

《原 著》

Single Photon Emission CT を用いた TI-201 心筋血流、washout、壁運動、位相の心機能マップ

中嶋 憲一* 分校 久志* 谷口 充* 滝 淳一*
利波 紀久* 久田 欣一* 平野 隆子** 和辻 秀信**

要旨 TI-201 心筋シンチグラフィ、心電図同期心プールシンチグラフィに single photon emission computed tomography (SPECT) を用い、TI-201 心筋摂取量、心筋からの washout、心室壁運動、位相の心機能マップを作製する方法を考案した。各パラメータは極座標を用いて同一の形式で表示した。正常対照患者 (n=16) において心筋血流、washout の正常値を検討したところ、血流分布は下壁中隔で低いが男の方がより低く、性差を認めた。また washout は男では下壁と中隔が、女では下壁が、前側壁より遅いパターンを示した。断層心プール法については、長さの変化およびカウント変化に基づくフーリエ解析法を応用して心表面の収縮と位相の分布を作製した。両者はほぼ一致するが、その範囲には差が認められた。位相マップは壁運動異常の位相遅延だけでなく、伝導異常の評価にも有用な方法であった。本法は心室各セグメントの種類の情報を 3 次元的に総合的に理解する方法として優れた表示法である。

I. はじめに

心臓核医学検査の中で、TI-201 による心筋血流検査、Tc-99m 標識赤血球による心電図同期心プール検査は、現在では循環器領域の臨床に広く用いられ定着した方法となっている。特に emission computed tomography (ECT) 装置の普及により、断層による心筋、心プール検査も比較的容易に多くの施設で施行できるようになっている。

本論文の目的は、従来用いられてきた心筋 TI-201 摂取量、TI-201 washout、心室壁運動短縮率、心室の収縮時間すなわち位相を同一の形式で表示し、心筋の局所の血流、機能の情報をより総合的に理解しやすくする機能図表示を作製することにある。本法を冠動脈疾患、伝導異常などの患者に応用し、その有用性を述べる。

II. 方 法

1. TI-201 心筋 ECT とその解析

TI-201 心筋 ECT は、TI-201 塩化タリウム 2 mCi (74 MBq) を静注後、約 10 分後より開始した。ECT 装置は dual head のシンチカメラ (ZLC 75) とこれに接続したミニコンピュータシステム (Scintipac 2400S) である。データ収集は 6° ごとに 1 方向 30 秒とし、360° のデータを収集した。画像再構成は Shepp & Logan のフィルターを用い、横断像を作製後、心長軸に一致するように画像を回転して短軸断層像を得た。1 スライスの厚さは 6mm とした。また運動負荷心筋シンチグラフィでは、最大運動負荷時に TI-201 を静注し、その 5 分後および注射 3 時間後に、ECT データを収集した。定量的解析法として circumferential profile analysis¹⁻³⁾ を行い 6° ごとの心筋摂取量を求めた。各セグメントの値はそれぞれの放射状方向の最大値の前後 3 点の平均値を求めた。各セグメントの washout rate (WR) は

$$WR = (\text{負荷時取り込み量} - 3 \text{ 時間後残存量}) \times 100 / \text{負荷時取り込み量}$$

として計算した。

* 金沢大学医学部核医学科

** 島津製作所医用機器事業部技術部

受付：60 年 9 月 30 日

最終稿受付：60 年 12 月 16 日

別刷請求先：金沢市宝町13-1 (☎ 920)

金沢大学医学部核医学科

中嶋 憲 一

2. 心電図同期心プール ECT とその解析

心電図同期心プール検査は、Tc-99m 標識赤血球 20 mCi (740 MBq) を用い、同様に ECT を施行した。データ収集は 10° ごとに 1 方向 45 秒とし、360°、36 方向の投影像を得た。1 心拍の分割数は 12 とした。心筋シンチグラフィと同様に、スライス厚 12 mm (6 mm ごとのステップで重複) の短軸断層像を再構成した。次いで長さおよびカウント変化に基づく 2 種のフーリエ解析法を応用して、心基部から心尖部まで短軸断層像について処理を行い、位相、短縮率、振幅を各セグメントごとに求めた。

長さの変化に基づくフーリエ解析法については、すでに報告したので簡単に記載する^{4,5)}。まず各スライスの第 1 フレームにおいて、心室の中心を求め (通常は心室のカウント重心)、第 1 から 12 フレームにおいて 6° ごとに輪郭までの長さを計算した。この各角度方向について、時間-長さ曲線を求め、フーリエ変換を用いて位相と短縮率を計算した。なお短縮率 (%LS) については、直流成分 (DC) および基本波成分の振幅 (Amp) の値から、 $\%LS = (2 \times \text{Amp} / (\text{DC} + \text{Amp})) \times 100$ として換算した。

カウント変化に基づく位相解析法は心短軸断層に、一般に用いられている位相解析のプログラムをそのまま用いた^{6,7)}。位相および振幅の計算は、画像の輪郭および内部に設定した円の間で値を調べ、最大値とその前後 3 点の平均をとった。この値から、心筋と同様に、circumferential profile を作製した。

3. 心機能マップの作製

心機能マップの作製のために用いたパラメータは、心筋の摂取率、washout rate、長さまたはカウント変化に基づく位相、短縮率または振幅の 6 種類である。心筋摂取量は、表面の各セグメントの値のうち、最大値を 100% とし、その割合で表示した。

Washout rate、短縮率、振幅は 0-100%、位相は通常 0-360° のスケールで表示した。これらの 6 つのパラメータともに中心が心尖部、辺縁部が心

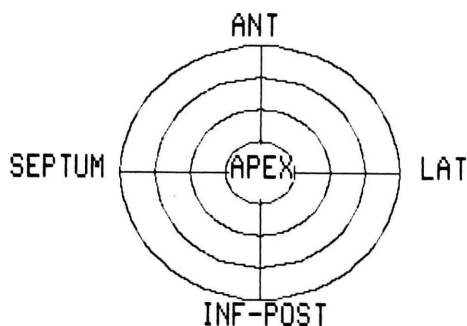


Fig. 1 Scheme of polar display. Parameters of cardiac apex are represented in the center, and those of cardiac base around the circumference.

基部となるように同心円状に配置した。したがって左心室については、12 時の方向が前壁、3 時の方向が側壁となり、心尖部より見上げたような配列になる (Fig. 1)。

4. 正常パターンの作製と異常の判定

正常心筋血流および washout の標準値作製のために、冠動脈造影と左心室造影正常、あるいは臨床的に虚血性心疾患が否定され、安静、負荷心電図ともに異常のない 16 症例から男女別に作製した。その年齢、運動負荷量については Table 1 のごとくである。異常の判定は各セグメントの平均 ± 2 標準偏差 (SD) を正常下限として対象患者と比較した。

5. 臨床例への応用

以上の処理を虚血性心疾患、心室ペースング、

Table 1 Control patients for TI-201 exercise study

		Sex	
		Male	Female
No.		7	9
Age	mean	59	51
	S.D.	15	12
	range	32-77	30-65
Rate-pressure product			
rest	mean	7,785	9,177
	S.D.	2,141	2,465
ex.	mean	23,814	21,366
	S.D.	7,180	5,442

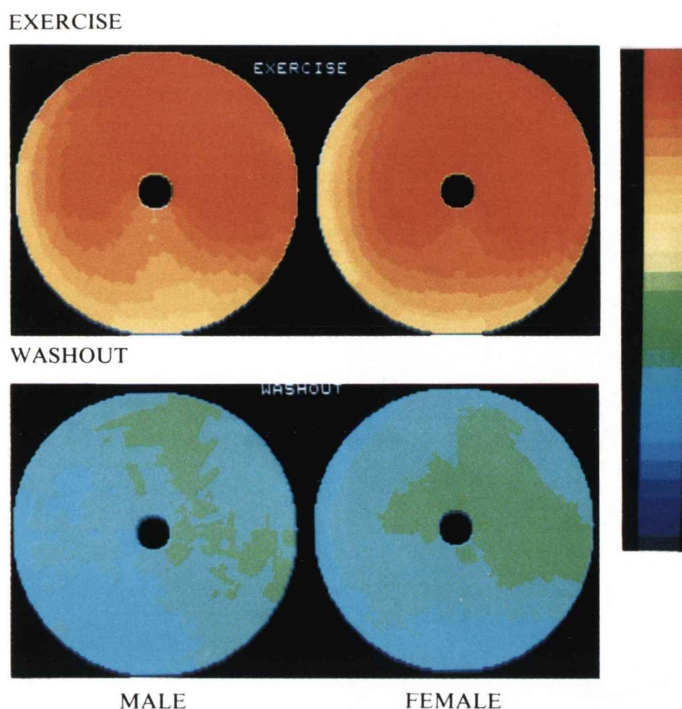


Fig. 2 Myocardial perfusion at peak exercise and washout rate in control subjects.

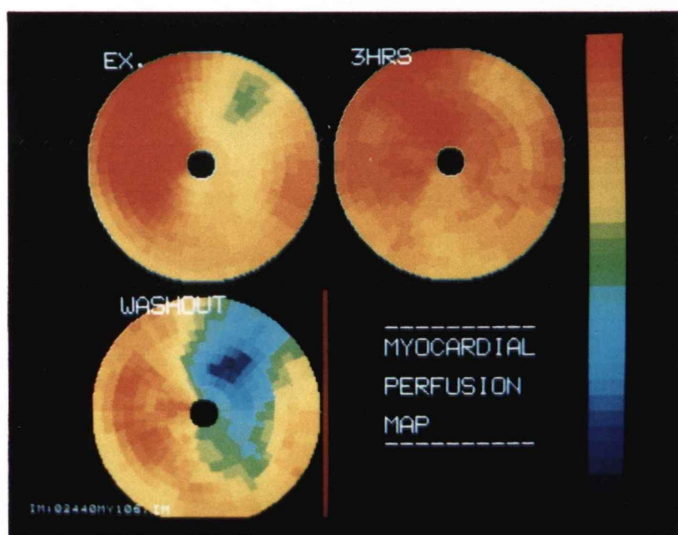


Fig. 3 A patient with anterolateral infarction. In anterolateral region, ischemia was shown at peak exercise, while redistribution was observed 3 hours later. The washout rate was decreased in anterior and lateral walls as shown in blue area.

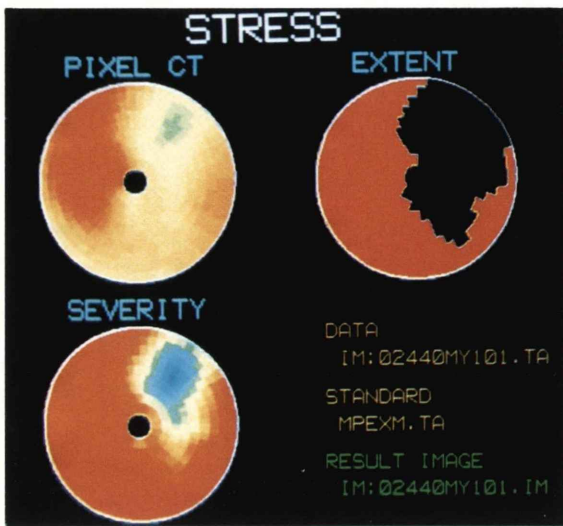


Fig. 4 The extent and severity of abnormality were judged using standard maps (mean-2 S.D.). Normal regions are displayed in red color.

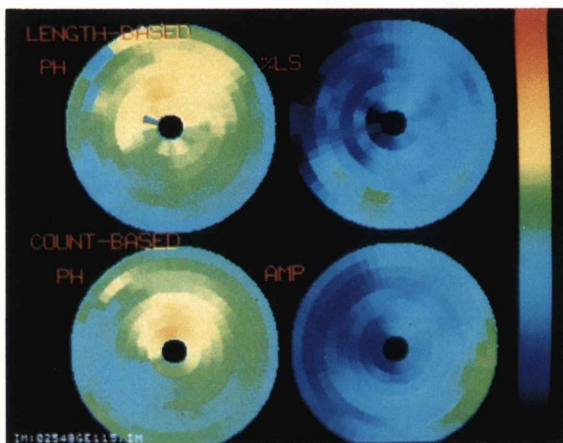


Fig. 5 Length-based and count-based Fourier analyses were applied to calculate parameters of phase and contraction in a patient with anterior wall infarction. The phase was delayed in the anterior region, and the contraction was reduced in anterior and septal regions.

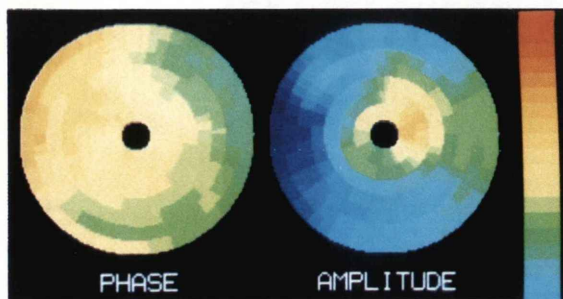


Fig. 6 Phase and amplitude maps in a patient with epicardial pacing. The pacing wire was placed on the left lateral base. The location of initial phase was in good agreement with the site of pacing.

WPW 症候群の症例に応用しその有用性を検討した。虚血性心疾患は心室造影, 冠動脈造影により, 冠動脈疾患と確認された症例である。WPW 症候群は副刺激伝導路切断術と心表面マッピングにより副刺激伝導路の位置を確認できた症例, 心室ペーシングは WPW 症候群術後で epicardial pacing が施行できた症例である。

III. 結 果

1. 心筋 ECT の機能マップ

心機能正常の対照群で作製した TI-201 負荷心筋シンチグラフィの 3 次元心機能マップを Fig. 2 に示した。また画像上, 前壁, 中隔, 下壁, 側壁の中央部に矩形の関心領域を設定し, 前壁に対する相対値として Table 2 に示した。心筋の集積カウントをみると男女ともに下壁は前壁より低値だが男の方が低く, 中隔も男の方が低値となった。一方側壁は前壁と同程度の値となった。Washout は男では下壁中隔が低値, 女では下壁が低値を示すパターンになった。

Figure 3 は心筋梗塞症例で, 負荷時前側壁に血流低下を認め, 3 時間後の再分布を認める。上段の画像で安静および運動時の血流比較が容易にでき, 下段 washout の画像でその異常の領域を明瞭に捕らえることができる。また Fig. 4 のように最大運動時, 安静時, washout のそれぞれに, 平均 -2 SD で設定した標準画像と比較し, 異常部位の範囲, 程度を評価できた。範囲の表示は正常部を赤, 異常部を黒で示し, 程度の表示は異常部と標準パターンとの差を計算し正常部が赤, 異常部が青色系になるように示した。

2. 断層心プールの機能マップ

断層心プール像から作製した, 長さの変化に基づく位相および短縮率マップ, カウント変化に基づく位相および振幅マップを Fig. 5 に示す。この症例は前壁に心筋梗塞を有する症例で, 左心室造影上は segment 2,3(前側壁, 心尖部)の dyskinesis の所見であった。核医学的にも SPECT を用いた心電図同期心プールシンチグラフィの長軸断層で前壁心尖部の dyskinesis が認められた。3 次元機

Table 2 Relative TI-201 counts and washout rate in control men and women

Functional map	Male	Female
Perfusion at peak exercise		
SEP/ANT	.92	.95
INF/ANT	.83	.91
LAT/ANT	.98	.99
Washout		
SEP/ANT	.94	1.00
INF/ANT	.92	.95
LAT/ANT	1.00	1.02

SEP=septum, ANT=anterior wall,
INF=inferior wall, LAT=lateral wall

能マップを作製すると, 前壁中隔の収縮低下と, 前壁心尖部の位相遅延が明らかである。壁運動異常の範囲についてみると, この症例では長さの変化に基づく位相値の方がカウント変化に基づく位相値の範囲より広く計算された。また前壁, 中隔の収縮低下が明瞭であった。

WPW 症候群の副刺激伝導路切断術施行後の患者で, 心表面に置かれたペーシング電極を利用してペーシングが施行できた症例を Fig. 6 に示した。左心室心基部に近い側壁でペーシングされているが, その早期位相部位は良く一致し, 収縮の伝播が評価できた。また WPW 症候群の患者においても, その副刺激伝導路の位置と早期収縮の部位には良好な相関があった。

IV. 考 案

1. ECT 結果評価法の現状

SPECT 装置の普及により従来の planar 像による核医学検査に加えて, 断層による心機能検査も比較的容易に行えるようになってきた。特に心筋 ECT, planar 像に比較してバックグラウンドにも影響されにくく, 冠動脈疾患の診断精度向上が得られている。一方断層心プール法による壁運動評価はその有用性に関する報告はあるが⁸⁾, 現在ルーチンに行われるには至っていない。その理由としては, 心プールの多方向像で多くのセグメントの評価が可能なこと, gated ECT の処理時間が長いこと, また断層により詳細な評価は可能とな

るが、一方スライス数が多くなるので全体的な評価がしにくいことなどの問題があげられる。

断層心筋シンチグラフィの定量化法としては、従来から行われている **circumferential profile** 解析のほか、断層心筋の各スライスを同心円状に極座標系で配置する表示法が提案されており⁹⁻¹⁰⁾、冠動脈疾患の評価に有効であったとしている。また心プール断層法により同様の表示を局所駆出分画に応用した報告もみられる¹¹⁾。これらの処理法は多くの断層画像を 1 枚の画像に集約し、心臓全体の情報理解を容易にする点で意義があるものと考えられる。

2. 心筋断層像の正常機能マップ

正常心筋での血流パターンについては男女差が認められ、男女別の正常パターンの作製が必要である^{10,12)}。この点についてはすでに報告されており、女性では乳房による吸収の影響があるためと考えられている。Eisner らは前壁：下壁が男では >1.0 、女ではほぼ 1.0 であったとしているが¹⁰⁾、著者らの結果では女性でも下壁の方が低い値となった。さらに washout については、中隔と下壁で低い値となったが、運動負荷の際前壁と側壁は最もよく動く部位であり血流増加も大きいためと推定される。TI-201 の心筋内分布とその washout はともに局所の血流分布に比例すると考えられるが、その分布パターンには差が認められる。これは血流分布がマップ上相対値として他部位との比較で表わされるのに対して、washout は同一部位の時間的変化を示す絶対値指標であるためであろう。正常対照者の一般的な設定は難しい問題であり、厳密には性、年齢、負荷量などの因子を考慮した検査の目的ごとの正常パターンが望ましい。

3. 虚血性心疾患への応用

虚血性心疾患においては心筋の **viability** の評価が重要であるが、同一の領域を血流、心筋の TI-201 動態、壁運動異常、収縮の時間的異常という観点から評価できるためその異常をより詳細に検討できる可能性がある。心筋血流の定量化の一つとして、従来から **circumferential profile** が用いられているが¹⁻³⁾、3 次元的評価のためには多くのス

ライスの解析が必要となるため処理が煩雑であり、本法はこれにとって替わる方法となりうるものと期待される。長さの変化に基づく位相評価法は、カウント法と壁運動異常の範囲に差が認められた。これまで左心室造影法は壁運動評価の標準として用いられてきたが、2 方向像のため、Fig. 5 に示すような軽度の差の精度を判定することは困難であり、心筋シンチグラフィや他の検査法と合わせた詳細な検討が必要である。

4. 伝導障害への応用

本法は伝導障害での位相パターンの解析にも利用できる。すでに WPW 症候群においては断層位相像の有用性が示されているが¹³⁾、心機能マップを作製することにより、全体の収縮伝播様式が理解しやすくなる。すなわち、planar 像のような心プールの重なりがなく、また断層位相像の問題点であった心室の収縮末期輪郭内部の位相値の信頼性についても心表面の動きから計算されているため問題とならない。副刺激伝導路の fusion のパターンや複数副刺激伝導路に対する収縮の解析にも有用と思われる。

5. 機能マップの利点と欠点

断層心筋および心プールの機能マップの利点としては、1) 断層の特徴として、2 次元画像では血液プールあるいは心筋の重なりのため評価しにくかった領域が理解しやすいこと、2) 複数の画像を 1 枚の機能マップに集約して評価できること、3) 位相、短縮率、心筋血流、TI-201 washout などの異なるパラメータを同一の次元で評価できるので各領域の種々の情報が総合的かつ定量的に理解しやすいこと、4) 伝導障害の患者では収縮伝播のパターンが 3 次元的に評価できること、などである。一方、本法の不利な点としては、データ処理時間が長くなること、正常値の設定がやや複雑になることである。

V. 結 論

SPECT を用いて心筋血流、TI-201 washout 心室壁の短縮率、位相を計算し、極座標型に機能マップとして表示する処理法を考案した。種々の心

疾患において, これらのパラメータの情報が総合的に3次元情報として理解できる点で優れており, 応用範囲の広い方法と考えられる. また定量評価法としても有用な方法である.

文 献

- 1) Burow RD, Pond M, Schafter AW, et al: Circumferential profiles: A new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* **20**: 771-777, 1979
- 2) Garcia E, Maddahi J, Berman D, et al: Space/time quantification of thallium-201 myocardial scintigraphy. *J Nucl Med* **22**: 309-317, 1981
- 3) 多田 明, 分校久志, 中嶋憲一, 他: 負荷心筋スキャンにおける局所 washout ratio の完全自動測定の有用性. *核医学* **20**: 1329-1337, 1983
- 4) 中嶋憲一, 分校久志, 多田 明, 他: 心プール断層法における壁運動定量化と収縮位相の解析——長さの変化に基づく位相解析法を用いて——. *核医学* **22**: 347-353, 1985
- 5) Nakajima K, Bunko H, Tada A, et al: Quantification of segmental wall motion by length-based Fourier analysis. *J Nucl Med* **25**: 917-921, 1984
- 6) Adam WE, Tarcowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- 7) Links JM, Douglass KH, Wagner HN Jr: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. *J Nucl Med* **21**: 978-982, 1980
- 8) Tamaki N, Mukai T, Ishii N, et al: Multi-axial tomography of heart chambers by gated blood-pool emission computed tomography using a rotating gamma camera. *Radiology* **147**: 547-554, 1983
- 9) Garcia EV, Van Train K, Maddahi J, et al: Quantification of rotational Thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* **26**: 17-26, 1985
- 10) Eisner RL, Gober A, Cerqueira M, et al: Quantitative analysis of normal Thallium-201 tomographic studies. *J Nucl Med* **26**: p. 49, 1985 (abstr)
- 11) Underwood SR, Walton S, Laming PJ, et al: Three-dimensional quantification of left ventricular wall motion by ECG-gated blood pool emission computed tomography. *J Nucl Med* **26**: p. 49, 1985 (abstr)
- 12) Links JM, Fintel DF, Becker LC, et al: Comparison of planar and SPECT imaging in man and woman. *J Nucl Med* **26**: p. 49, 1985 (abstr)
- 13) Nakajima K, Bunko H, Tada A, et al: Nuclear tomographic phase analysis: Localization of accessory conduction pathway in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am Heart J* **109**: 809-815, 1985

Summary

Cardiac Functional Mapping for Thallium-201 Myocardial Perfusion, Washout, Wall Motion and Phase Using Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

Kenichi NAKAJIMA*, Hisashi BUNKO*, Mitsuru TANIGUCHI*,
Junichi TAKI*, Norihisa TONAMI*, Kinichi HISADA*,
Takako HIRANO** and Hidenobu WANI**

**Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa*

***Medical Systems Division, Shimadzu Corporation, Kyoto*

A method for three-dimensional functional mapping of Tl-201 myocardial uptake, washout, wall motion and phase was developed using SPECT. Each parameter was mapped using polar display in the same format. Normal values were determined in Tl-201 exercise study in 16 patients. Myocardial counts were lower in the septum and inferior wall and the difference of counts between anterior and inferior walls were greater in man compared with the perfusion pattern in woman. Washout was slower at septum and inferior wall in man, and slightly slower at inferior wall in woman. In gated blood-pool tomography, length-

based and count-based Fourier analyses were applied to calculate the parameters of contraction and phase. The results of both Fourier analyses generally agreed; however, the area of abnormality was slightly different. Phase maps were useful for the assessment of asynergy as well as in patients with conduction disorders. These cardiac functional maps using SPECT were considered to be effective for the understanding of three-dimensional informations of cardiac function.

Key words: Quantification, Myocardial SPECT, Gated blood pool SPECT, Polar display, Fourier analysis.