

《原 著》

運動負荷 TI-201 心筋 SPECT 像から求めた梗塞領域 再分布図による心筋 viability の定量評価

堰 合 恭 弘*

要旨 健常者10例, 心筋梗塞20例の計30例を対象として運動負荷 TI-201 心筋シンチを施行し, 心筋梗塞患者の SPECT 像から梗塞領域再分布図を作製して心筋 viability の定量評価を試みた. 作製した梗塞領域再分布図では左室心筋は再分布のない梗塞巣, 再分布がある梗塞領域, 梗塞周辺の再分布領域の三つの領域に分けて表示され, 再分布領域は梗塞巣を取り囲むように存在した. また, 梗塞領域再分布図から梗塞量の定量指標として求めた defect score, % defect, ならびに再分布の定量指標として得た再分布比 (RR) や再分布指数 (RI) は planar 像の視覚的判定結果とほぼ一致した. また, defect score と % defect は局所壁運動機能を表す % shortening と逆相関 (それぞれ $r = -0.573$; $p < 0.05$, $r = -0.536$; $p < 0.05$) を示し, RI は % shortening と良い正相関関係 ($r = 0.669$; $p < 0.01$) にあった. それゆえ本研究で考案作製した梗塞領域再分布図は心筋 viability を反映し, その定量評価に有用と思われた.

I. 緒 言

TI-201 心筋シンチグラフィは心筋虚血領域の評価に優れた方法であり, 心筋梗塞, 狭心症などの診断はもちろんのこと, 最近では A-C bypass 術ならびに PTCA の適応決定などにも用いられている. とくに心筋梗塞領域に対して A-C bypass 術や PTCA が行われるようになりつつある現在, その適応決定に果たす心筋シンチグラフィの意義は大きい¹⁻⁶⁾. しかし, その適応決定の判断は従来は視覚的評価のみによってなされることが多く, 客観性に乏しい点が問題であった.

一方, われわれはこれまで TI-201 心筋 SPECT 像を定量的に評価するために, SPECT 像の三次元的情報を梗塞領域図⁷⁾, 再分布図⁸⁾等の展開図として一つの画面上に表示する方法を開発し報告してきた.

本研究では, まず運動負荷 TI-201 心筋 SPECT 像より求めた梗塞領域再分布図から心筋梗塞領域の viability を定量評価する方法について述べ, 次に同方法により得られた結果を視覚的判定ならびに左室造影から求めた局所壁運動機能と対比検討し, 同法による再分布評価の信頼性について考察した.

II. 対象および方法

1) 対 象

対象は, 虚血性心疾患を疑い冠動脈造影などの精査をしたが異常が認められなかった健常者10例, ならびに心電図, 臨床所見, 酵素変化などから心筋梗塞と診断し, 冠動脈造影により責任冠動脈病変を確認した心筋梗塞20例の計30例である.

心筋梗塞のうちわけは前壁梗塞13例, 下壁梗塞5例, 前壁下壁梗塞2例である. ここで心筋梗塞症例を planar 像の視覚的判定から3群に分類した⁶⁾. すなわち,

A群: 完全再分布—初期分布における欠損像が再分布時に完全に消失した例は4例,

B群: 不完全再分布—初期分布における欠損像

* 弘前大学医学部第二内科(教授:小野寺庚午)

受付:62年9月26日

最終稿受付:63年4月4日

別刷請求先:青森県弘前市大字在府町5

弘前大学医学部第二内科 (☎036)

小野寺 庚 午

が不完全ないし部分的に消失した例 5 例,
C 群: 再分布なし初期分布における欠損像は
消失せず変化しなかった例 11 例,
である。

2) データ収集方法

自転車エルゴメータを用いて、25 watt から 3 分ごとに 25 watt ずつ増量する多段階運動負荷法に従い、胸痛等の自覚症状、有意の ST 変化、重篤な不整脈の出現、目標心拍数の到達等を end point として運動負荷を行った。end point に達した後 Tl-201 を 4 mCi 静注し、さらに約 1 分間の運動を継続させ撮像を開始した。planar 像を撮像後、高分解能コリメータを装着した回転式ガンマカメラ (GCA-70A 東芝製) を用い被検者の右前斜位 30° から左後斜位 60° にかけて 6° ずつカメラを回転させ、一方向 30 秒、128×128 マトリックスでデータ収集した。画像再合成にはミニコンピュータ (GMS-55A 東芝製) を用い、左室水平断層像を再合成後、5.6 mm 間隔で左室短軸断層像を得た。使用したフィルターは Shepp & Logan

filter で吸収補正は行わなかった。

3) 梗塞領域再分布図作製方法

梗塞領域図の作製方法についてはすでに報告してある^{7,9)}。概略すると健常者 10 例の SPECT 像から total カウント法で profile curve を求め、その profile curve の平均-2 標準偏差を正常下限 profile curve とし、それ以下の部分を梗塞領域として梗塞領域図を作製するものである。本研究でも梗塞領域図の作製に関しては同様の手法を用いたが (Fig. 1-a), 運動負荷を加えているため負荷後 3 時間における画像を安静時データとした。Fig. 1-b は梗塞領域を三次元的に表示したものであるが、正常領域は高さを 100% として水平面に描かれている。また梗塞領域は谷状に示され、その深さは Tl 取り込みの低さの程度に応じている。そして Fig. 1-c は梗塞範囲を地図状に表示した二次元マップである。

これらの定量評価の指標として defect score (DS) と % defect (%D) を算出した。ここで defect score とは三次元表示マップ上正常下限を下まわ

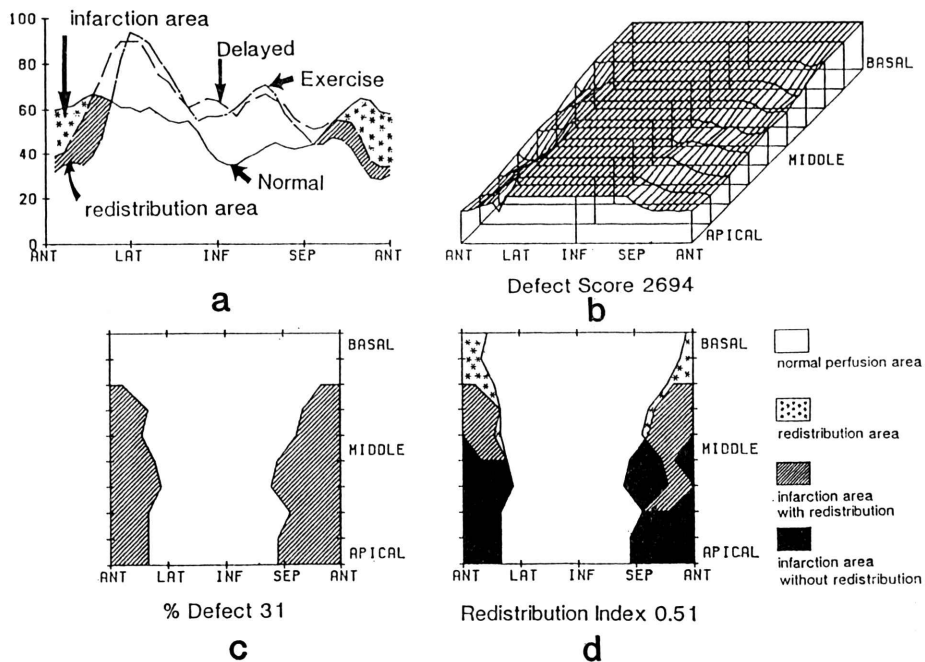


Fig. 1 Methods of infarction map and redistribution map.

った領域の TI 取り込みを % カウントの総和で表したもので梗塞の重症度を示し, % defect とは二次元表示マップ上で梗塞と判断された領域の全左室面積に対する割合で梗塞の拡がりを示すものである。

再分布領域の判定には健常者から得た正常下限 profile curve か個々の患者の運動負荷後 3 時間における再分布時 profile curve のうちいずれか低値の方を基準 curve として用いた。この基準 curve を用いて, 再分布領域は運動負荷直後像の curve が基準 curve を下まわる部分と判定される (Fig. 1-a)。その再分布領域を梗塞領域図と同様の手法で二次元ならびに三次元的に表示マップした。とくに二次元表示マップ上では梗塞領域と再分布領域の関係を明確にするため, 一つの画面上に梗塞部位と再分布部位を重ねて図示してある (Fig. 1-d)。このように二次元表示マップから再分布を伴わない梗塞部, 再分布を伴う梗塞部, 梗塞のない再分布部の識別表示が可能であった。

再分布領域の定量評価の指標には defect score (DS) と % defect (%D) から再分布比 (redistribution ratio, 以下 RR: 再分布時の DS/負荷直後の DS) ならびに再分布指数 (redistribution index, 以下 RI: 再分布領域の %D/梗塞領域の %D) を求めた。ここで再分布比 (RR) とは再分布領域の重症度を表し, 再分布指数 (RI) は再分布領域の拡がりを示すものと考えられる。以上のマップの作製, 各指標の算出にはミニコンピュータ (GMS-55A 東芝製) の GPL 言語を用い, プログラムはわれわれが独自に開発した。

4) 左室駆出率の算出と左室局所壁運動の解析法

左室駆出率は左室造影像から求めた¹⁰⁾。

左室局所壁運動の解析には左室造影像から求めた % shortening を用いた。左室長軸と垂直の方向で左室造影像を SPECT 像の断層像と同じ数に分割し, % shortening を chord 法に準じて算出した¹¹⁾。そして SPECT から得られたデータとの比較のために, 対応する梗塞領域の % shortening をそれぞれの平均値として表した。

III. 結 果

1. 症例呈示

症例を呈示する。

症例: 男性, 61 歳。

心電図では V₁ から V₃ にかけて異常 Q 波を, 左室造影では segment 3 に hypokinesis を認め, 冠動脈造影では左前下行枝 segment 7 に 90% の stenosis を認めた。Fig. 2 は同症例の梗塞領域再分布図である。心尖部を中心に再分布を伴う梗塞巣がみられ, その周囲に非梗塞の再分布領域があった。梗塞部の % defect は 3%, 再分布部の % defect は 22% であり, 再分布の拡がりの程度を示す再分布指数は 7.33 と高値であった。また負荷直後像から得られた defect score は 1,113, 再分布時の defect score は 939 で, 再分布の程度を示す再分布比は 0.84 であった。

2. 梗塞領域再分布像の視覚的判定と定量評価 planar 像の視覚的判定から分類した 3 群において, 梗塞領域図の定量的指標である defect score と % defect を検討したのが Fig. 3 である。

まず 3 群間における defect score をみると, A 群は 422±273 (平均値±標準偏差), B 群は 1,315±567 であり両群間に有意差はなかった。しかし C 群は 3,012±1,493 であり A 群 (p<0.05), B 群

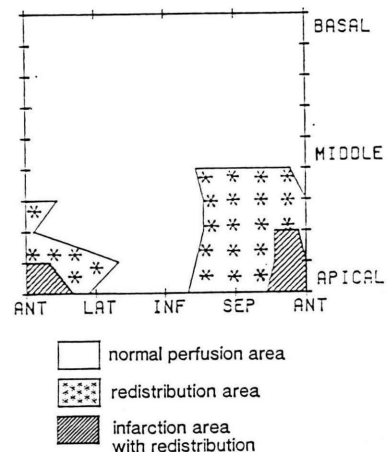


Fig. 2 Infarction and redistribution map in Case 1.

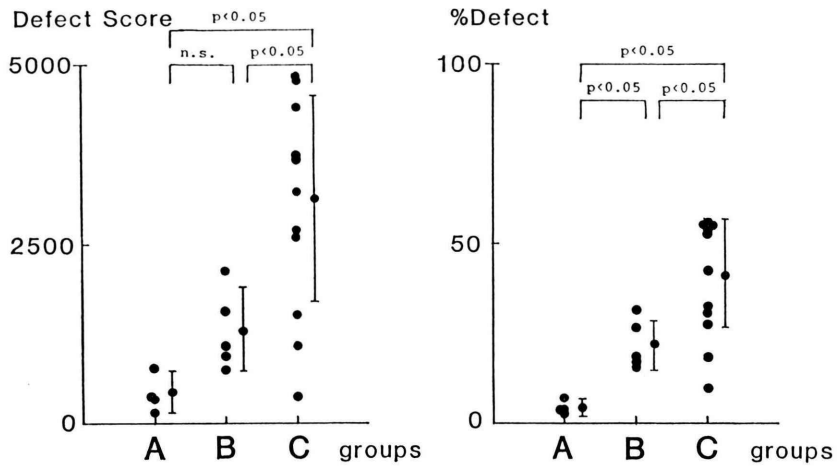


Fig. 3 Relation of defect score and % defect in 3 groups.

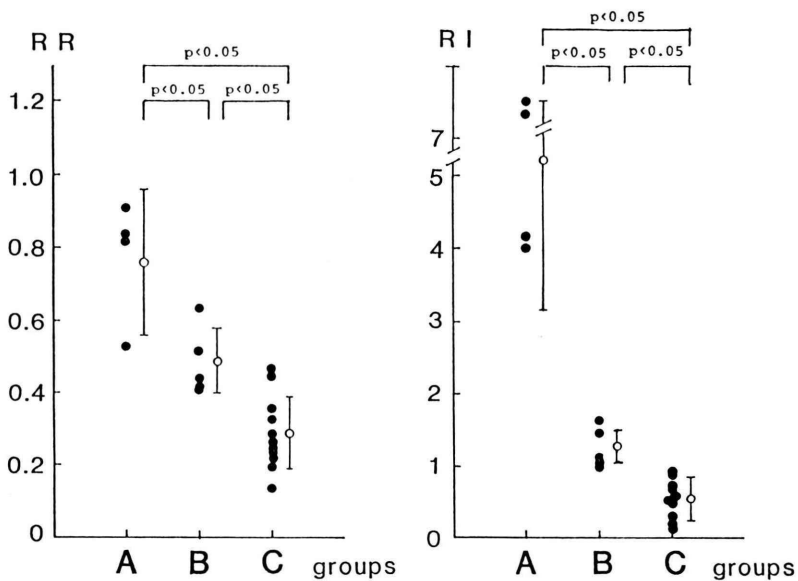


Fig. 4 Relation of redistribution ratio (RR) and redistribution index (RI) in 3 groups.

($p < 0.05$) より大であった。

また % defect は A 群では 5 ± 2 , B 群 22 ± 7 , C 群 40 ± 17 であり, C 群, B 群, A 群の順に大であった (いずれも $p < 0.05$).

Figure 4 は 3 群の再分布状態をその程度と拡がりについて定量評価し検討したものである。

再分布の程度を示す再分布比は A 群 0.78 ± 0.17 ,

B 群 0.49 ± 0.09 , C 群 0.30 ± 0.10 であり, 拡がりを示す再分布指数は A 群 5.74 ± 1.93 , B 群 1.26 ± 0.19 , C 群 0.56 ± 0.26 であった。いずれの指標でも A 群, B 群, C 群の順に大であった ($p < 0.05$).

以上から, 本研究で用いた梗塞量ならびに再分布の定量的評価は視覚的判定と良く一致し, 妥当なものであるといえる。

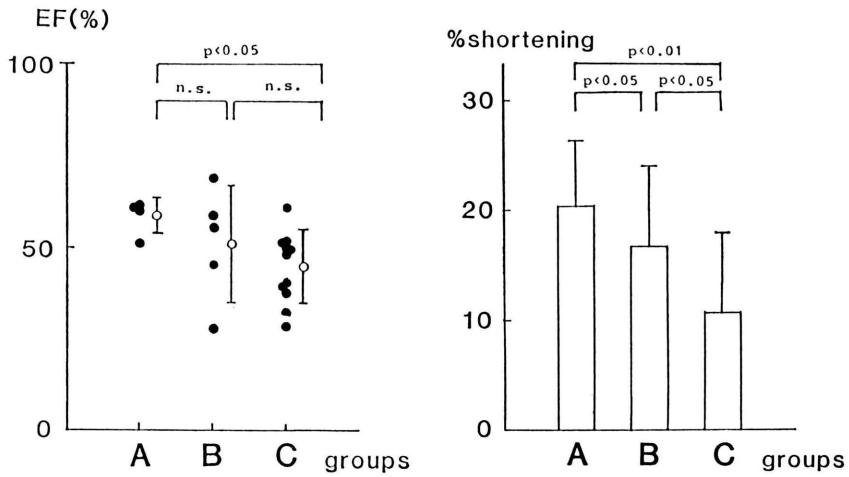


Fig. 5 Relation of ejection fraction (EF) and % shortening in 3 groups.

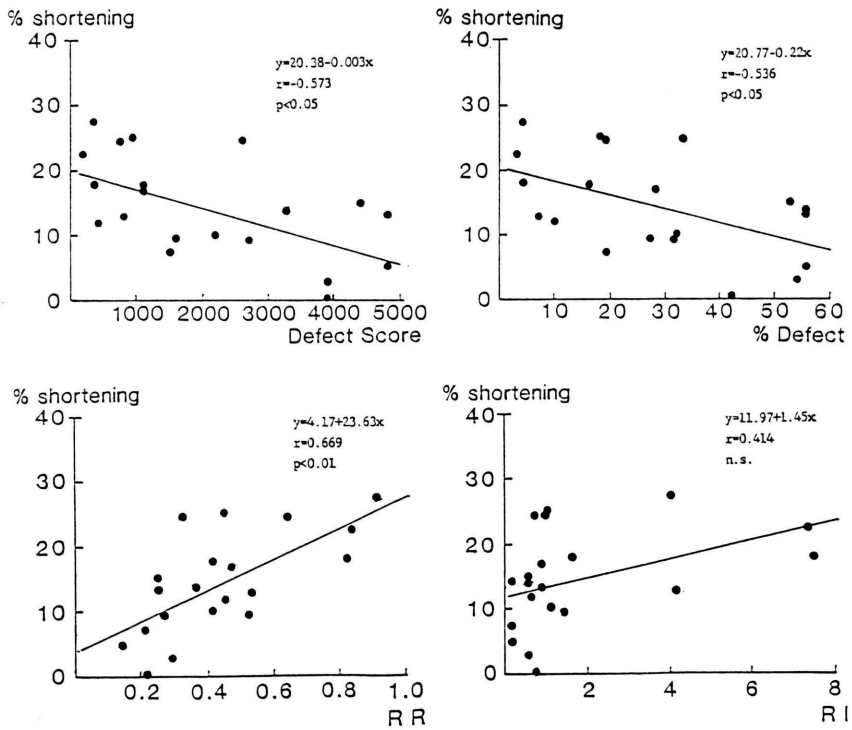


Fig. 6 Relationship between % shortening and defect score, % defect, redistribution ratio (RR) and redistribution index (RI).

3. 梗塞部位, 再分布部位の大きさと左室駆出率ならびに局所壁運動機能

視覚的に分類した3群の左室駆出率と左室局所壁運動機能を検討したのが Fig. 5 である。

左室造影像から求めた左室駆出率についてみると A 群 $59 \pm 5\%$, B 群 $51 \pm 16\%$, C 群 $45 \pm 9\%$ であり, A 群と C 群の間には有意の差 ($p < 0.05$) が認められたが, 他の群間には有意差は認められなかった。

SPECT 像から求められた梗塞部位に対応する A 群の segment 数は 15 で, これらのすべての領域に再分布がみられた。B 群では 43 segment のうち多くの領域で再分布がみられ, 再分布が認められなかった領域は少なかった。また C 群では 92 segment のうち 61 segment で再分布がみられたが, 66 segment では再分布がなかった。これら 3 群における % shortening は, A 群 $20 \pm 6\%$, B 群 $16 \pm 8\%$, C 群 $11 \pm 8\%$ であった。A 群と B 群の間に有意の差が認められ ($p < 0.05$), また A 群ならびに B 群はいずれも C 群より大であった (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$)。

左室全体の機能としての駆出率には A 群と C 群の間に有意差が認められ, 局所壁運動機能は再分布が多くみられた群でより良好であった。

4. 局所壁運動機能と定量評価の各指標との関連

Figure 6 は観血的方法により求めた % shortening と非観血的に求めた定量評価の各指標との間の関連をみたものである。

梗塞量の指標として求めた defect score ならびに % defect はいずれも % shortening と逆相関を示し, それぞれ $y = 20.38 - 0.003x$ ($r = -0.573$, $p < 0.05$), $y = 20.77 - 0.22x$ ($r = -0.536$, $p < 0.05$) で示される関係にあった。また再分布の拡がりを示す再分布指数 (RI) と % shortening との間には一定の傾向はみられなかったが, 再分布の程度を表す指標分布比 (RR) は % shortening と $y = 4.17 + 23.63x$ ($r = 0.669$, $p < 0.01$) で示される正の相関関係にあった。

それゆえ, 梗塞量の指標 defect score と % defect,

ならびに再分布の指標である再分布比 (RR) は局所壁運動機能を反映していると言っていることができる。

IV. 考案

運動負荷 TI-201 心筋シンチはこれまで梗塞部位や虚血部位の判定に用いられ, 梗塞部位では負荷直後, 再分布時ともに陰影欠損がみられ, 梗塞に至らない虚血部位では再分布時に陰影欠損が縮小するといわれてきた。このことが梗塞部位と虚血部位の大きな鑑別点であった¹²⁾。しかし近年, 梗塞領域と考えられる中にも再分布層が存在することが示され^{13,14)}, その再分布部位は梗塞領域に残存した生存心筋を表すものといわれている。それゆえ, 再分布が認められる梗塞部位に対して A-C bypass 手術や経皮経管冠動脈形成術 (PTCA) を行うことは残存した心筋を虚血から救済するうえで理にかなった方法といえる^{1,3)}。

従来, 心筋梗塞領域の再分布の評価には planar 像からの視覚的判定法, ROI 法, あるいは circumferential profile curve 解析による定量法が行われてきたが, いずれもいくつかの問題点を含んでいた¹⁻⁶⁾。例えば視覚的判定法では客観性に欠け, ROI 法や circumferential profile curve 解析法では心筋の詳細な検討が難しかった。一方, それらの問題を解決する方法としてわれわれは TI-201 心筋 SPECT 像から得られる三次元的病変の拡がり梗塞領域図と, 再分布領域図とに分けて表示する定量評価法を報告してきた^{7,8)}。本研究では心筋の viability を評価するために再分布のみられない梗塞部, 再分布のみられる梗塞部, ならびに梗塞周囲の再分布を一つの画面上に梗塞領域再分布図として表示する方法を考察し, その方法の信頼性を観血的検査から得られた局所壁運動と比較することにより検討した。

われわれが考察した梗塞領域再分布図では, Fig. 1-c および Fig. 2 に示すように, 梗塞領域の中にも再分布が認められる部位と認められない部位があり, 再分布がない部位は虚血領域のほぼ中心に存在し, 再分布がある部位は梗塞周囲の再分布領域と接していた。これは Gallagher らの実験

結果と一致する所見で、理にかなったものである¹⁵⁾。また、本研究で求めた定量的指標をこれまで報告されている視覚的判定による方法と比較検討してみると、再分布の定量的指標である再分布比、再分布指数は視覚的判定と良く一致し、梗塞量の定量的指標である defect score, % defect も視覚的判定と一致するものであった。一方、左室全体の機能を示す左室駆出率では A 群と C 群との間に有意の差が認められ、局所壁運動を表す % shortening は梗塞量が少ないほど、また再分布が多いほど良好であった。これらの成績はこれまでの報告にみられるように、再分布がある場合は梗塞領域は狭く局所壁運動機能の障害程度は軽いことを意味するもので、再分布のある梗塞領域、ならびに梗塞周囲の再分布領域を識別するうえでの梗塞領域再分布図の妥当性を示唆するものであろう。

しかし、本研究では梗塞領域再分布図から得られたデータを安静時の左室局所壁運動所見と対比したにすぎず、心筋の生存能をどの程度反映しているかは不明であり、その解明は今後の課題でもある。

V. 結 語

健常者 10 例、心筋梗塞患者 20 例に運動負荷 TI-201 心筋シンチ SPECT を施行し、その画像を梗塞領域再分布図として一画面上に表示する方法を考案作製した。それによると、

1) 心筋梗塞患者の左室心筋は再分布のない梗塞巣、再分布がある梗塞領域、梗塞周辺の再分布領域の三つの領域に分けて表示され、再分布領域は梗塞巣を取り囲むように存在した。

2) 梗塞領域再分布図から梗塞量の定量指標として求めた defect score, % defect, ならびに再分布の定量指標として得た再分布比 (RR) や再分布指数 (RI) は再分布に関する planar 像の再分布に関する視覚的判定結果とほぼ一致した。

3) defect score と % defect は局所壁運動機能を表す % shortening と逆相関を示し、RI は % shortening と良い正相関関係にあった。

以上から、本研究で考案作製した梗塞領域再分布図は心筋の viability の定量評価に有用と思われる。

稿を終るにあたり、ご指導・ご校閲を賜った小野寺庚午教授、終始ご指導いただいた三国谷淳講師、ならびにご協力くださった沢井通彦、丹野恒明、村山晋、西沢一治の諸先生に厚く感謝します。

文 献

- 1) 菅野和治, 斉藤宗靖, 住吉徹哉, 他: 運動負荷 ²⁰¹Tl 心筋シンチグラムにおける梗塞部位の再分布. 呼吸と循環 **32**: 925-930, 1984
- 2) 斉藤宗靖, 住吉徹哉, 石川賢二, 他: 梗塞後狭心症における梗塞部位虚血の役割. 心臓 **16**: 1115-1124, 1984
- 3) 久保 博, 酒井雅司, 矢野仁雄, 他: 心筋梗塞領域に対する大動脈・冠動脈バイパス術の適応性: 負荷 ²⁰¹Tl 心筋イメージングによる評価. J Cardiogr **14**: 223-235, 1984
- 4) Massie BM, Wisneski JA, Inoue I, et al: Detection and quantification of previous myocardial infarction by exercise-redistribution tomographic thallium-201 scintigraphy. Am J Cardiol **53**: 1244-1249, 1984
- 5) 玉木長良, 児玉秋生, 米倉義晴, 他: 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. J Cardiogr **15**: 1-11, 1985
- 6) 西村恒彦, 植原敏男, 林田孝平, 他: 運動負荷心筋スキャンによる梗塞部位再分布に関する検討——臨床所見, 心電図, 心血行動態との対比を中心として——. 核医学 **24**: 1343-1350, 1987
- 7) 堰合恭弘, 三国谷淳, 沢井通彦, 他: ²⁰¹Tl 心筋シンチ SPECT 像による心筋梗塞領域の非観血的定量評価——infarction map (梗塞領域図) による——. 弘前医学 **37**: 1021-1028, 1985
- 8) 沢井通彦, 堰合恭弘, 村山 晋, 他: 心筋梗塞患者における運動負荷 TI-201 心筋 SPECT 像の検討. 動態核医学 **1**: 51-54, 1985
- 9) 堰合恭弘, 沢井通彦, 村山 晋, 他: ²⁰¹Tl 心筋 SPECT による灌流領域図と心筋梗塞部位の自動診断. 核医学 **25**: 293-300, 1988
- 10) Greene DG, Carlesle R, Grant C, et al: Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. Circulation **35**: 61-69, 1967
- 11) Gelberg HJ, Brundage BH, Glanz S, et al: Quantitative left ventricular wall motion analysis: A comparison of area, chord and radial methods. Circulation **59**: 991-1000, 1979
- 12) Pohost GM, Zir LM, Moore RH, et al: Differentia-

- tion of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. *Circulation* **55**: 294-302, 1977
- 13) Verani MS, Jhigran S, Attar M, et al: Poststress redistribution of Thallium-201 in patients with coronary artery disease, with and without prior myocardial infarction. *Am J Cardiol* **43**: 1114-1122, 1979
- 14) Ritchie JL, Albro PC, Caldwell JH, et al: Thallium-201 myocardial imaging: a comparison of the redistribution and rest image. *J Nucl Med* **20**: 447-483, 1979
- 15) Gallagher KP, Gerren RA, Ning XH, et al: The functional border zone in conscious dogs. *Circulation* **76**: 929-942, 1987

Summary

Quantitative Estimation of Viable Myocardium in the Infarcted Zone by Infarct-Redistribution Map from Images of Exercise Thallium-201 Emission Computed Tomography

Yasuhiro SEKIAI

The Second Department of Internal Medicine, Hirosaki University School of Medicine, Hirosaki

To evaluate, quantitatively, the viable myocardium in the infarcted zone, we invented the infarct-redistribution map which is produced from images of exercise thallium-201 emission computed tomography performed on 10 healthy subjects and 20 patients with myocardial infarction. The map displayed a left ventricle in which the infarcted area both with and without redistribution, the redistribution area without infarction, and normal perfusion area were shown separated in same screen. In these circumstances, the nonredistribution infarct lesion was found as being surrounded by the redistribution area. Indices of infarct and redistribution extent (defect score, % defect, redistribution ratio (RR) and redistribution index (RI)), were induced from the map and were used for quantitative analysis of the redistribution area and

as the basis for comparative discussion regarding regional wall motion of the left ventricle. The quantitative indices of defect score, % defect, RR and RI were consistent with the visual assessment of planar images in detecting the extent of redistribution. Furthermore, defect score and % defect had an inverted linear relationship with % shortening ($r = -0.573$; $p < 0.05$, $r = -0.536$; $p < 0.05$, respectively), and RI had a good linear relationship with % shortening ($r = 0.669$; $p < 0.01$).

We conclude that the infarct-redistribution map accurately reflects the myocardial viability and therefore may be useful for quantitative estimation of viable myocardium in the infarcted zone.

Key words: Infarct-redistribution map, Myocardial viability, Myocardial infarction, Thallium-201 myocardial SPECT.