

Single photon emission computed tomographyによる心筋血流シンチグラフィの定量的評価に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 多田, 明 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9028

Single photon emission computed tomography による 心筋血流シンチグラフィの定量的評価に関する研究

金沢大学医学部核医学教室 (主任: 久田欣一教授)

多 田 明

(昭和57年11月11日受付)

本論文の要旨の一部は第20回日本核医学会総会 (昭和55年10月, 前橋) 及び第45回日本循環器学会総会 (昭和56年3月, 東京) に於いて報告した。

Thallium-201 心筋スキャンは非侵襲的に心筋血流を視覚的に観察することができ、虚血性心疾患の発見と、冠血流の予備能を評価するのに優れた検査法である。しかしながら従来のガンマーカメラ像による撮影では、radioisotope (RI) の3次元分布を2次元画像に圧縮して観察する為に、像の重なりとコントラストの低下から小病変の検出、評価の再現性、定量的診断などに限界があった。最近 Single photon emission computed tomography (SPECT) 装置が開発され、心筋スキャンへの応用が期待されているが、今だにその臨床的有用性を検討した報告は少なく、更に SPECT による心筋断層像の定量的評価法に関する研究は報告されていない。本研究は、SPECT の装置としての性能をファントム実験より測定し、定量的評価の可能性について、RI 濃度と測定計数との直線性、心筋壁厚の測定計数に及ぼす影響を調べた。臨床例においては、客観的診断基準の作成の為に、circumferential profile 解析法を利用し、計数率の threshold を変化させて最も正確度の高い 70% を採用した。この診断基準を用いて SPECT 像と、従来のガンマーカメラ多方向像を比較検討した。SPECT の full width of half maximum (FWHM) は 2.0 cm で、感度は 5.82×10^4 カウント/ $\mu\text{Ci/ml}$ /秒であった。RI 濃度と測定計数との間には空中、水中で共に優れた直線相関が認められた。心筋ファントムでは、ガンマーカメラ像に比べコントラストが優れ、心内膜下梗塞も検出し得た。FWHM が 2.0 cm の装置において、正常心筋厚さの範囲内では、partial volume effect とコンプトン散乱の影響を受けるが、偏心ファントムで測定された計数と壁厚の変化の間には優れた直線相関が認められた。正常者 8 例、心筋梗塞以外の患者 14 例、心筋梗塞 42 例の合計 64 例の心筋 SPECT をガンマーカメラ多方向像と比較した。circumferential profile 法で threshold 70% を診断基準とした場合、最も正確度が高かった。receiver operating characteristic (ROC) 曲線による SPECT とガンマーカメラの比較では、常に SPECT の曲線が上位に位置していた。ガンマーカメラの検出感度は 74%、特異性は 95%、正確度は 81% であった。一方、SPECT の検出感度は 93%、特異性は 91%、正確度は 92% であり、検出感度と正確度に有意の向上が認められた。前壁梗塞群では下壁梗塞群に比べて SPECT による有意の検出感度の向上が認められた。病巣部のコントラストは SPECT で有意に高かった。前壁梗塞群では、SPECT 上の欠損角度と左室駆出率との間に有意の相関が認められた。

Key words single photon emission computed tomography, thallium-201, circumferential profile, myocardial perfusion imaging

Quantitative Assessment of the Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy with Single Photon Emission Computed Tomography.: Comparison with Gamma Camera Multiple Planar Imaging. Akira Tada, Department of Nuclear Medicine, (Director: Prof. K. Hisada, School of Medicine, Kanazawa University.

1975年 Lebowitz ら¹⁾の報告以来、カリウム(以下 K と略)の類似元素であるトリウム(以下 Tl と略)が心筋陽性描画核種として広く臨床に利用されている。Tl-201はサイクロトロンによって Tl-203より産生され、半減期 73 時間で、放射線エネルギー 135 keV(4%)、167 keV(12%)の γ 線と 80 keV の水銀 X 線を放出する。Tl⁺は K⁺と体内挙動を同じくし、Na⁺-K⁺ ATPase 系を介して正常心筋細胞内に摂取され、その分布は心筋血流と心筋細胞の viability を表わすことが知られている²⁾⁻⁴⁾。

Tl-201の臨床応用については多くの研究が述べているように、非侵襲的に心筋血流分布を観察することが出来、心筋梗塞など虚血性心疾患における心筋壊死の存在と部位、広がりの評価に優れた検査方法である。近年心筋梗塞の検出に留まらず、運動あるいは薬剤負荷中に Tl-201 を投与する負荷心筋スキヤンが行われるようになり、冠動脈疾患における心筋血流の予備能の評価法としての有用性が高まっている⁴⁾⁻⁸⁾。

しかしながら Tl-201 は静注された場合には心筋への摂取は 4-5%と低く^{4),9)}、肺や肝、腎などへも集積する為に、心筋/肺バックグランド比が高々 2 倍と低いことが Tl-201 心筋スキヤンの視覚的評価を困難にしている。更に従来のガンマーカメラによる撮影では、ラジオアイソトープ(以下 RI と略)の 3 次元的分布を 2 次元画像に圧縮して観察する為に、肺と心筋内 activity 或いは、心筋梗塞部と正常心筋内 activity の重なりが避けられなかった。これらの欠点を補う為に、バックグランド除去^{10),11)}や、多方向撮影¹²⁾などの工夫が行われてきたが、視覚的評価では診断基準の定量化と所見の再現性に問題があり、デジタル画像処理によっても、RI 集積の重なりは回避できない為に、RI の絶対量や、正常部と病巣部の集積比の定量的評価にも限界があり、その解決策として横断断層撮影が必要と考えられる。

RI の 3 次元分布を理解する為の横断断層撮影に関する研究は X 線 CT よりも古く、1963 年に、Kuhl ら¹³⁾によって始められ、その発展は遅々としていたが、X 線 CT 装置の発明と急速な普及、画像再構成理論の進歩に伴って single photon emission computed tomography (以下 SPECT と略)の開発が再び脚光を浴びてきている。

日常診療に利用しているテクネチウム-99m(以下 Tc-99m)と略)や Tl-201 を用いる SPECT の臨床応用は、主に脳スキヤンや脳循環について行われ¹⁴⁾⁻¹⁶⁾、体幹部、特に心筋についての報告は少ない¹⁷⁾⁻²⁰⁾。更に Tl-201 心筋 SPECT の定量的評価法について検討した研究は行われていない。

本研究においては、ファントム実験によって SPECT の性能評価と定量的性の検討を行うと共に、臨床例の定量的評価法として circumferential profile (以下 CFP と略)解析を利用して診断基準を作成し、診断精度について従来のガンマーカメラ多方向像(multiple planar images 以下 MPI と略)と比較検討し、一定の成果を得たのでここに報告する。

材料と方法

I 装置

用いた SPECT 装置は英国 J&P 社製のトモスキヤナー II である²¹⁾。本装置はスキヤナー型の全身用 SPECT であり、対向型シンチスキヤナーと患者用ベッド、及びコンソールから構成されている。

検出器は 4 インチ×2 インチの Na I 結晶に焦点距離 20 cm のコリメータを装着して使用した。コンソールは 1 対の波高分析器、マイクロコンピュータ (DEC PDP 11/03, 32 K)、2 個のフロッピーディスク、X 線フィルムへの撮影用カメラ、及びキーボードから構成されている。

検出器は体幹部検査の場合に 40 cm の直線スキヤンを行い、更に 6°ごとに回転し、直線スキヤンを 30 回繰り返す。得られた投影データはコンピュータでフィルター補正逆投影法により横断断層像に再構成される。再構成画像は 80×80 matrix であるが、補間法によって 160×160 matrix にて表示される。

Tl-201 心筋 SPECT 検査においては検出器間距離は 44 cm とし、スキヤンスピードと検査時間は 2.0 cm/秒、11.3 分/スライスに固定した。エネルギー設定は 60-90 keV とし、全ての症例で吸収補正プログラム²²⁾を使用した。

使用したガンマーカメラは米国 Searle 社製の LFOV であり、低エネルギー用平行型高分解能コリメータを装着して使用した。同時に、on-line で接続した核医学データ処理装置 scintiview を用い、画像処理とデータの記録を行った。

II 基礎的検討

1) 分解能と感度の測定

分解能測定は内径 1.0 mm 長さ 20 cm のプラスチックチューブに Tl-201 (濃度 1 mCi/ml) を満たし、これをスキヤン断面の中心部及びそれより上方へ 2.5 cm, 5.0 cm, 10 cm, 15 cm, 右側へも同様に移動させて同一の条件でスキヤンし、X 軸方向及び Y 軸方向の半値巾 (FWHM) を測定した。

感度の測定は、直径 18 cm, 高さ 11 cm の円柱体に Tl-201 1.48 mCi を含む水 2800 ml を注入し、11.3 分/スライスのスピードでデータを収集し計数を測定し

た。

2) 放射能と計数の直線性の検討

絶対的 RI 濃度の変化と SPECT 画像上の計数の直線性について検討した。感度の測定に用いたと同じファントムを使用して Tl-201 注入後 257 時間までの間に 11 回スキャンした。Tl-201 の物理的半減期 73 時間により算出した濃度は、 $0.453 \mu\text{Ci/ml}$ から $0.046 \mu\text{Ci/ml}$ まで変化した。SPECT 画像上の計数は画像中心部における 20×20 matrix の関心領域 (以下 ROI と略) を設定し、これより 1 cm^2 (4 matrix に相当する) 当たりの計数を求めた。

吸収体での計数の直線性の検討の為に、 $17 \times 18 \text{ cm}$ 高さ 26 cm のプラスチック製の水槽内に水 6000 ml を満たし、この中に直径 11 cm 高さ 9 cm の円柱体ファントムを沈めて検討した。円柱体ファントムには水 800 ml と Tl-201 0.8 mCi を注入し、外部の水槽内にもバックグラウンドとして Tl-201 0.8 mCi を注入した。測定

は、3 時間後から 69 時間後までに 6 回行った。ROI により、中心部ファントムと周辺の水槽内の 1 cm^2 当たりの計数を測定した。

3) 心筋ファントムによる検討

貫壁性心筋梗塞と心内膜下梗塞の検出を SPECT と MPI で比較する為に図 1-A の心筋ファントムと、心筋壁の厚さの変化に対応する計数の変化を調べる為に図 1-B の偏心ファントムを作成した。貫壁性心筋梗塞として厚さ 20 mm 、巾 26 mm 、長さ 30 mm 、心内膜下梗塞は厚さ 10 mm 、巾 26 mm 、長さ 30 mm のプラスチックブロックを固定し、スキャンは各ブロックの中心部を通る断面で行った。

MPI では、コリメータ・ファントム間距離を 8 cm として、 30° ごとに回転し、 0° 、 30° 、 60° 、 90° の方向から撮影した。

偏心ファントムでは、スキャンは上部より 3 cm 下で行い、この部位での厚さは 0 mm から 23 mm までであ

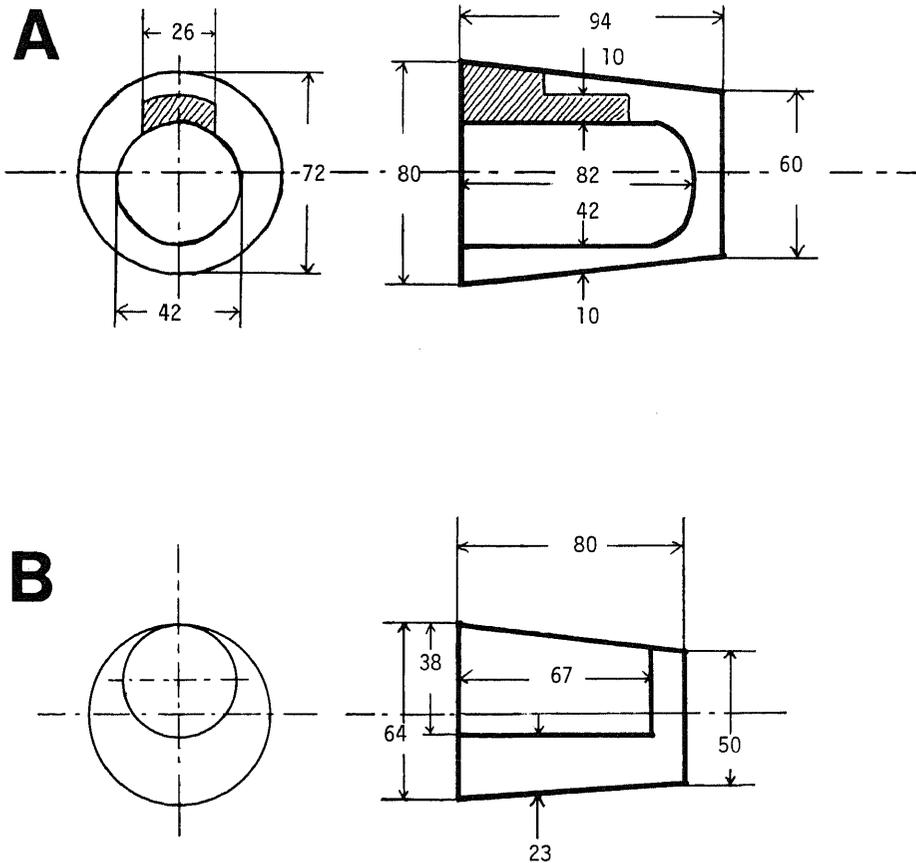


Fig. 1. (A) Myocardial phantom, total defect with $26 \times 30 \times 20 \text{ mm}$ and subendocardial partial defect with $26 \times 20 \times 10 \text{ mm}$ were made by plastic block. (B) Off-axis phantom for investigation of correlation between wall thickness and SPECT counts.

った。

III 臨床的検討

1) 対象

対象は正常者 8 例, 心筋梗塞以外の心疾患 14 例, 貫壁性心筋梗塞 42 例の合計 64 例である。正常者とは, 甲状腺腫或いは悪性腫瘍の検査目的に Tl-201 スキャンを施行した際に, 心筋部も撮影範囲に含めた症例で, 臨床所見, 心電図所見, 臨床経過などにより最終的に心疾患が否定された 8 例 (男性 3 例, 女性 5 例, 平均年齢 54 歳) である。心筋梗塞以外の心疾患患者は, 不整脈, 高血圧, 弁膜疾患, 労作性狭心症の患者で, 病歴, 負荷心電図, 心エコー図, 冠動脈造影などより心筋梗塞の合併が否定された 14 例 (男性 8 例, 女性 6 例, 平均年齢 63 歳) である。心筋梗塞 42 例はすべて発症時点における臨床症状, 酵素測定, 心電図所見によって診断の得られた症例 (男性 35 例, 女性 7 例, 平均年齢 62 歳) である。心電図所見より梗塞部位を前壁梗塞群 (前壁, 前壁中隔, 前壁心尖, 前側壁, 側壁梗塞) と下壁梗塞群 (下壁, 下後壁, 後側壁, 後壁梗塞) に分類すると, 前壁群 29 例, 下壁群 13 例であった。発症から心筋スキャンまでの期間は, 1 カ月以内のものが 14 例, 1 年以内が 9 例, 1 年以上経過しているものが 19 例であった。

2) 方法

安静時に Tl-201 を 2 ないし 3 mCi 静注し, 10 分後よりガンマーカメラにて前面, 左前斜位 30°, 左前斜位 60°, 左側面の 4 方向から撮影し, 同時にフロッピーディスクにも記録した。MPI 撮影後直ちに SPECT を行った。撮影部位は心尖部より 1 cm 上方 (AP+1 と略) より始め, 1 cm ごとに上方に移動し, 3 ないし 5 スライスを撮影した。

MPI の評価は X 線フィルムに撮影されたアナログ像で視覚的に行った。スキャン所見は, 明らかな欠損を認めた場合を陽性, 欠損様の異常所見はあるが明らかな欠損とは判定できないものを疑陽性, 全く異常を認めないものを正常と分類した。更に, 各方向ごとに欠損の明らかな場合に 1.0, 異常ではあるが欠損とは言えない場合には 0.5, 正常な場合には 0 としてスコア化し¹²⁾, 4 方向のスコアの合計点を求めた。デジタルデータからは, ROI 法を用い心筋梗塞部と正常心筋部の計数比を測定した。

SPECT の評価では視覚的には 40% バックグラウンド除去白黒表示と, 8 色のカラー表示で行い, 定量的評価法としては, CFP を利用した。CFP は左心室部分の全 matrix の計数を ROI 法により測定し, 左心室中心を原点として中隔壁の側から反時計回りに, 10° ごとの放射線上の心筋部計数と角度をグラフに展開したもの

であり, 心筋最高計数を 100% に normalize して表示した。

まず正常者 8 例において, AP+3 と AP+4 のスライスでの CFP から各角度ごとの平均値と標準偏差 (S.D.) より平均値 -2 S.D. を求めた。更に, パーセントカットオフレベルの相違による診断率の変化を検討する目的で, 80%, 75%, 60%, 65%, 60% を正常下限とした場合の有病正診率 (true positive ratio) と無病誤診率 (false positive ratio) を求め, ROC (receiver operating characteristic: 受信者動作特性) 曲線による解析を行った²³⁾。

心筋梗塞例では, 正常下限以下の欠損部の大きさを角度として測定し, MPI のスコアと比較した。欠損部の最低部計数と正常部計数の比を求め, MPI における欠損部と正常心筋部計数比と比較した。

更に, 心筋梗塞例の内 27 例には, 平衡時心電図同期心プールスキャンを施行し, 左室機能の指標である左室駆出率 (以下 LVEF) を測定し, 心筋 SPECT 上の欠損の大きさとの相関について検討した。

成 績

I 基礎的検討

1) 分解能と感度

空気中における FWHM は中心部で X 軸, Y 軸方向共に 20 mm であった。中心より 5 cm 以内では均一であったが, 中心から 15 cm 離れると, FWHM は 30 mm 前後に劣化した (図 2)。

空気中における感度の測定では, Tl-201 の濃度が $0.532 \mu\text{Ci/ml}$ 総計数が 2.10×10^7 , スキャン時間が 11.3 分であることから, 5.82×10^4 カウント/ $\mu\text{Ci/ml}$ /秒であった。

2) 放射能と計数の直線性

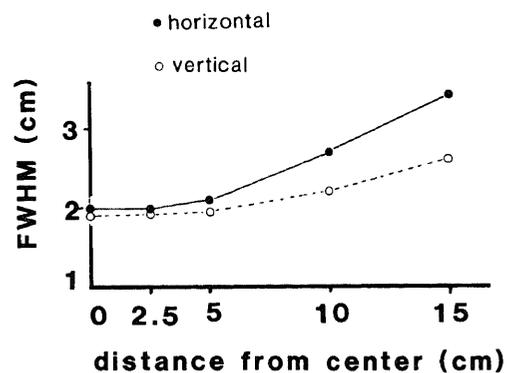


Fig. 2. FWHM of SPECT (horizontal.....●, and vertical.....○)

空中及び水中における RI 濃度と SPECT 画像上の単位面積当たりの計数の相関を図 3 に示す。RI 濃度 (x) と単位面積当たりの計数 (y) の間には優れた直線的相関が認められた。空中では $r=0.999$, $y=0.66x+3.4$,

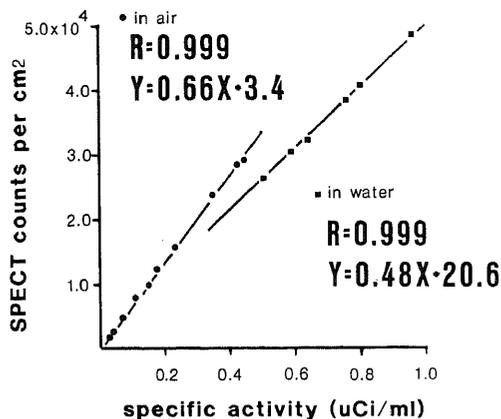


Fig. 3. Correlation between specific activity of the TI-201 in the phantom and counts measured by SPECT. There was significant correlation between RI activity and SPECT counts, both in air and in water, however, different regulation line was noted.

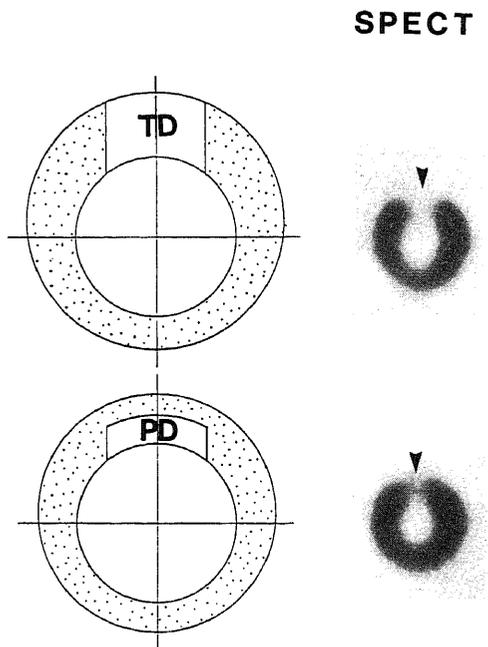


Fig. 4. Myocardial phantom and its SPECT images. TD: transmural defect, PD: subendocardial partial defect.

水中では, $r=0.999$, $y=0.48x+20.6$ の相関係数と相関式が得られた。

3) 心筋ファントム

貫壁梗塞部は, MPI において接線方向からの観察にて心筋外側部の欠損として認められたが, 他の方向からは明らかな欠損は認められなかった。心内膜下梗塞については全く異常を検出できなかった。一方, SPECT 像では貫壁梗塞は明瞭な全層欠損として描出され, 心内膜下梗塞部においては, 小欠損として認識することができた (図 4)。

偏心ファントムによる壁厚の変化と計数の変化の相関を図 5 に示す。RI を含まない部位でも約 20% の計数比を示したが, 空気中及び水中共に壁厚の変化と計数比の変化は, 高い相関を示した (空中 $r=0.996$, 水中 $r=0.988$)。

II 臨床的検討

1) 正常者の SPECT 像

全例で明瞭な心筋断層像が得られた。正常者の心筋断層像はスライスの高さによって異なっている。これを分類すると図 6 に示すように AP+2 の心臓下壁部ではカニの手様に描出され, 心尖部は先細り, あるいは欠損となる。AP+3 で示されるのは心臓中央部の断面でリング状に描出されるが, 心尖部に続く前壁の一部が集積低下部として描出されることがある。AP+4, AP+5 は心基部の断面であり, 大動脈弁や僧帽弁の位置が欠損となり, 左前方に向う馬蹄型で示される。心筋内の RI 集積はほぼ均一であるが, 側壁側に最高点が

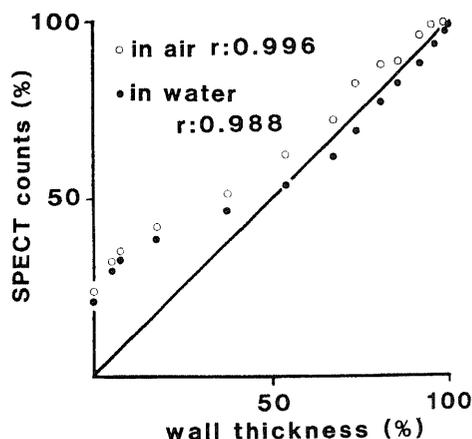


Fig. 5. Correlation between wall thickness of the off-axis phantom and count ratio by SPECT. (in air.....○, in water.....●) There was good correlation coefficient between wall thickness and SPECT count ratio in air ($r=0.996$), and in water ($r=0.988$).

あることが多い。中隔は短く直線で、側壁は左へ突出しゆるく湾曲している。

正常者8例における AP+3 と AP+4 のスライスでの各角度ごとの計数比の平均値と、平均値-2 S.D.を

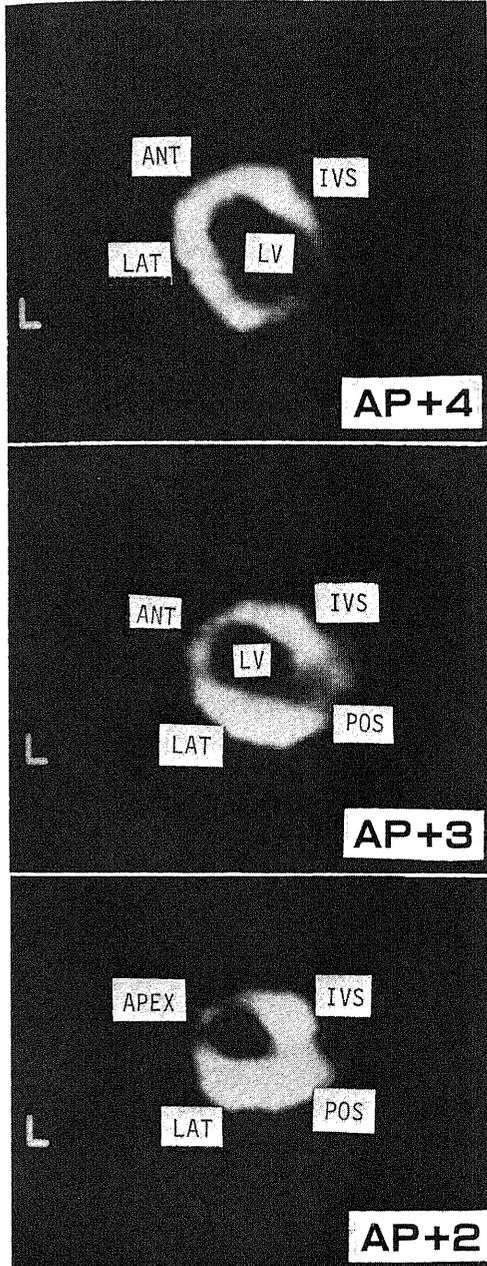


Fig. 6. Normal myocardial SPECT images of lower-ventricle, middle-ventricle and upper-ventricle correspond to AP+2, AP+3, AP+4. In the section of AP+3, myocardial activity was shown ring like shape, in the AP+4, horse-shape.

7に示す. AP+3ではほぼ全周にわたり70%以上を示しているが、前壁に一致する90°から150°の間では平均値-2 S.D.が66%から70%であった. AP+4では20°から270°までの範囲では心筋内計数比の平均値-2 S.D.は70%以上を示していた. 270°-20°は弁輪部に一致し、S.D.も心筋部分に比べ大きくなっていった。

2) ROC 曲線による分析

ROC 曲線を作成する為に、種々の診断基準における有病正診 (true positive) と無病誤診 (false positive)、正確度 (accuracy) を測定した. SPECT では、診断基準を20°から270°までの範囲で threshold 60%, 65%, 70%, 75%, 80%と5段階に変化させ、MPI では診断基準をスコア 0.5, 1.0, 1.5の3段階で変化させて検

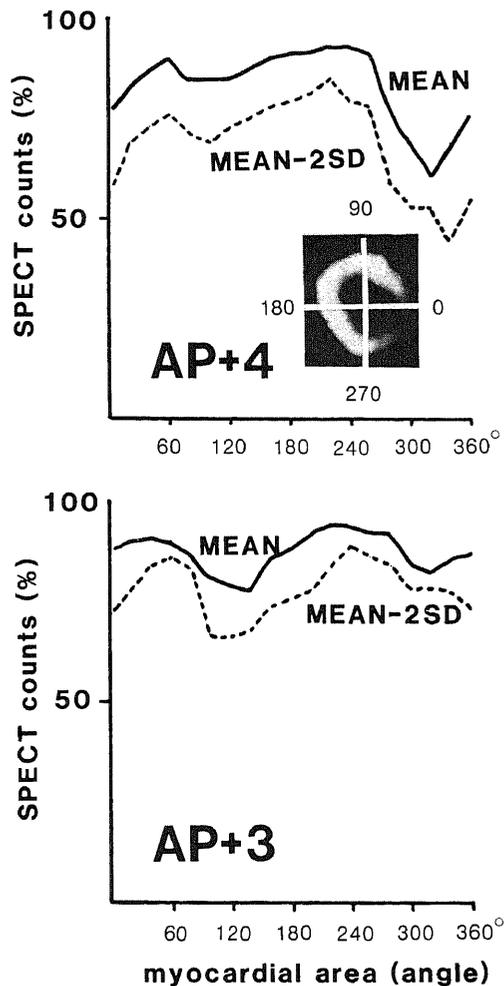


Fig. 7. Circumferential profile graphy of the 8 normal subjects in AP+3 and AP+4. Circumferential profile of the myocardium was started from patient right in counterclockwise.

Table 1. Result of true positive, false positive and accuracy for SPECT and MPI, according to variable diagnostic criteria. The highest accuracy was obtained in SPECT with a criterion of 70% threshold.

SPECT			
threshold	true positive	false positive	accuracy
60% (s 1)	28/42 (67%)	0/22 (0%)	50/64 (78%)
65% (s 2)	33/42 (79%)	1/22 (5%)	54/64 (84%)
70% (s 3)	37/42 (88%)	2/22 (9%)	57/64 (89%)
75% (s 4)	42/42 (100%)	8/22 (36%)	56/64 (88%)
80% (s 5)	42/42 (100%)	18/22 (82%)	46/64 (72%)

MPI			
score	true positive	false positive	accuracy
0.5 (m1)	31/42 (74%)	1/22 (5%)	52/64 (81%)
1.0 (m2)	28/42 (67%)	0/22 (0%)	50/64 (78%)
1.5 (m3)	23/42 (55%)	0/22 (0%)	45/64 (70%)

accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)
 TP = true positive, TN = true negative
 FP = false positive, FN = false negative

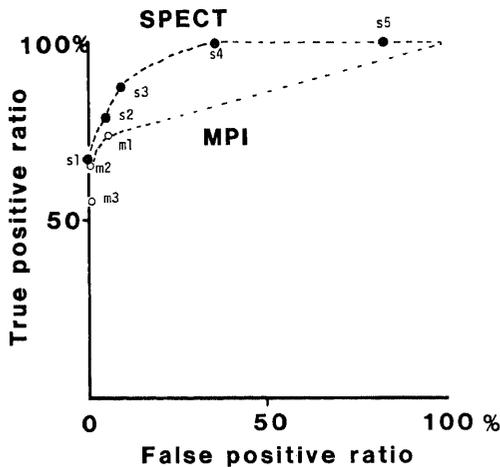


Fig. 8. ROC curve for SPECT of quantitative circumferential profile analysis changing threshold levels, and for gamma camera qualitative assessment of the score.

討した。表 1 に結果を示したが、SPECT では threshold 70% で最も正確度が高く、MPI では、スコア 0.5 で最も正確度が高かった。診断基準の変化に伴う有病正診率と無病誤診率の変化を図 8 の ROC 曲線で示したが、SPECT の曲線が常に MPI より上方に位置しており、検査法としての SPECT の優位性は明らかであった。

3) MPI と SPECT の検出率の比較

心筋梗塞 42 例の MPI の成績は、表 2 に示すように疑陽性 24 例、疑陽性 7 例、正常 11 例であった。疑陽性までを異常とすれば、MPI の検出率は 74% (31/42) であり、部位別では前壁群 66% (19/29)、下壁群 92% (12/13) であった。

SPECT では、CFP による定量的評価法で、20°から 270°の範囲で threshold 70% 以下を異常とする診断基準を用いれば、心筋梗塞 42 例中 37 例 (前壁群 27 例、下壁群 10 例) が異常であった。又、20°から 270°までの範囲で計数比は 70% 以上であるが、形態的に見て、局所的な壁厚の減少が明らかな場合や、当然リング状に描出されるべき断面において、270°から 20°までの後壁に相当する範囲に病的欠損を認めた場合を疑陽性とする、疑陽性が 2 例 (下壁群 2 例) 存在した。表 2 に示すように、疑陽性までを異常とすれば、SPECT の検出率は 93% (39/42) となり、部位別では前壁群 93% (27/29)、下壁群 92% (12/13) であった。

正常者を含めた 64 例全例の MPI と SPECT の感度 (sensitivity)、特異性 (specificity)、正確度 (accuracy) を図 9 に示した。特異性では MPI と SPECT とに有異差は認められなかったが、感度 ($P < 0.01$) と正確度 ($P < 0.05$) については、SPECT の方が有意に優れていた。部位別では、表 2 に示すように前壁群で有意 ($P < 0.01$) の感度の向上が認められた。

4) スコアと SPECT の比較 (図 10 参照)

スコアの総合点は、0 が 11 例、0.5 が 3 例、1.0 が 5 例、1.5 が 6 例、2.0 以上が 17 例であった。スコア 0 を示した 11 の内訳は前壁群 10 例、下壁群 1 例であったが、前壁群 10 例中 8 例が SPECT 上明らかな欠損を認めた。スコア 0.5 を示した 3 例はいずれも前壁群であり、全例が SPECT 上明らかな欠損を認めた。スコア 1.0 を示したものは前壁群 3 例、下壁群 2 例であったが、前壁群の 3 例は SPECT 上欠損が認められ、下壁群の 2 例では SPECT 上 20° から 270° の間では明らかな欠損を認めなかったが、疑陽性であった。スコアが

1.5 以上を示した例では、前壁群、下壁群とも SPECT 上明らかな欠損を認めた。

スコア 0 は MPI 上全く正常と判定したが、この内 73% (8/11) は SPECT で明らかな欠損が検出されており、更に、スコア 0.5 という抽象的診断 criteria に含まれる 3 例が、やはり SPECT 上明らかな欠損を認めている。MPI で診断に迷うようなわずかな所見しか呈さない前壁梗塞に対して、SPECT による検出感度の向上は明らかである。図 10 に示したのは、MPI のスコアと SPECT 上の欠損角度の関係である。相関係数は、

Table 2. Result of interpretation in 42 patients with myocardial infarction using gamma camera multiple planar images and SPECT. When probably positive was included to the positive finding, sensitivity of SPECT was significantly improved compared to multiple planar images in all patients (93% and 74%, respectively). In the anterior infarction group, sensitivity was greatly improved by SPECT (93% and 66%, respectively).

	Multiple planar images				S.P.E.C.T.			
	DP	PP	Nega	DP+PP	DP	PP	Nega	DP+PP
Total	24	7	11	31/42 (74%)	37	2	3	39/42 (93%)
Anterior infarction	14	5	10	19/29 (66%)	27	0	2	27/29 (93%)
Inferior infarction	10	2	1	12/13 (92%)	10	2	1	12/13 (92%)

DP : definitely positive
 PP : probably positive
 Nega : negative

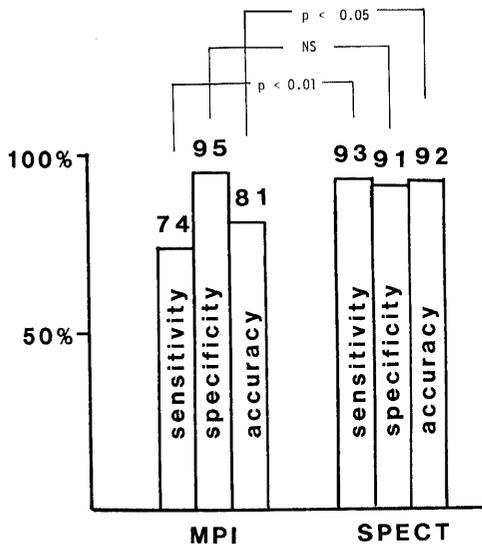


Fig. 9. Sensitivity and specificity data for gamma camera multiple planar images (MPI) and SPECT. There was significant difference in sensitivity and accuracy between SPECT and MPI.

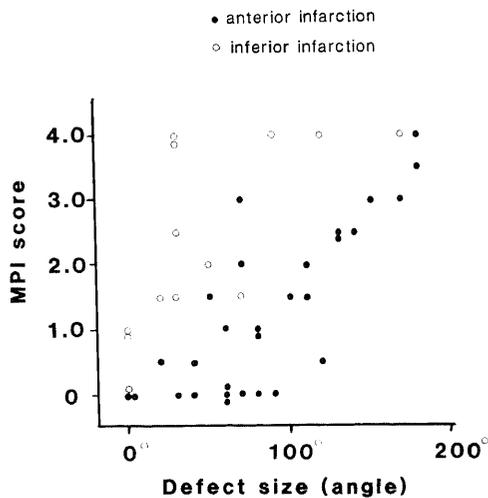


Fig. 10. Comparison with defect size measured by SPECT quantitative determination and defect score obtained by gamma camera visual assessment. There was significant correlation between defect size and score in the anterior infarction group ($r=0.79$).

欠損のある前壁群のみについては、 $r=0.79$ と高い相関が得られた。この図から、前壁群では SPECT の検出感度が優れていることと、スコアによる欠損のサイズ分類と、SPECT 上の欠損角度がある程度相関することが理解できる。又、下壁群については、SPECT に比べスコアの方が、サイズに対して過大評価している可能性が考えられる。

5) 発症からの期間と検出率 (図 11 参照)

発症 1 カ月以内に心筋スキャンを施行した 14 例では

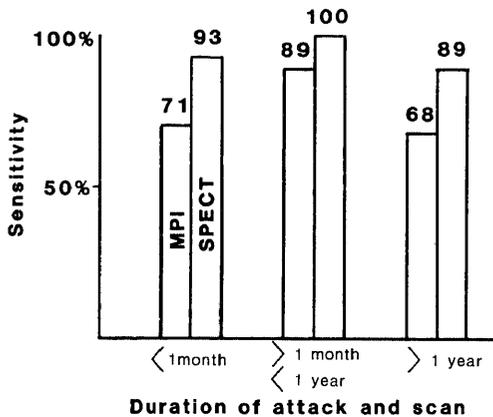


Fig. 11. Sensitivity of gamma multiple planar images (MPI) and SPECT. Comparison with sensitivity and duration from attack to Tl-201 scan

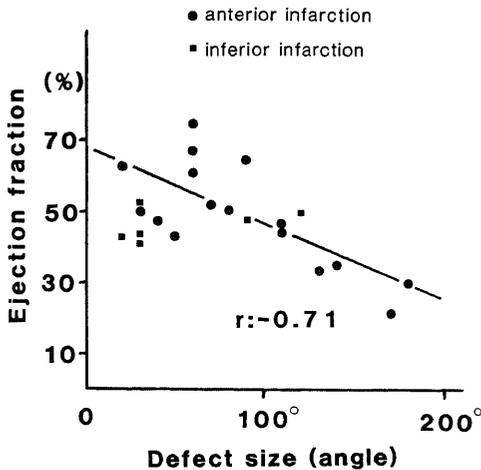


Fig. 12. Correlation between defect size measured by SPECT and left ventricle ejection fraction determined by ECG-gated blood pool scintigraphy. There was good correlation between defect size and ejection fraction in the anterior infarction group ($r=-0.71$).

MPI で 10 例 (71%) が異常、SPECT では 13 例 (93%) が異常であった。1 カ月から 1 年以内にスキャンした 9 例では、MPI で 8 例 (89%)、SPECT では 9 例 (100%) が異常であった。1 年以上経過した心筋 19 例では、MPI で 13 例 (68%)、SPECT では 17 例 (89%) が異常であった。発症からの期間に拘わらず、SPECT の検出率が MPI よりも優れていた。

6) SPECT の欠損角度と LVEF の関係 (図 12 参照)

RI 平衡時心電図同期心プルスキャンにより、27 例の心筋梗塞例で LVEF を測定した。内訳は前壁群 18 例、下壁群 9 例であり、SPECT 上 27 例中 22 例に欠損を認めた。欠損のあった 22 例について欠損角度と LVEF の相関を検討すると、相関係数 $r=-0.55$ であった。前壁群 16 例のみについて検討すると、 $r=-0.71$ と相関がよくなった。

7) 病巣部のコントラストの比較

MPI で欠損を認めた 24 例において、デジタルデータから欠損部と正常心筋部の計数比を測定すると、 0.63 ± 0.12 であった。SPECT で測定した欠損部と正常心筋部の計数比は、 0.48 ± 0.15 で、有意 ($P < 0.01$) に低く、欠損部検出上のコントラストが SPECT で優れていることが確認できた。

考 察

虚血性心疾患の診断法として従来より電気生理学的検査として心電図、冠動脈の解剖学的情報を得る冠動脈造影、壁運動異常を観察する左心室造影や超音波断層法などが利用されていた。冠動脈造影が純粋に冠動脈の形態診断法であるのに対して、Tl-201 心筋スキャンは冠動脈から心筋細胞への灌流と心筋細胞の viability を評価する検査であると言える²⁾³⁾。更に、非侵襲的で安全に行え、種々の負荷条件下で⁵⁾⁶⁾冠血流が視覚的に観察できるなど多くの利点を有している為、現在では循環器診断体系の中で確立した位置を占めるようになった。

しかしながら現在広く行われているガンマーカメラによる Tl-201 心筋スキャンには、いくつかの問題点が存在している。Tl-201 そのものの問題は、撮影に利用される水銀 X 線が 63-89 keV と低い為深部の放射能が体内の組織によって吸収されてしまうことであり、もう一つは、Tl-201 の心筋集積率は必ずしも高くなく、静注した場合は投与量の 4-5% 程度しか心筋に摂取されず、コントラストが低い点である²⁾⁴⁾。

撮影装置としてのガンマーカメラの問題点は、RI の 3 次元的分布を 2 次元画像に圧縮して観察することと、体内における放射線の吸収減弱を補正できない為、深部病巣の検出と病巣部へ集積した RI 量を定量的に測

定することが困難な点である。又、心臓の様な中空臓器では、心筋内 RI 分布についての評価は接線方向でしかできない為に、多方向からの観察と統影者の頭の中での3次元再構成が必要になる。

この多方向撮影を更におし進めて全周からの投影データを採集し、コンピューターによる画像再構成を行わせるのが SPECT の原理であり、心筋スキャン SPECT においては、深部と小病巣の検出率の向上、コントラストの改善、心筋内 RI 量の絶対的定量化、あるいは相対的な RI 分布の定量評価が大きな目標となる。

1) 基礎的検討について

SPECT 装置の FWHM は中心部で 20 mm、辺縁部では約 30 mm であった。この値はガンマーカメラの 3-4 倍²⁹⁾であるが、SPECT 装置としては従来報告されている値と遜色がない¹⁷⁾¹⁸⁾²⁵⁾。FWHM の値が最小検出限界そのものではなく、hot に集積する核種でコントラストが上げれば数 mm の病巣でも検出可能であるし、欠損部検出においても、同種の SPECT 装置を用いた前田ら²⁰⁾の肝ファントム実験では 11 mm の欠損が検出された。

感度については、ガンマーカメラ回転式の SPECT 装置に比べ、スキャナー型の本装置ではクリスタルが大きく、焦点型コリメータを用いている為に高い感度が得られた。臨床例における 1 断層当たり 600 万から 900 万の計数は統計的誤差の少ない非常に高品質の画像であり、定量的評価に十分な情報量であった。

分解能と感度は相互に関連し、どちらか一方を改善しようとするれば、一方が犠牲になるといった性質のものであり、高分解能かつ高感度の装置は困難ではあるが、リング型検出器の開発や²⁷⁾、SPECT 専用のコリメータの開発が推進されなければならないと考える。

RI 濃度と計数の直線性は空中、水中とも非常に優れており、同一断面内における計数の変化がその部位の RI 濃度に正確に比例していることを意味している。しかしながら、水中ファントムでは水による吸収の為に同一濃度であっても、空中での測定に比べ計数が減少しており、吸収補正プログラムを利用しても、異なる条件下での RI 濃度の絶対値を測定することは困難であると推測された。

現在まで吸収補正プログラムについては多くの試みがなされている²⁸⁾²⁹⁾が、患者の体格の個人差と、吸収係数 μ を一定の値と仮定する方法では、絶対的定量化に限界があった。最近、前田ら³⁰⁾が対向型ガンマーカメラ回転式 SPECT 装置を使用し、心筋スキャンにおける定量的実験を報告した。彼らは SPECT で心筋の撮影を行う前に、Tl-201 の flood ファントムを一方のカメラに取り付けて、対側のカメラへ届いた transmis-

sion データから各部位別の μ の値を測定し、このデータによる吸収補正を行ったところ、椎体骨による吸収がよく補正され、再構成画像の均一性も他の補正プログラムに比べ優れていた。このような基礎的な検討の積み重ねによって更に信頼性の高い吸収補正プログラムが完成されることを期待したい。

X 線 CT と同様に SPECT においても、FWHM 以下の大きさの対象物については partial volume effect が存在し、Hoffman ら³¹⁾の実験においては、濃度が一定であっても容積が FWHM の 2 倍以下の大きさでは、測定される計数が低下することが示されている。

FWHM が 20 mm の本装置では、0 mm から 23 mm の壁厚は全て partial volume effect が及ぶ範囲と言える。厚さ 0 mm のところでも計数比 20% が記録されているのは、コンプトン散乱によるものであろう。壁厚が 10 mm の心筋内 RI 濃度の変化を正確に測定するには 5 mm 以下の FWHM が要求される。

本研究の結果、壁厚の変化と計数比の変化の間には直線相関が得られているが、心筋スキャンによって正確な壁厚が測定できない為に、壁内計数は RI 濃度と壁厚の両方の変化を示していることになる。もし他の方法で正確な壁厚が測定できたならば、相関式を利用し、壁厚の減少による計数の低下を補正することが可能はずである。

いずれにせよ、吸収体による計数の変化や心筋壁厚の変化による計数の変化などから、SPECT による心筋内 RI 濃度の絶対定量化には現在のところいろいろな困難が存在しており、濃度と計数が直線相関している結果からは、断面内の心筋各部の計数を統計的に処理し、相対的な分布の変化をもって診断基準を決定する方法が適していると推測された。

2) 臨床的検討による考察

視覚による主観的な画像診断法においては観察者の主観と経験、画像のコントラスト、表示法の違いなどによって検出率が影響されることはよく知られた事実である³²⁾³³⁾。診断の正確さを高めると共に再現性のある画像評価法の工夫として、isocount 法³⁴⁾、ROI 法³⁵⁾、CFP 法などが報告されている。CFP 法は Meade ら³⁶⁾、Burow ら³⁷⁾によって最初に報告され、心筋各部を左心室中心から放射線状に細分化し、角度ごとの計数の変化をグラフにして表示する方法であるが、この方法の特徴は、心筋内計数の分布を客観的に表示できる点であり、ガンマーカメラ平面像での利用に比べ、SPECT 像では、前後像の重なりがなく高いコントラストが得られ、断層内に含まれる同一の厚さの中での分布を評価できる為、その有用性は更に高まると考えられる。

正常者 8 例から得られた CFP では、AP+3 のレベル

では心尖部での心筋壁厚の減少からくる生理的な計数の低下が、AP+4のレベルでは弁輪部の低下が認められた。生理的な欠損である弁輪部の描出には、そのレベルと広がりによって多少とも個人差が存在したが、8人での平均値 -2 S.D.から、 20° から 270° までを定量的評価の対象と考えた。又、AP+3のレベルにも弁輪部による生理的欠損が描出される可能性も考え、今回の検討では、AP+3、AP+4の両レベルで 20° から 270° までを対象とした。

定量的評価の為に診断基準の設定が重要であるが、従来報告されている正常者群での各角度ごとの平均値 -2 S.D.を求め、それを正常下限とする方法は、データ処理が煩雑となる割には検出率の向上が期待できない場合もあり³⁸⁾、本研究では、一定のカットオフレベルによる診断基準について検討を加えた。

カットオフレベルを60%、65%、70%、75%、80%と5段階に変化させ、それぞれの値での有病正診率、無病誤診率、正確度を求めROCカーブを作成した。ROCカーブは全体として左上方に位置し、双曲線を描き、70%カットオフレベルにした場合に最も左上方に近づき、最適診断基準であると決定できた。

ROC解析は一つの診断方法の効率 (efficacy) を評価する為に利用される指標であり、従来の感度や特異性とといったある一点についての評価では、診断側の確からしさと患者の有病率とに大きく影響されてしまうが、ROCカーブでは、正常から、正常らしい、equivocalである、異常らしい、異常であるといったすべての診断態度に対応した結果が一つのカーブで表現され、このカーブの位置によって診断法の効率を評価することができる訳である。

MPIの診断について、スコア0.5、1.0、1.5と3段階に分けてROCカーブを描いてみると、図8のように左側にかたよったカーブになって、これは感度は高くないが特異性が高いことを示しているが、同時に感度を高くしようとして診断した場合には無病誤診率が高くなってしまふことも示されている。いずれにせよ、ROCカーブではすべての点でSPECTのカーブがMRIのカーブよりも上位に位置しており、診断法としての優位性は明らかであると結論できる。

カットオフレベル70%を診断基準とした場合、心筋梗塞の検出率は42例中37例、88%であり、部位別では前壁群93%、下壁群77%と下壁群でやや低下しているが、これはSPECTが体軸断層である為、純粋な下壁梗塞は正常心筋内の欠損としては描出されない為と、定量的評価の範囲を 20° から 270° までと限定した為であろう。下壁梗塞群での異常は、ほとんどが後側壁の異常であり、梗塞の広がりについての評価はある程度可

能ではあったが、限局した下壁梗塞の存在と、梗塞全体の広がりについての評価は前壁群よりも劣っていると考えられた。

MPIとの比較において際立った相違点は、MPIで全く正常と診断した10例の前壁梗塞群のうち、8例までがSPECTで欠損を認めたことであった。この8例はいずれも小さな欠損であり、その平均欠損角度は 61° 、最底部計数比も54%と低コントラストであった。本研究の結果から、SPECTは前壁の小さな梗塞における検出率を著明に向上させることが明らかとなった。

従来報告されているMPIによるTI-201心筋スキヤンの検出率は、急性心筋梗塞で76%~100%、陳旧性心筋梗塞では37%~91%³⁷⁾³⁹⁾であるが、いずれにせよ、発作から検査までの期間が長いほど検出率が低下している。陳旧性梗塞例では、心電図上異常Q波を認めるのは50%程度であり、慢性閉塞性肺疾患や心筋肥厚、左脚ブロックでもQ波が出現し、心電図の検出感度、特異性ともに低いと言わざるを得ない。

SPECTは、小さな梗塞の検出に優れると同時に、発作から1年以上経過した陳旧性梗塞群での検出にも優れており、特異性も高い診断法とすることができる。

心筋梗塞の大きさの評価法として視覚によるスコア法や、面積測定から重量を求める方法が行われていたが、必ずしも満足のいく結果は得られていなかった。

最近の報告⁴⁰⁾では、イヌを使用した実験において、SPECTで測定した欠損部心筋重量と、病理組織変化から求めた心筋壊死部重量の間に、相関係数 $r=0.90$ が得られており、最少で1.4gの梗塞が描出された。本研究においては最大欠損部を示すスライスでの欠損角度のみを対象としたが、それでも前壁梗塞群では、EF値とよく相関しており、心筋壊死の大きさから左室機能障害の程度を予想することが可能であり、欠損角度が予後判定の定量的指標になりうると考えられた。

SPECTで得られる情報は、コントラストの高い断層像であるというだけではなく、壁内計数の相対的变化を定量的に評価することによって信頼性の高い客観的な診断を可能とし、特に前壁の小梗塞の検出において優れ、同時に欠損の大きさについても定量的に評価することができた。これらのSPECTの有用性は、従来のMPIをはるかに上まわるものであり、すべての心筋スキヤンが将来はSPECTで行われることになるであろう。

結 論

TI-201心筋スキヤンにおいてSPECTと従来のMPIとを比較検討し、SPECTによる小病巣検出能力とCFPによる定量的な診断基準の決定を行い、以下の

結論を得た。

1) SPECT の FWHM は 2.0 cm, 感度は 5.82×10^4 カウント/ $\mu\text{Ci/ml/秒}$ であった。RI の絶対濃度と SPECT の計数の間には空中、水中ともに優れた直線相関が認められた。

2) 心筋ファントムにおいて、MPI で検出不可能であった心内膜下梗塞を SPECT では明瞭な欠損として描出し得た。FWHM が 2.0 cm の SPECT においては、心筋壁の厚さが、0 から 23 mm の間ですべて partial volume effect とコンプトン散乱の影響を受ける為、計数が変化するが、偏心ファントムでは壁厚と計数率の間には優れた直線相関が認められた。

3) 正常者の SPECT 像を 3 群に分類した。正常者での心筋内 RI 分布を CFP で解析すると、心尖部と弁輪部で生理的集積低下を認めた。20°から 270°の範囲では、計数率の threshold 70% の場合が最も正確度が高かった。

4) 心筋梗塞 42 例を含む合計 64 例での臨床検討において、MRI の検出感度は 74%、特異性は 95%、正確度は 81% であるのに対し、SPECT では検出感度 93%、特異性 91%、正確度は 92% であった。SPECT は特に前壁の小梗塞の検出に優れていた。

5) MPI と比較して SPECT では病巣部のコントラストが有意に高く ($P < 0.01$) 又、SPECT でのサイズと前壁梗塞群での左室駆出率は有意に相関した。

稿を終えるにあたり、懇切なる御指導、御校閲賜った恩師久田欣一教授に深謝いたします。又、本研究に御協力いただいた核医学教室分校、前田両先生と、市立敦賀病院内科、本学第一内科、第一外科教室の諸氏に深謝いたします。

文 献

- 1) Lebowitz, E., Greene, M. W., Fairchild, R., Bradley - Moore, P. R., Atkins, H. L., Ansari, A. N., Richards, P. & Belgrave, E.: Thallium - 201 for medical use. I. J. Nucl. Med., 16, 151 - 155 (1975).
- 2) Bradley - Moore, P. R., Lebowitz, E., Greene, M. W., Atkins, H. L. & Ansari, A. N.: Thallium - 201 for medical use. II.: Biological behavior. J. Nucl. Med., 16, 156 - 160 (1975).
- 3) Strauss, H. W., Harrison, K., Langan, J. K., Lebowitz, E. & Pitt, B.: Thallium - 201 for myocardial imaging: Relation of thallium - 201 to regional myocardial perfusion. Circulation, 51, 641 - 645 (1975).
- 4) Strauss, H. W. & Pitt, B.: Thallium - 201 as a myocardial image agent. Semin. Nucl. Med., 7, 49 - 58 (1977).
- 5) Bailey, I. K., Griffith, L. S., Rouleau, J., Strauss, H. W. & Pitt, B.: Thallium - 201 myocardial perfusion imaging at rest and during exercise. Comparative sensitivity to electrocardiography in coronary artery disease. Circulation, 55, 79 - 87 (1977).
- 6) Gould, K. L.: Noninvasive assessment of coronary stenoses by myocardial perfusion imaging during pharmacologic coronary vasodilatation. I. Physiologic basis and experimental validation. Am. J. Cardiol., 41, 267 - 278 (1978).
- 7) Verani, M. S., Marcus, M. L., Razzak, M. A. & Ehrhardt, J.: Sensitivity and specificity of thallium - 201 perfusion scintigrams under exercise in the diagnosis of coronary artery disease. J. Nucl. Med., 19, 773 - 782 (1978).
- 8) Grunwald, A. M., Watson, D. D., Holzgrefe, H. H., Irving, J. F. & Beller, G. A.: Myocardial thallium - 201 kinetics in normal and ischemic myocardium. Circulation, 64, 610 - 617 (1981).
- 9) Weich, H. F., Strauss, H. W. & Pitt, B.: The extraction of thallium - 201 by the myocardium. Circulation, 56, 188 - 191 (1977).
- 10) Goris, M. L., Daspit, S. G., McLaughlin, P. & Kriss, J. P.: Interpolative background subtraction. J. Nucl. Med., 17, 744 - 747 (1976).
- 11) Watson, D. D., Campbell, N. P., Read, E. K., Gibson, R. S., Teates, C. D. & Beller, G. A.: Spatial and temporal quantitation of plane thallium myocardial images. J. Nucl. Med., 22, 577 - 584 (1981).
- 12) 分校久志: 多方向および経時的撮影像 Tl - 201 心筋スキャンにおける画像診断に関する研究. 十全医学会誌, 88, 498 - 521 (1979).
- 13) Kuhl, D. E. & Edwards, R. Q.: Image separation radioisotope scanning. Radiology, 80, 653 - 661 (1963).
- 14) Kuhl, D. E. & Edwards, R. Q.: Mark III scanner: a compact device for multiple - view and section scanning of the brain. Radiology, 96, 563 - 570 (1970).
- 15) Jarritt, P. H., Ell, P. J., Myers, M. J., Brown, N. J. & Deacon, J. M.: A new transverse - section brain imager for single - gamma emitters. J. Nucl. Med., 20, 319 - 327 (1979).
- 16) Maeda, T., Matsuda, H., Hisada, K., Tonami, N., Mori, H., Fujii, H., Hayashi, M. &

- Yamamoto, S.:** Three-dimensional regional cerebral blood perfusion images with single-photon emission computed tomography. *Radiology*, **140**, 817 - 822 (1981).
- 17) Keyes, J. W., Leonard, P. F., Svetkoff, D. J., Brody, S. L., Rogers, W. L. & Lucchesi, B. R.:** Myocardial imaging using emission computed tomography. *Radiology*, **127**, 801 - 812 (1978).
- 18) Maublant, J., Jourde, M., Veyre, A. & Meyniel, G.:** Transverse CAT of the myocardium with 201 - Tl. *Eur. J. Nucl. Med.*, **4**, 457 - 459 (1979).
- 19) Holman, B. L., Hill, T. C., Wynne, J., Leovett, R. D., Zimmerman, R. E. & Smith, E. M.:** Single-photon transaxial emission computed tomography of the heart in normal subjects and in patients with infarction. *J. Nucl. Med.*, **20**, 736 - 740 (1979).
- 20) Tamaki, N., Mukai, T., Ishii, Y., Yonekura, Y., Kanbara, H., Kawai, C. & Torizuka, K.:** Clinical evaluation of thallium-201 emission myocardial tomography using a rotating gamma camera: Comparison with seven-pin-hole tomography. *J. Nucl. Med.*, **22**, 849 - 855 (1981).
- 21) 前田敏男・久田欣一・嶋津秀樹・松田博史・多田明・中嶋憲一・林 実・藤井博之:** トモスキャナーIIによる横断層シンチグラフィー, 第1報, 臨床検討. *核医学*, **17**, 9 - 17 (1980).
- 22) Keyes, M. I.:** A practical approach to transverse section gamma-ray imaging. *Brit. J. Radiol.*, **49**, 62 - 70 (1976).
- 23) 飯沼 武:** 医用画像における臨床的有効度の評価: (II) ROC解析と意志決定. *核医学*, **17**, 1035 - 1043 (1980).
- 24) White, W.:** Resolution, sensitivity, and contrast in gamma-camera design: A critical review. *Radiology*, **132**, 179 - 187 (1979).
- 25) Goodwin, P. N.:** Recent developments in instrumentation for emission computed tomography. *Semin. Nucl. Med.*, **10**, 322 - 334 (1980).
- 26) 前田敏男・松田博史・久田欣一・山田正人・松平正道:** トモスキャナーIIによる横断層シンチグラフィー: 第3報, 焦点距離20 cmの新型コリメータによる軀幹部検査についての検討. *核医学*, **17**, 537 - 542 (1980).
- 27) Kanno, I., Uemura, K. Miura, S. & Miura, Y.:** HEADTONE: A hybrid emission tomograph for single photon and positron emission imaging of the brain. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, **5**, 216 - 226 (1981).
- 28) Budinger, T. F., Derenzo, S. E., Gullberg, G. T., Greenberg, W. L. & Huesman, R. H.:** Emission computer assisted tomography with single-photon and positron annihilation photon emitters. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, **1**, 131 - 145 (1975).
- 29) Walter, T. E., Simon, W., Chesler, D. A. & Correia, J. A.:** Attenuation correction in gamma emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, **5**, 88 - 94 (1981).
- 30) 前田寿登・竹田 寛・山口信夫・中川 毅・浜田正行・二神康夫・小西得司・竹沢英郎:** ガンマカメラ回転型ECTによるTl-201心筋断層像: 至適データ収集条件ならびに定量的解析法に関する検討. *心臓核医学研究会抄録集*, 12頁, 1982年7月(東京).
- 31) Hoffman, E. J., Huang, S. & Phelps, M. E.:** Quantitation in positron emission computed tomography: Effect of object size. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, **3**, 299 - 308 (1979).
- 32) Atwood, J. E., Jensen, D., Froelicher, V., Witzum, K., Gerber, K., Gilpin, E. & Ashburn, W.:** Agreement in human interpretation of analog thallium myocardial perfusion images. *Circulation*, **64**, 601 - 609 (1981).
- 33) Okada, R. D., Boucher, C. A. Kirshenbaum, H. K., Kushner, F. G., Strauss, H. W., Block, P. C., McKusick, K. A. & Pohost, G. M.:** Improved diagnostic accuracy of thallium-201 stress test using multiple observers and criteria derived from interobserver analysis of variance. *Am. J. Cardiol.*, **46**, 619 - 624 (1980).
- 34) Jackson, S. A., Salisbury, D. M. & D'Amico, K.:** Evaluation of image processing and presentation methods in thallium-201 myocardial scintigraphy. *Eur. J. Nucl. Med.*, **6**, 111 - 117 (1981).
- 35) Narita, M., Kurihara, T., Usami, M., Honda, M., Ogawa, T. & Kanao, K.:** Quantitation of thallium-201 myocardial washout by serial rest myocardial imaging. *Jap. J. Nucl. Med.*, **18**, 899 - 906 (1981).
- 36) Meade, R. C., Bamrah, V. S., Horgan, J. D., Ruetz, P. P., Kronenwetter, C. & Yeh, Eh-Lin:** Quantitative methods in the evaluation of thallium-201 myocardial perfusion images. *J. Nucl. Med.*, **19**, 1175 - 1178 (1978).
- 37) Burow, R. D., Pond, M., Schafer, A. W. &**

Becker, L.: Circumferential profiles: A new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. *J. Nucl. Med.*, **20**, 771-777 (1979).

38) Garcia, E., Maddahi, J., Berman, D. & Waxman, A.: Space/time quantitation of thallium-201 myocardial scintigraphy. *J. Nucl. Med.*, **22**, 309-317 (1981).

39) Wackers, F. J.: Thallium-201 myocardial scintigraphy in acute myocardial infarction and ischemia. *Semin. Nucl. Med.*, **10**, 127-145 (1980).

40) Keyes, J. W., Brady, T. J., Leonard, P. F., Svetkoff, D. B., Winter, S. M., Rogers, W. L. & Rose, E. A.: Calculation of viable and infarcted myocardial mass from thallium-201 tomograms. *J. Nucl. Med.*, **22**, 339-343 (1981).

Quantitative Assessment of the Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy with Single Photon Emission Computed Tomography Comparison with Gamma Camera Multiple Planar Imaging Akira Tada, Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa, 920 - *J. Jusen Med. Soc.*, **91**, 952-966 (1982)

Key words: single photon emission computed tomography, thallium-201, circumferential profile, myocardial perfusion imaging.

Abstract

Thallium-201 (Tl-201) myocardial perfusion imaging has been an important part of the work-up for ischemic heart disease. Conventional multiple planar imaging (MPI) has been employed as a standard method, but detection of small ischemia is difficult because of the superimposition of ischemic and nonischemic myocardium. Recently, there appeared some commercially available tomographic systems and single photon emission computed tomography (SPECT) came to provide the solution of the problem, by permitting transverse tomographic sections through the organ or region of interest. For the basic examination of the SPECT system, full width of half maximum and system sensitivity were measured and to investigate the ability for the quantitative assessment of the SPECT, count linearity in air and in water were measured, and myocardial phantom and off-axis phantom were employed. For the clinical examination, 42 patients with myocardial infarction (MI) and 22 patients without MI were included in the study. Forty-two patients with MI were divided into two groups of 29 anterior MI, and 13 inferior MI. MPI was obtained 10 minutes after intravenous injection of 2-3 mCi of Tl-201 at rest. Anterior, LAO 30°, LAO 60°, and left lateral view were imaged. After completion of MPI, 3 to 5 slices of SPECT at 1 cm intervals were obtained from 1 cm above apex toward the base by Tomogscaner II. For the quantitative analysis of the SPECT myocardial image, circumferential profile was obtained at 10° intervals counterclockwise and normalized by maximum activity. Myocardial area and threshold were employed for receiver operating characteristic (ROC) analysis.

There was significant correlation between RI activity and SPECT counts both in air ($r=0.999$) and in water ($r=0.999$). In the off-axis phantom, the count ratio of the regional wall significantly correlated with regional wall thickness ($r=0.998$). From ROC analysis of the criteria, less than 70% of the maximum activity within the myocardial area of 20°-270° was judged as positive. Sensitivity of SPECT was significantly improved compared to MPI in all MI patients (93% and 74%, respectively). In the anterior MI group, sensitivity was greatly improved by SPECT (93% and 66%, respectively). However, in the inferior MI group, no significant improvement of

the sensitivity was obtained. In the cases with negative in the MPI and positive in the SPECT, small defect size and poor contrast lesion were noted. Good correlation was shown between the size of the defect on SPECT and MPI score ($r=0.79$) and left ventricular ejection fraction (LVEF) ($r=-0.71$) in the anterior MI group.

In conclusion, SPECT quantitative assessment provided a sensitive and accurate tool for objective detection, localization and quantitative sizing of the anterior MI group and some of the inferior MI group. In the near future, all of the Tl-201 myocardial perfusion imaging should be done by SPECT.