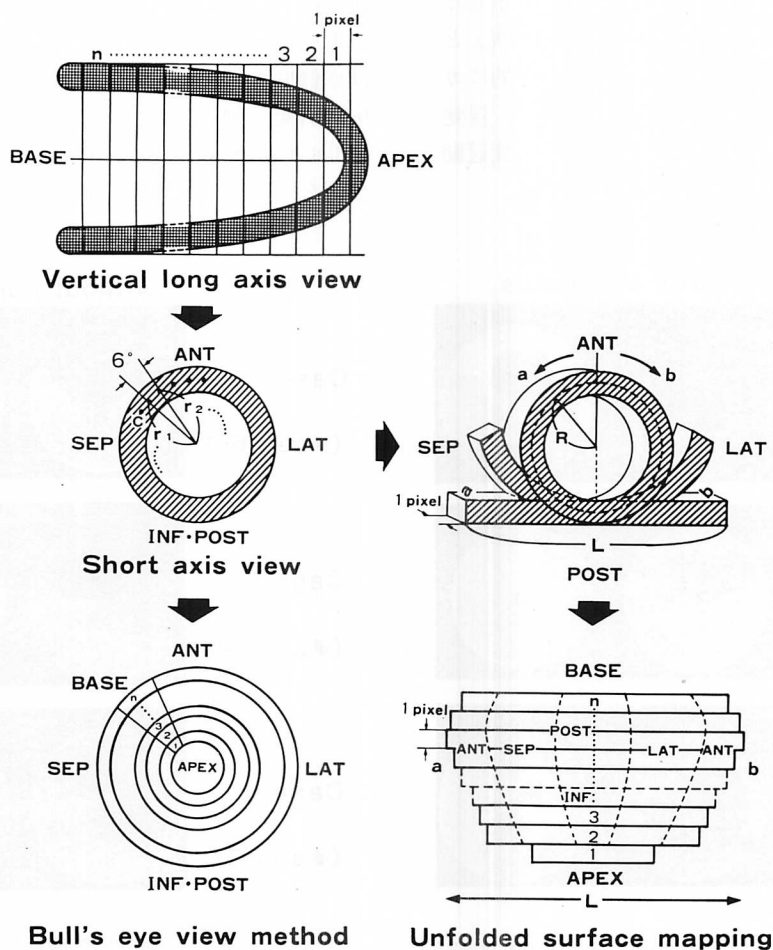


Fig. 1. A schematic representation of the display format and analysis of TI-201 SPECT images.

た断層軸を得るように画像を回転し, 長軸矢状断層・長軸水平断層・短軸断層を得た. また, bull's eye 表示と展開図表示は, 既報<sup>17)</sup>に従ったが, 要点は以下のとおりである.

まず心筋 SPECT 短軸断層像を用い, maximum-count circumferential profile analysis を施行し, 各ポイントを同心円上に配列して bull's eye 像を得, さらに心筋周長算出後, 各ポイントを配分し, 心尖部から心基部までを順次配列して心筋展開図を作製した (Fig. 1). Bull's eye 法では, 健常者 8 名より得たデータに基づき mean-2SD 以下の領域を黒, 正常領域を赤で表示した extent image, および正常の領域を赤 (100%) とし, 異常領域をその activity により段階的にカラー表示した severity image の両者を得, 視覚的に検討した. また心筋展開図法では, 病変冠動脈別に各々の梗塞パターンを検討した.

## 結 果

### 1. Bull's eye 像の検討と infarct area mapping の設定

各群ごとの典型例 6 症例の bull's eye 像 (extent image ならびに severity image) を Fig. 2 に呈示した. 異常低灌流領域の大きさは, LAD の優位性に依存するため一概には言えないが, 近位部病変例ほど大きい傾向がみられ, また側副血行の明らかな症例で小さい傾向がみられた. さらに severity image において, 側副循環を有する例では中隔側前壁基部の欠損が回避されており, 一方それを有さない例にのみ限って検討すると, 前壁側壁基部の欠損は側副循環を有さない seg. 6-1 病変の例に高頻度に認められた. そこで, bull's eye image 上の左室前壁側を, 1 時 30 分の位置を 0° として反時計回転し, 360° 度数表示を

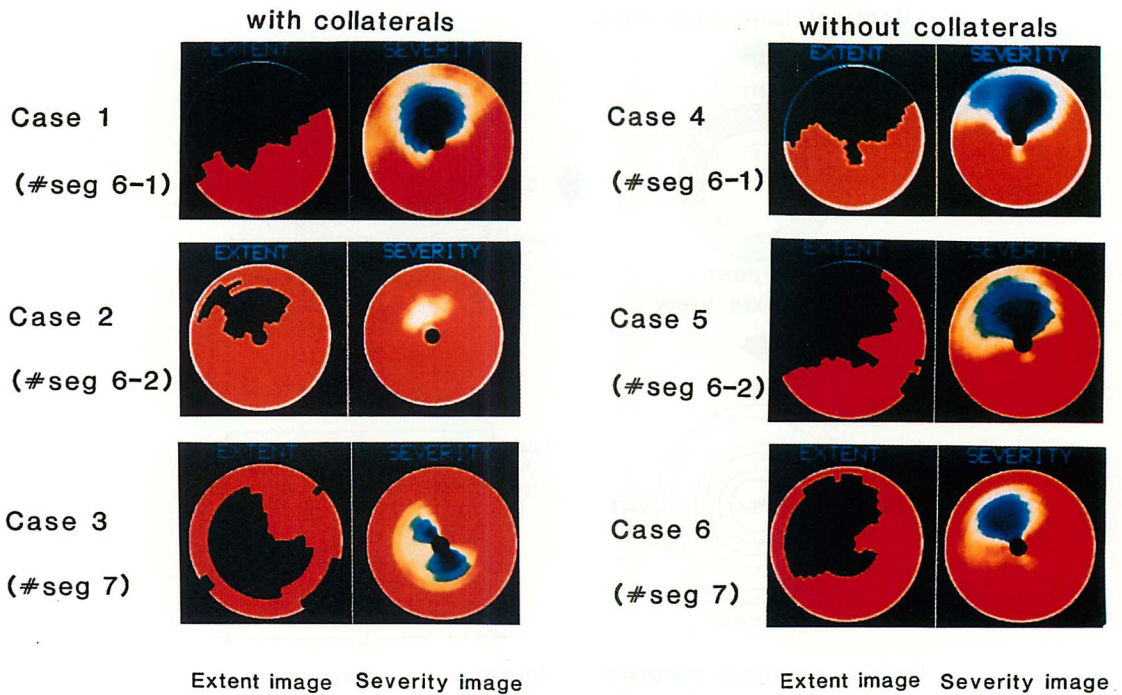
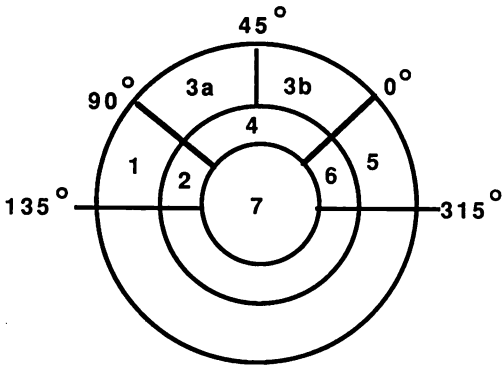


Fig. 2. Demonstration of typical extent and severity images using bull's eye view method.

The locations of coronary artery stenoses in 6 patients are shown in parentheses.



**Fig. 3. Infarct area mapping on the bull's eye view image.**

The anterior half of the left ventricle is divided into 8 regions from area 1 to area 7.

行い、0°, 45°, 90°, 135° 軸で分け、さらに同心円上に心尖部側から心基部側までを3等分し、area 1 から area 7 までの8つの領域に細分化して infarct area mapping (Fig. 3) とした。

1. 中隔・前壁・側壁の検討

検討症例 25 例全例の異常領域を Fig. 4 に示す。Extent image 上、前壁の一部を表現する area 2 と 4 では、25 例中それぞれ 20 例、23 例が陽性であった。心尖部にあたる area 7 では 23 例が陽性であり、一方、側壁にあたる area 5 と 6 では、対角枝の梗塞を合併した症例 7 と、梗塞が側壁に及んだ症例 23 のみ陽性であった。

2. 中隔基部の検討

Area 1 において側副循環を有する群と有さない群とで比較した (Fig. 5)。Extent image 上では側副循環を有する 9 例中 2 例のみ欠損像が陽性であったのに対し、側副循環を有さない群では、16 例中 13 例で欠損像が陽性であった。したがって extent image における infarct area mapping 上の area 1 の欠損陽性所見は、sensitivity 81.3%, specificity 77.8%, accuracy 80.0% で側副循環の有無を判定し得た。一方、severity image ではそれぞれ 45.1%, 77.8%, 56.0% であった。次に側副循環の無い群のみについて検討すると (Fig. 5),

case No.	Area Segment	Area							
		1	2	3a	3b	4	5	6	7
1	#6-1(-)	Black	Grey	White	White	White	White	White	White
2		White	White	White	White	White	White	White	White
3		White	White	White	White	White	White	White	White
4		White	White	White	White	White	White	White	White
5		White	White	White	White	White	White	White	White
6	#6-1(+)	White	White	White	White	White	White	White	White
7		White	White	White	White	White	White	White	White
8	#6-2(-)	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black
9		Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black
10	#6-2(+)	White	White	White	White	White	White	White	White
11		White	White	White	White	White	White	White	White
12	#7(-)	White	White	White	White	White	White	White	White
13		White	White	White	White	White	White	White	White
14		White	White	White	White	White	White	White	White
15		White	White	White	White	White	White	White	White
16		White	White	White	White	White	White	White	White
17		White	White	White	White	White	White	White	White
18		White	White	White	White	White	White	White	White
19		White	White	White	White	White	White	White	White
20		White	White	White	White	White	White	White	White
21		White	White	White	White	White	White	White	White
22	#7(+)	White	White	White	White	White	White	White	White
23		White	White	White	White	White	White	White	White
24		White	White	White	White	White	White	White	White
25		White	White	White	White	White	White	White	White

**Fig. 4. Summary of perfusion abnormalities in infarct area mapping in 25 patients.**

The presence or absence of collaterals is shown in parentheses.

Black section=perfusion defect both in extent and severity images; grey section=hypoperfusion in the severity images; white section=normal perfusion in both images.

seg 6 病変例 (#segs. 6-1, 6-2) と seg. 7 病変の鑑別では、extent image では sensitivity 100%, specificity 33.3%, accuracy 62.5%, severity image ではそれぞれ 71.4%, 77.8%, 75.0% の精度で、二者を判別し得た。

3. 前壁基部の検討

Fig. 6 は責任病変が第一対角枝より中枢側の seg 6-1 と末梢側の seg. 6-2+seg. 7 とで、灌流欠損を比較したものである。Severity image 上の area 3b の欠損陽性所見により、sensitivity 57.1%, specificity 88.9%, accuracy 80.0% で、第一対角枝中枢側と末梢側病変の判定が可能であった。一方、extent image ではそれぞれ 57.1%, 72.2%, 68.0% と、severity image に比し、精度は低率と

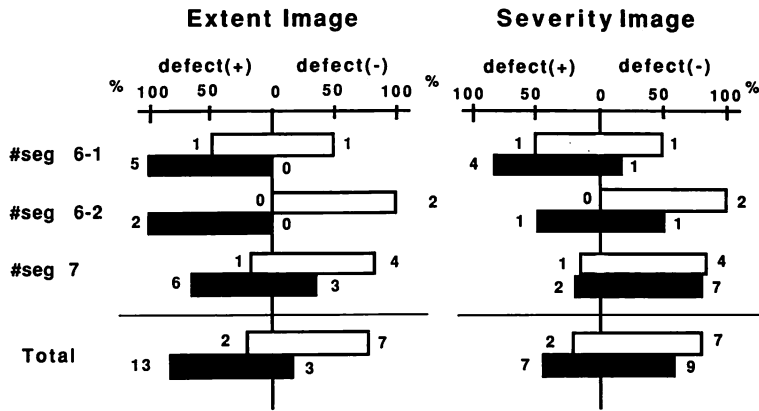


Fig. 5. Incidence of perfusion defects at area 1 in infarct area mapping. Open column=the case(s) with rich collaterals; closed column=the case(s) without collaterals.

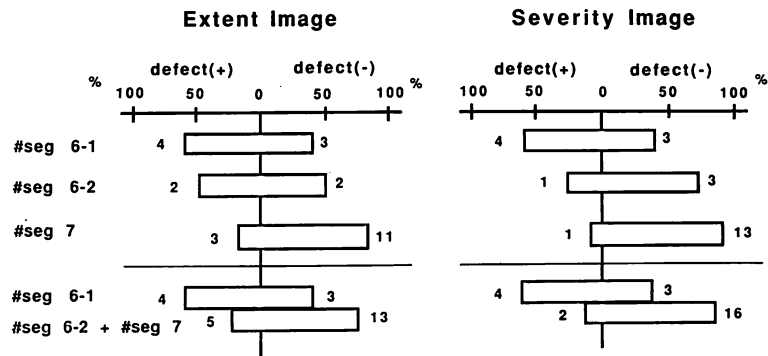


Fig. 6. Incidence of perfusion defects at area 3b in infarct area mapping.

なった。

## 2. 心筋展開図法における検討

心筋展開図法による severity image を用い, seg 6 病変と seg 7 病変の image 上の差異を検討したところ, 前者では 11 例中 7 例でその欠損が前壁～中隔基部にまで及んだのに対し, 後者では欠損が基部に及ぶ例はなかった (Fig. 7). 基部欠損の有無により両病変は sensitivity 63.6%, specificity 100%, accuracy 84.0% の精度で鑑別し得た。

## 考 按

Tl-201 心筋 SPECT 法により心筋血流の三次元情報が得られるようになり, 心筋虚血の検出能力は著明に向上した<sup>1-14)</sup>. さらに, 二次元極座標表示法 (bull's eye 法)<sup>15)</sup>, 展開図法<sup>16,17)</sup>などの画像処理法の進歩は, 梗塞巣の広がりをもより正確かつ簡便に評価することを可能にした. しかしながら, 梗塞責任冠動脈病変の検出に関しては経験的判断によるものが多く, その詳細な分析にはやや難があった。

今回我々はより簡便な判定法として新たに in-

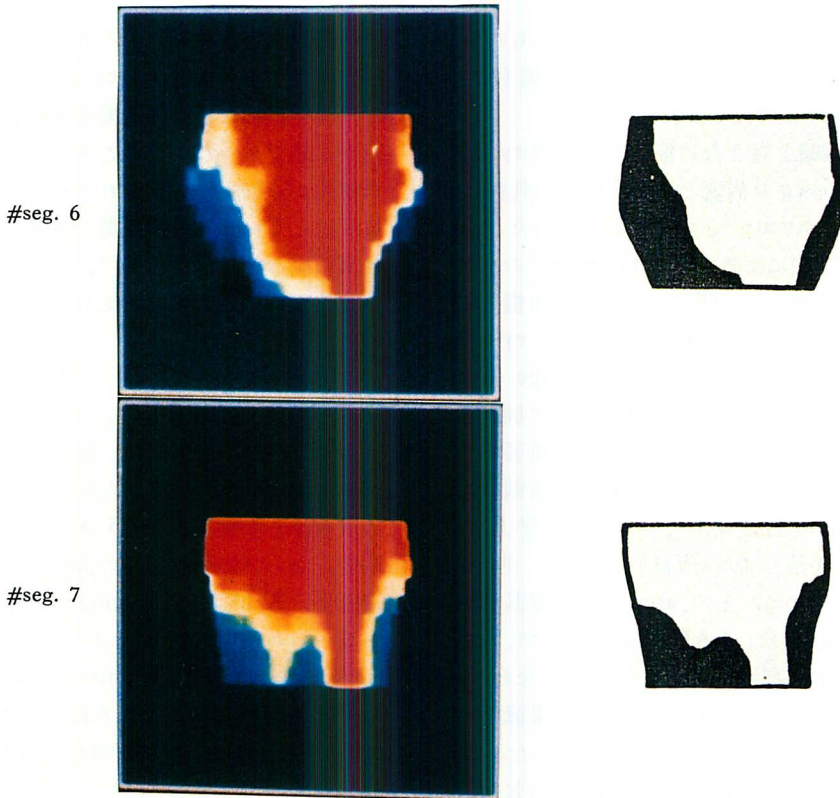


Fig. 7. Demonstration of severity images of 2 typical cases by the unfolded surface mapping method.

infarct area mapping を考案した。すなわち、左前下行枝 (LAD) 一枝病変例を対象に、bull's eye 表示上の LAD 領域を 8 つの領域に細区分し (Fig. 3)、責任冠動脈病変ならびに側副循環の有無を評価した。

Iino らの bull's eye 表示を用いた報告<sup>19)</sup>では、右冠動脈の灌流域は 4 時 30 分～7 時 30 分領域、左前下行枝は 7 時 30 分～1 時 30 分領域、左回旋枝は 1 時 30 分～4 時 30 分領域に相当するとしている。我々も同様に 1 時 30 分方向を左前下行枝と左回旋枝の領域境界とみなし、0° として infarct area mapping を作成をした。Areas 5, 6 は側壁を表現するが、extent image および severity image において、areas 5, 6 を陽性と判定したのは、25 例中第一対角枝の梗塞を合併した例と seg 6-1

病変例で、梗塞が側壁に及んだ例の 2 例のみであった。今回は左回旋枝について検討は試みていないが、以上の結果からは、1 時 30 分付近を両冠動脈灌流域の境界とするのが適当と思われた。

Infarct area mapping 上の area 1 は中隔基部に相当するが、extent image には、同部位の欠損の有無による側副循環の判定では、sensitivity, specificity とともに良好な結果が得られた。これは、同部位が解剖学的に側副循環を形成しやすいこと、左・右冠動脈の優位関係による冠動脈支配の個人差の影響が少ない部分であることの両者が関与していると思われた。これに比し、同部位の severity image は側副循環の有無の判定では、その診断能は extent image に比して劣っていた。これは、冠動脈造影上側副循環が豊富であり、

TI-201 SPECT 上灌流欠損を回避できたものの、正常領域と比較し、やはり同部位が低灌流(慢性虚血)であるためと考えられた。

また、側副循環を有さない症例で、severity image を用いての seg. 6 病変と seg. 7 病変の判別は、sensitivity, specificity とともに良好であった。一方、心筋展開図法による severity image の検討でも、これら両病変例の間に、心基部の欠損に一応の差違を認めた。以上の所見は、bull's eye 表示、展開図表示とも、その severity image 上の中隔心基部側の低灌流所見の有無が、特に側副循環の乏しい例において、両病変の鑑別に重要であることを示唆している。第一中隔枝の灌流領域は一般に心室中隔の上部 2/3 とされ、解剖学上も、今回の所見と矛盾しない所見といえる。他方、infarct area mapping 上の area 3b (前壁基部側壁側)の低灌流所見は、LAD 病変のなかで、seg. 6-1 病変の判定に有用と考えられた。すなわち、LAD の第一対角枝中樞側が同部位の冠灌流を維持する上で重要であることを示唆していた。また、同部位における extent image 上の欠損が severity image 上の欠損陽性所見に比し低率であったのは、この部位が右冠動脈からの側副循環が多く、梗塞(defect)は回避され、低灌流(hypoperfusion)にとどまったためと推察された。

本法の問題点として、extent image と severity image の組み合わせや、その読影技術から判断して、やはり客観性や簡便性はまだ十分とは言いがたく、また他枝(左回旋枝・右冠動脈枝)との関係も十分検討すべき課題であると考えられる。さらに、急性期における血栓溶解療法や冠血管形成術の心筋イメージングに与える影響も、今後の研究課題の一つとして残されている。

## 結 論

TI-201 SPECT による多断面連続画像を単一の二次元画像に処理する方法、すなわち二次元極座標表示法および心筋展開図法を用い、左前下行枝一病変例を対象に、より詳細な梗塞責任冠動

脈病変の推定を試みた。その結果、LAD 領域の設定とその細分化(infarct area mapping)により、より詳細な冠動脈病変や側副循環の有無の推定が可能であった。このことは、心筋血流の単一画像化が冠動脈の分枝それぞれの灌流領域を正確に反映していることの証拠であり、虚血あるいは梗塞領域の定量化とともに、本法の臨床的有用性を強く支持するものと考えた。

## 要 約

TI-201 心筋 SPECT より作成した bull's eye 表示および展開図表示に、我々の考案した infarct area mapping を加え、左前下行枝一病変による貫壁性心筋梗塞患者 25 例における責任冠動脈病変、ならびに側副循環の評価を行った。冠動脈造影上、AHA 分類 segment 6 病変例 11 例(うち第一対角枝中樞側(seg. 6-1)病変 7 例、末梢側(seg. 6-2)病変 4 例、segment 7 病変 14 例をさらに側副循環の有無により 6 群に分類した)。Bull's eye 画像上では、反時計回転に度数表示にて 0°, 45°, 90°, 135° 軸で分け、また同心円上に 3 等分し、総計 8 つの領域を設定して infarct area mapping とした。この mapping を用いて、extent image と severity image を視覚的に判定した。展開図法では各々の梗塞パターンについて検討した。

1. 側副循環の存否判定には前壁中隔基部の extent image の欠損の有無が有用であり(sensitivity 81.3%, specificity 77.8%, accuracy 80.0%)、側副循環の明らかでない症例では、seg. 6 と seg. 7 病変の判別に同部位の severity image 上の低灌流の有無が有用であった。(sensitivity 71.4%, specificity 77.8%, accuracy 75.0%)。

2. 第一対角枝前後の病変判定には前壁側壁基部の欠損の有無が有用であった。(sensitivity 57.1%, specificity 88.9%, accuracy 84.0%)。

3. 展開図法は seg. 6 病変を推定する上で、前壁-中隔基部の欠損の有無が有用であった。(sensitivity 63.6%, specificity 100%, accuracy 84.0%)。



以上, bull's eye 画像上の infarct area mapping は左冠動脈各枝による灌流領域をある程度反映しており, 展開図表示による梗塞パターンの解析と合せ, 側副循環の有無や冠動脈病変部位の推定に臨床上極めて有用と思われた.

#### 文 献

- 1) Holman BL, Hill TC, Wynne J, Lovett RD, Zimmerman RE, Smith EM: Single-photon transaxial emission computed tomography of the heart in normal subjects and in patients with infarction. *J Nucl Med* 20: 736-740, 1979
- 2) Goodwin PN: Recent developments in instrumentation for emission computed tomography. *Semin Nucl Med* 10: 322-334, 1980
- 3) Maublant J, Cassagnes J, Lejeune JJ, Mestas D, Veyre A, Jallut H, Meyniel G: A comparison between conventional scintigraphy with thallium-201 in the detection of myocardial infarction. *J Nucl Med* 23: 204-208, 1982
- 4) Ritchie JL, Williams DL, Harp G, Stratton JL, Cardwell JH: Transaxial tomography with thallium-201 for detecting remote myocardial infarction: Comparison with planar imaging. *Am J Cardiol* 50: 1236-1241, 1982
- 5) Massie BM, Wisneski JA, Inouye IK, Hollenberg M, Gertz EW, Henderson S: Detection and quantification of previous myocardial infarction by exercise-redistribution tomographic thallium-201 scintigraphy. *Am J Cardiol* 53: 1244-1249, 1984
- 6) Nohara R, Kambara H, Suzuki Y, Tamaki S, Kadota K, Kawai C, Tamaki N, Torizuka K: Stress scintigraphy using single-photon emission computed tomography in the evaluation of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 53: 1250-1254, 1984
- 7) Morton KA, Alazraki NP, Taylor AT, Datz FL: SPECT thallium-201 scintigraphy for the detection of left ventricular aneurysm. *J Nucl Med* 25: 168-172, 1987
- 8) Nakata T, Tanaka S, Murakami H, Uno K, Noto T, Tsuda T, Kubota M, Morita K, Iimura O: Morphological assessment of left ventricular wall and ventricular aneurysm by thallium-201 myocardial emission computed tomography. *Jpn Circ J* 52: 589-596, 1988
- 9) Keyes JW Jr, Brody TJ, Leonard PF: Calculation of viable and infarcted myocardial mass from thallium-201 tomograms. *J Nucl Med* 21: 339-343, 1981
- 10) Tamaki S, Nakajima H, Murakami T: Estimation of infarct size by myocardial emission computed tomography with thallium-201 and its relation to creatine kinase-MB release after myocardial infarction in man. *Circulation* 66: 994-1001, 1982
- 11) Thompson CJ, Mera I, Maublant JC: Thallium-201 tomographic estimation of left ventricular mass in normal and infarcted canine hearts using a new automated edge detection program. *J Am Coll Cardiol* 4: 533, 1985 (abstr)
- 12) Prigent F, Maddahi J, Sato Y: Quantification of myocardial infarct size in the dog using single-photon emission computed tomography: Slice-by-slice comparison of Tl-201 tomograms and pathology. *Circulation* 70: II-450, 1984 (abstr)
- 13) Prigent F, Maddahi J, Garcia EB: Comparative methods for quantifying myocardial infarct size by thallium-201. *J Nucl Med* 28: 325-333, 1987
- 14) Johnson LL, Lerrick KS, Coromilas J, Seldin DW, Esser PD, Zimmerman JM, Keller AM, Alderson PO, Bigger JT Jr, Cannon PJ: Measurement of infarct size and percentage myocardium infarcted in a dog preparation with single photon-emission computed tomography, thallium-201, and indium 111-monoclonal antimyosin Fab. *Circulation* 76: 181-190, 1987
- 15) Caldwell JH, Williams DL, Harp GD, Stratton JR, Ritchie JL: Quantitation of size of relative myocardial perfusion defect by single-photon emission computed tomography. *Circulation* 70: 1048-1056, 1984
- 16) Kubota M, Tsuda T, Akiba H: Estimation of infarct size by three-dimensional surface display method of myocardial single photon emission CT with 201Tl. *Jpn J Nucl Med* 14: 1677-1682, 1987 (in Japanese)
- 17) Nakata T, Noto T, Uno K, Wada A, Hikita N, Tanaka S, Shoji T, Kubota M, Tsuda T, Morita K, Iimura O: Quantification of area and percentage of infarcted myocardium by single photon emission computed tomography with thallium-201: A comparison with serial serum CK-MB measurements. *Ann Nucl Med* 3: 1-8, 1989
- 18) Nakata T, Murakami H, Inoue M, Hosoda S, Tanaka S, Kumaoka K, Tsuda T, Kubota M, Morita K, Iimura O: Qualitative determination of infarct segment by Fourier analysis using gated cardiac pool emission computed tomography. *J Cardiogr* 16: 873-884, 1986 (in Japanese)
- 19) Iino T, Toyosaki N, Katsuki T, Noda T, Natsume T, Yaginuma T, Hosoda S, Furuse M: Evaluation of diseased coronary arterial branches by polar representation of thallium-201 rotational myocardial imaging. *Clin Nucl Med* 11: 688-693, 1987