

Single photon emission
コンピューター断層法
(SPECT)を使用した心筋断
層像による梗塞診断：視覚
的診断と定量的診断の比較

Diagnosis of myocardial
infarction using single
photon emission com-
puted tomography: Com-
parison between visual
and quantitative diag-
nosis

植原 敏勇
西村 恒彦
林田 孝平
小塚 隆弘

Toshiisa UEHARA
Tsunehiko NISHIMURA
Kohei HAYASHIDA
Takahiro KOZUKA

Summary

For diagnosing myocardial infarction by myocardial scintigraphy using $^{201}\text{TlCl}$, the following two items were compared: 1) The diagnostic accuracy of visual evaluation of myocardial planar images versus that of single photon emission computed tomography (SPECT) images. 2) The diagnostic accuracy of qualitative and quantitative evaluations of SPECT images.

The planar and SPECT methods were performed for 81 subjects consisting of 41 patients having myocardial infarction and 40 normal persons. Receiver operator characteristic (ROC) analysis, which is most objective in evaluation of visual diagnosis, was also used. To analyze quantitative diagnosis by ROC analysis, the normal range of circumferential profile analysis of myocardial short-axial tomography was determined by assessing five step divisions (less than 1SD, 1-1.7 SD, 1.7-2.3 SD, 2.3-3 SD, and more than 3 SD) from 10 normal cases.

Four physicians and three laboratory technicians familiar with myocardial images diagnosed the myocardial planar images and SPECT images individually. The results were analyzed and the ROC curves were constructed. The results indicated that image diagnosis by SPECT was superior to that by the visual planar method for all persons. The physicians who had more experience in diagnosing myocardial images made more accurate diagnosis. However, quantitative SPECT image diagnosis was superior to visual SPECT image diagnosis.

Thus, with the input of data of the normal range of quantitative SPECT image diagnosis into the computer, the prospects of accurate computer assessments of myocardial infarctions were posed. Furthermore, an area of low myocardial perfusion, less than 2 standard deviations of the normal range, showed the degree and extent of infarction, which facilitated pinpointing the site, extent and degree of the myocardial infarction in a three-dimensional concept, and the location of the corresponding coronary artery lesion, as well.

国立循環器病センター 放射線診療部
吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)

Department of Radiology, National Cardiovascular
Center, Fujishirodai 5-7-1, Suita 565

Received for publication January 17, 1984 (Ref. No. 26-14)

Key words

SPECT $^{201}\text{TlCl}$ myocardial scintigraphy
cardiac infarction ROC analysis

Circumferential quantitative profile analysis Myo-

緒 言

$^{201}\text{TlCl}$ を使用した心筋シンチグラフィは、心筋血流分布とその心筋の viability を直接視覚的に判定できることから、心筋虚血、梗塞の診断に汎用されている。しかも、通常的心筋 planar image に比較して、single photon emission computed tomography (SPECT) を使用した心筋 ECT image は、断層像であるため、肺、肝、胃など他臓器との重なり、及び心筋自体の重なりも避けることができ、心筋局所の viability の診断にはより優れていると考えられる。

今回の報告では、1) 心筋 planar image と心筋 ECT image の、心筋梗塞に対する視覚的診断精度の比較、2) SPECT を使用した心筋 ECT image の、心筋梗塞に対する視覚的診断と定量的診断の診断精度について検討した。

対 象

対象は心筋梗塞 41 例、正常例 40 例の計 81 例である。全例に心電図、心エコー図検査を施行し、確診の困難なものを含めた 58 例には左室造影、冠動脈造影を施行し、全例確定診断がなされている。弁膜疾患、心筋症、狭心症例は除外した。

方 法

1. 心筋 planar および ECT image のデータ収集

これらのデータの収集および検査の手順は全例同じで、3~4 mCi の $^{201}\text{TlCl}$ 安静時静注後約 10 分より、正面、左前斜位 (LAO) 30°, 45°, 60°, 左側面の 5 方向から心筋 planar image を撮像し、引続き、心筋 ECT image を撮像した。心筋 ECT 像には島津製対向型回転式ガンマカメラを用い、1 方向 30 秒で 10° 毎に回転させ、180° 回転

で合計 36 方向からデータ収集を行い、これより心筋の体軸横断断層像を作成、さらに心筋の長軸断層像と短軸断層像を再構成した¹⁾。

2. 心筋 planar image と ECT image の視覚的診断の比較

視覚的診断のように検者の主観が入る診断の精度評価に対しては、ROC (receiver operating characteristic) 解析が最も適しておりこれを採用した²⁻⁵⁾。ROC 解析では検者の目を一種の検出器とみなし、半定量的に 5 段階評価を用いて ROC カーブを作成し、理論的に true positive と true negative が正規分布を形成すると仮定し、ROC カーブの精度を表わす指標として ROC accuracy index (d'e 値) を求め、これを診断精度の指標とした (Fig. 1):

視覚的診断に関しては、心筋 planar image と心筋 ECT image について別々に、放射線科医師 4 人と放射線科技師 3 人の計 7 人によって、個別に診断を行った。いずれも診断にさいしては、何ら臨床的データを知らされず、1 症例の読影時間を約 1 分とし、全例に 5 段階評価 (1: almost definitely normal, 2: probably normal, 3: possibly abnormal, 4: probably abnormal, 5: almost definitely abnormal) のうち一つを選択し、3, 4, 5 についてはその部位も記入させた。これに基づいて ROC カーブを求めて d'e を算出し、両者の視覚的診断の診断精度を比較した。

3. 心筋 ECT image の視覚的診断と定量的診断の比較

これに関しても ROC 解析を応用した。ここで定量的診断を ROC 解析する方法として、我々は以下の方法を用いた。まず正常例 10 例を別を選び、心筋短軸断層像のうち、心尖部から心基部に向かって 1/4, 1/2, 3/4, の各部位に相当するスライスを全例で選び、それぞれのスライスについ

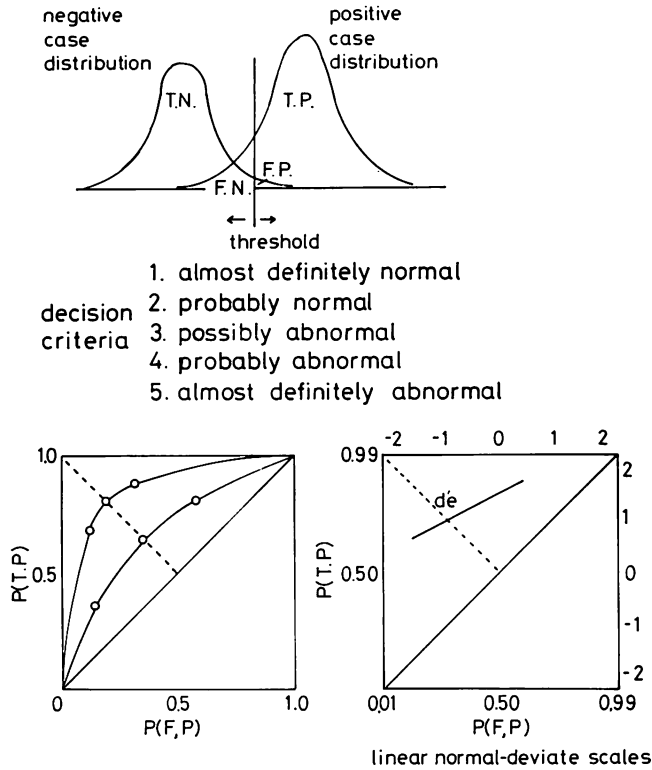


Fig. 1. ROC analysis.

Sensitivity and specificity of diagnostic test differ according to the arbitrary selection of a decision threshold. Five pairs of TPF and FPF can be obtained by adopting a five-step decision threshold. The ROC curve can be obtained by plotting these pairs on a graph. The ROC accuracy index (d'e) can be provided by using linear normal-deviate scales.

TPF=true positive fraction; FPF=false positive fraction; ROC=receiver operating characteristic.

て circumferential profile analysis を行い、各部位に関して平均と標準偏差 (SD) を算出した (Fig. 2)。このようにして正常例における正常範囲を決定し、1 SD 以内を decision criteria 1、1~1.7 SD の範囲を decision criteria 2、1.7~2.3 SD の範囲を 3、2.3~3 SD の範囲を 4、3 SD 以上を 5 とし、5 段階区分を行った (Fig. 3)。次に、今回の対象 81 例について、各々の短軸断層像の心尖より 1/4、1/2、3/4 のスライスの circumferential profile analysis を行い、正常曲線にあてはめて 5 段階評価を行うことにより、定量的診断を ROC 解析に応用した。

成 績

7 人の検者による視覚的診断を ROC 解析したグラフと、上述した方法によって定量的診断を ROC 解析したグラフを Fig. 4 に示す。破線は心筋 ECT 像による診断、実線は心筋 planar 像による診断を示す。

Fig. 4-A の I は ²⁰¹TlCl の心筋像の読影に精通し、心筋 ECT 像も日常見慣れている RI 検査室勤務の医師の診断結果である。心筋 ECT 像、心筋 planar 像ともに、d'e 値は高く、優れた診断精度を示すが、ECT 診断の方がやや診断精度は優

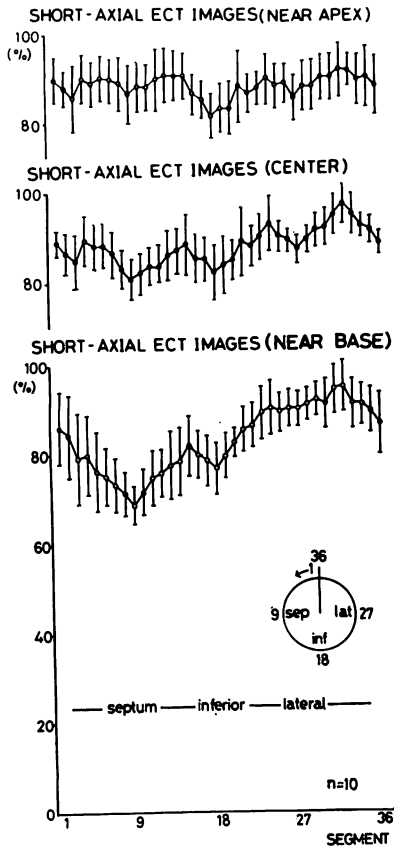


Fig. 2. Normal range of short axial ECT images.

Short-axial ECT images of 10 normal cases are analyzed by quantitative circumferential profile analysis. The average and 1SD are shown on a graph.

れていた。II は同様に、²⁰¹TlCl の心筋像の読影には精通しているが、日常心筋 ECT 像は見慣れていない RI 検査室勤務医の成績である。d'e は前者に次ぎ優れた値を示し、心筋 ECT 像による診断が planar 像による診断より優れていた。III は週に 2 度 RI 検査室に勤務している医師の診断結果であるが、やはり心筋 ECT 像による診断が心筋 planar 像による診断に比し優れていた。IV は放射線科レジデントの診断結果である。心筋 planar 像による診断はやや劣るが、日常見慣れていないにもかかわらず、ECT 診断では最も優

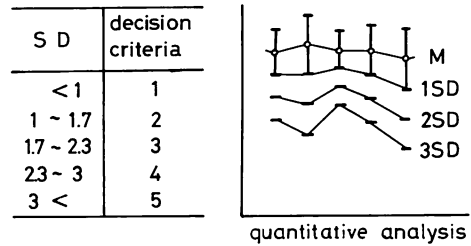


Fig. 3. ROC analysis of circumferential quantitative analysis in ECT short-axial myocardial images.

ROC analysis is applied to circumferential quantitative analysis in ECT short-axial myocardial images by the five step decision criteria by SD.

SD=standard deviation.

た d'e 値を示した。

Fig. 4-B の Y.Y. は日常心筋 ECT 全般を担当している検査技師の成績であるが、心筋 ECT, planar 像による診断のいずれも比較的優れた d'e を示した。特に ECT 診断は planar image 診断より優れた d'e を示した。M.H. は RI 検査部門の主任技師であるが、やはり ECT 診断は planar image 診断より優れていた。S.M. は RI in vitro 専門の検査技師であり、心筋像を日常見していない全くの素人である。このため心筋 ECT, planar image 診断ともに低い d'e 値を呈したが、前者の方が明らかに優れていた。最後の右下のグラフは、心筋 ECT 像の定量診断を ROC 解析に応用した時のグラフであり、d'e は先の 7 人の検者による視覚的診断の d'e に比しより良好な値を得た。

考 察

²⁰¹TlCl による心筋シンチグラフィの診断精度に関しては、既に心筋 planar image と ECT image の優劣が論じられている⁶⁻⁹⁾。その多くは視覚的診断に関してであり、sensitivity と specificity を比較することにより行われている。我々もその比較を行ってきたが、視覚的診断の診断基準を変えると sensitivity, specificity が変化し、一概にどちらが優れているとは言い難い。例

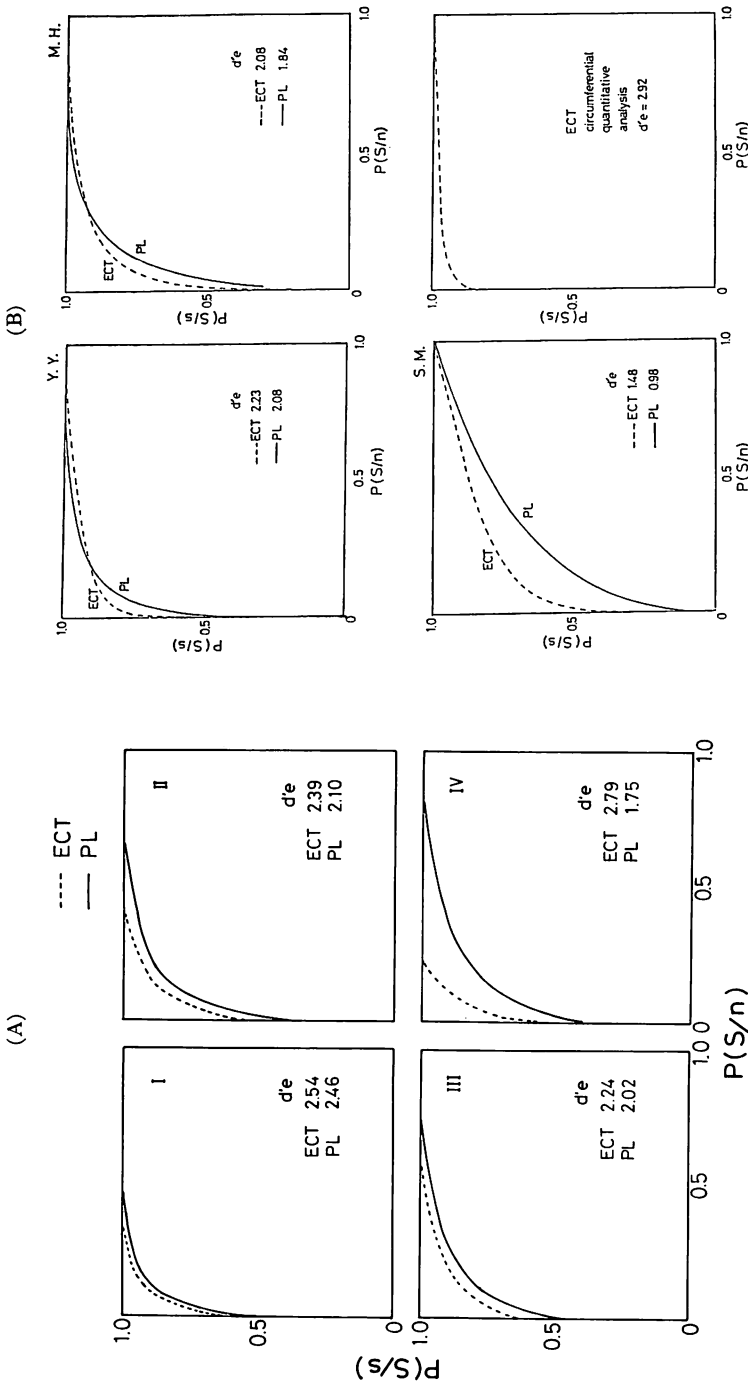


Fig. 4. Comparison of disease detectability between ECT and the planar images by ROC analysis.

A) I: diagnosis by the radiologist who is familiar to the reading of myocardial ECT and planar images; II: diagnosis by the radiologist who is familiar to the reading of myocardial planar images but not to that of myocardial ECT images; III: diagnosis by the radiologist who sometimes reads only myocardial planar images; IV: diagnosis by the resident of radiology who sometimes reads only myocardial planar images. P (S/s): true positive fraction; P (S/n): false positive fraction.

B) Y. Y.: diagnosis by the technologist who is familiar with the myocardial planar and ECT images; M.H.: diagnosis by the technologist who is also familiar to the myocardial planar and ECT images; S.M.: diagnosis by the technologist who is not familiar to the myocardial image; ECT circumferential quantitative analysis: diagnosis using circumferential quantitative analysis of myocardial ECT images.

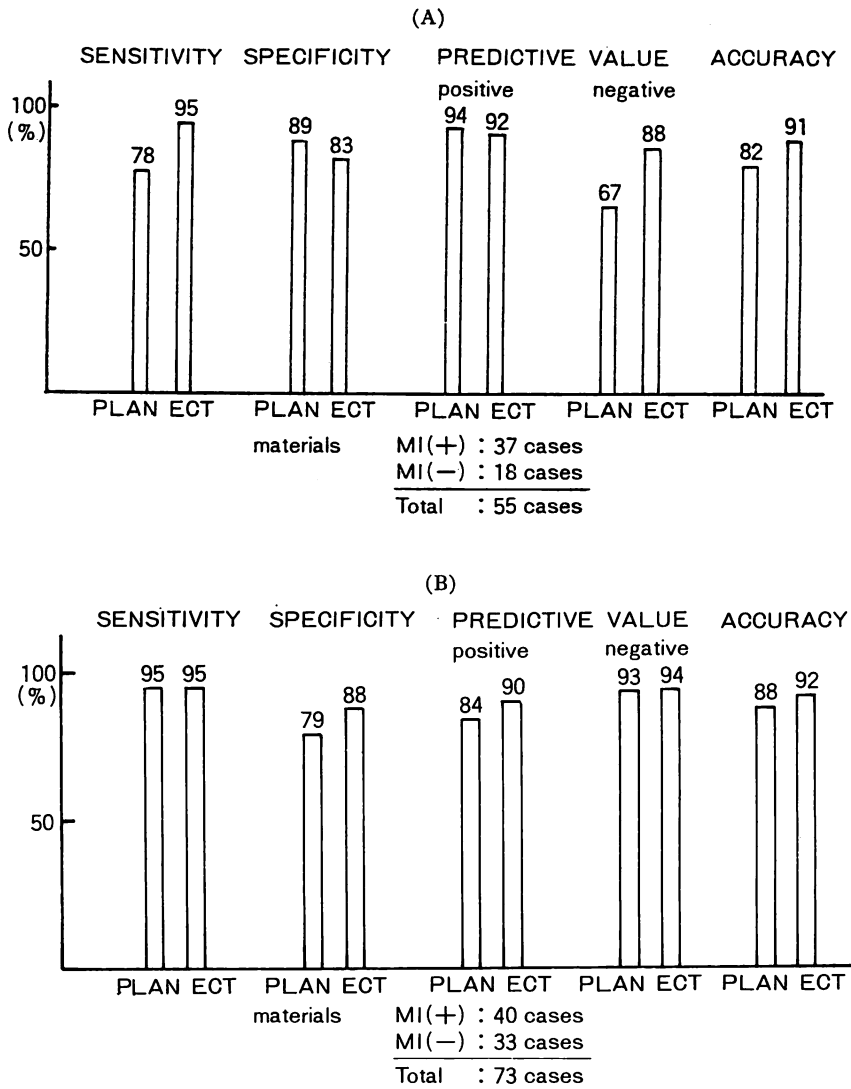


Fig. 5. Comparison of sensitivity, specificity, predictive value and accuracy between myocardial planar and ECT images in the detection of myocardial infarction.

A: Myocardial ECT images have better sensitivity but lesser specificity compared with the myocardial planar images in a subjective decision criterion. PLAN=myocardial planar image; ECT=myocardial ECT image.

B: Myocardial ECT images have the similar sensitivity and better specificity compared to the myocardial planar images in another subjective decision criteria.

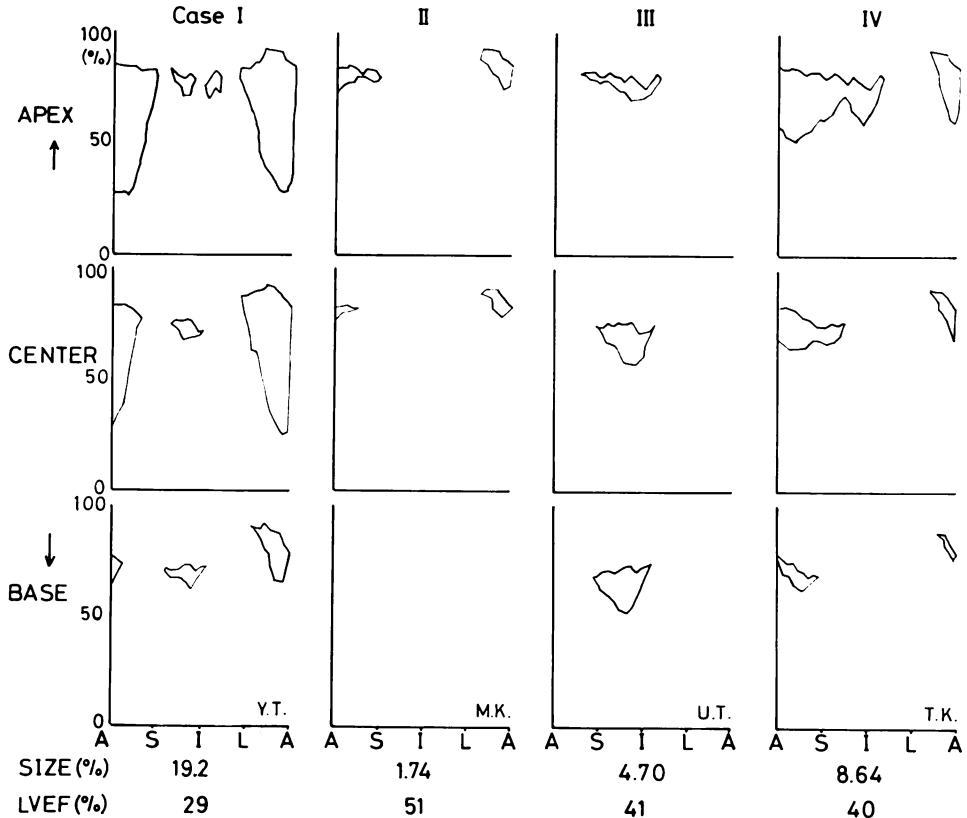


Fig. 6. Infarction maps constructed from quantitative circumferential analysis of ECT short-axial images.

The site, degree and extension of myocardial infarction can be estimated three-dimensionally and the location of the corresponding coronary artery lesion can be assessed easily.

えば、Fig. 5-A に示すように、ある時期の 55 例につき集計を行った結果は、ECT 診断は planar 診断に比し sensitivity は優れているが、specificity はやや劣るという結果であった。一方、その後 5 ヶ月間に新たに施行した 73 例の集計を行ったさい、planar image 診断を行うにあたって微細な病変を意識し、診断基準を厳密にした。その結果、planar 診断の sensitivity は高くなり、ECT 診断とほぼ同じになったが、false positive が増し、specificity は ECT 診断よりも低くなった (Fig. 5-B)。いずれの場合も accuracy は ECT 診断が優れており、これにより ECT 診断は

planar image 診断より優れていると言えるが、sensitivity, specificity には検者の主観が診断基準に大きく関与しており、客観性に乏しい。

その点を考慮し、視覚的診断に対してより客観的な評価を行うために、我々は人間の目を 1 種の検出器と見なし、5 段階評価による半定量的解析法として ROC 解析を行った。その結果、心筋シンチグラフィ読影の熟練者から素人まで、7 人の検者のいずれにおいても、前述したように、ECT 診断は planar image 診断より優れていることが判明した。また planar image 診断・ECT 診断ともに、日常の心筋像の読影の熟練度

に比例して $d'e$ が良い値を示した. 特に, 日常心筋 planar image 診断に精通しているが ECT image 診断を行ったことのない医師でさえ, ECT 診断の方が優れていたことと, いずれの検者においても ECT 診断と planar image 診断の $d'e$ がほぼ比例したことは, 心筋 planar image 診断の熟練度が, そのまま ECT 診断能にも反映されたと考えられた. ただ Fig. 4 の IV のように, planar image の診断能力は比較的低くても, ECT 診断は非常に優れるという者もいた. この者の ECT 診断の ROC カーブは, 他の者と比較して false positive 診断が非常に少ないという特徴がある. したがって ECT 診断では, 明確な病変以外は無視した方が成績がよくなると考えられた.

定量的診断の ROC 解析では, 定量的診断が視覚的診断に比し優れた $d'e$ 値を示した. これは, 正常心筋における正常パターンが必ずしも均一でなく, Fig. 2 のように濃淡が存在するため, 視覚的にどの部分ほどの程度の濃さが正常であるかを評価するのが困難なためと考えられた. ただ定量診断のさいには, 像の外縁を正確にとること, 中心点を正確にとることが非常に重要である. また全周を 36 等分割にて circumferential profile analysis を行うさい, 一部が低値の場合, 連続 3 ポイントが低い領域に下降した場合にのみ有意とし, 連続 2 ポイント以下は誤差として処理した.

このように定量的診断方法が最も優れた成績をおさめたことから, この正常範囲のデータをコンピューターに記憶させておけば, 心筋短軸断層像を再構成することにより, 心筋梗塞を自動解析することができ, 視覚的診断に加えてより精度の高い診断が可能である.

また正常範囲を正常の circumferential profile curve の 2 SD 以内と設定して, この範囲より低い値を示す部分を梗塞部とし, RI uptake の低下度とともに梗塞マップとして表わせれば, Fig. 6 のように, 一目で梗塞部位とその拡がりや程度を把握でき, 責任冠動脈病変の推定にも非常に役立つ.

つ. たとえば, 典型的な例として, Case I には前壁と後下壁に不連続な梗塞部があり, 前壁梗塞兼後下壁梗塞で, 特に前壁梗塞は範囲も大きく程度も高度であると推察される. この症例の左室残余機能を示す左室駆出率 (LVEF) は 29% であった. Case II は心尖部に近い前壁に限局した梗塞があり, 程度も軽度であると考えられる. この症例の LVEF は 51% であった. Case III は後下壁から中隔にかけて perfusion defect が存在するが, 前壁は intact である. 梗塞は中等度の大きさであり, この症例の LVEF は 41% であった. Case IV は心尖部から前壁にかけて perfusion defect が存在するが, 後下壁はほぼ intact である. 梗塞の範囲は広いが程度は中等度であり, この症例の LVEF は 40% であった.

以上より, 左前下行枝 (LAD) の病変は心尖部前壁を中心とし, 心基部前壁や下壁の心尖側約 1/3 まで広がることがわかった. 一方, 右冠動脈が責任病変である後下壁梗塞では, 心基部後壁を中心に心尖側に広がる事が判明した.

結 論

心筋梗塞の診断において, $^{201}\text{TlCl}$ による心筋シンチグラフィの planar image による診断と, ECT image による診断の診断精度を, ROC 解析を用いて比較した. 視覚的診断に関しては, すべての検者において planar image 診断より ECT 診断の方が優れていた.

ECT 診断の視覚的診断と定量的診断の比較では, 定量的診断の方がよい診断精度を示した. この定量的診断法を応用すれば, 心筋梗塞診断の自動解析が可能となり, 梗塞部位, 程度, 拡がりを目で見れる梗塞マップを作成でき, これを利用した責任冠動脈病変の推定が容易になった.

要 約

$^{201}\text{TlCl}$ を使用した心筋シンチグラフィによる心筋梗塞の診断に関して, 1) 従来の心筋 planar image による視覚的診断と, single photon

emission computerized tomography (SPECT) による心筋長軸・短軸断層像による視覚的診断の診断精度の比較, 2) SPECT による心筋断層像の視覚的診断と定量的診断の診断精度の比較, を行った. 対象は心筋梗塞 41 例, 正常 40 例の 81 例である. 方法には視覚的診断を最も客観的に評価することが可能である ROC 解析を用いた. 定量的診断を ROC 解析する方法としては, 正常例 10 例の心筋短軸断層像の circumferential profile analysis を用い, 正常範囲を作成し, 1 SD 以内, 1~1.7 SD, 1.7~2.3 SD, 2.3~3 SD, 3 SD 以上の 5 段階区分を決定した.

心筋シンチ像読影の熟練者から素人までの 7 人に関して, 心筋 planar image と ECT image の読影を個別に行い, それぞれの ROC カーブを作成した. この結果, 7 人の検者全員において, 視覚的 ECT image 診断が視覚的 planar image 診断より優れており, 日常の心筋シンチ像の読影の熟練度にしたがって, 順により成績がえられた. 定量的診断の ROC 解析による診断精度は, 7 人の検者の視覚的診断の誰よりも優れた診断精度を示した. したがって, 定量的診断の正常範囲のデータをコンピューターに入力することにより, 心筋梗塞診断を精度高く自動解析できる可能性が示唆された. また, 正常範囲の 2 SD 以下を心筋灌流の低下域として, その範囲を図示した梗

塞マップとして表示すれば, 梗塞部位, 範囲, 拡がりを立体的に把握でき, 責任冠動脈の推定にも役立つことが示唆された.

文 献

- 1) Borello JA, Clinthorne NH, Rogers WL, Thrall JH, Keyes JW Jr: Oblique angle tomography: A restructuring algorithm for transaxial tomographic data. *J. Nucl Med* **22**: 471-473, 1981
- 2) Sweats JA: ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. *Invest Radiol* **14**: 109-121, 1979
- 3) Metz CE: Basic principles of ROC analysis. *Seminars in Nuclear Medicine*. **8**: 283-298, 1978
- 4) 内田 勝, 稲津 博: 放射線像の評価. *日本放射線技術誌* **34**: 556-586, 1979
- 5) 山下一也, 若松孝司: 信号検出理論の X 線撮影系への適用. *日本放射線技術誌* **33**: 111-117, 1977
- 6) 植原敏男: 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**: 61-64, 1982
- 7) 玉木長良: ROC 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
- 8) Uehara T, Nishimura T, Hayashida K, Kozuka T: Myocardial scintigraphy using emission computed tomography (studies by myocardial phantom and clinical cases). *Proc Third World Cong Nucl Med Biol*. **4**: 3067-3070, 1982
- 9) Jaszczak 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