

《原 著》

心電同期心筋 SPECT での左心室容積、駆出率の算出

——Threshold 法による心内壁自動抽出——

福士 彰二* 寺岡 悟見**

要旨 ^{99m}Tc 心筋血流製剤を使用した心電同期心筋 SPECT (G-SPECT) の短軸断層像から左心室の拡張末期容積 (EDV), 収縮末期容積 (ESV), および, 駆出率 (LVEF) を算出する方法を考案した. 1 心拍を 8 分割した 180 度 G-SPECT を行い, Threshold 法により拡張末期像と収縮末期像の心内壁を自動抽出した. ファントム実験を実施し最適 Threshold 値 45% を得た. 本法の妥当性を評価するため, G-SPECT の前後 10 日以内に左室造影 (LVG) を施行できた患者 12 名に対する相関を求めた. LVG との相関は相関係数 0.918 (EDV), 0.935 (ESV), 0.900 (LVEF) であった. 本法は心内壁を自動抽出しているため, 客觀性と再現性に優れ, 心筋血流分布と心機能の同時評価が簡便に行えると考えられた.

(核医学 34: 1-6, 1997)

I. はじめに

近年, $^{201}\text{TlCl}$ に代わる心筋製剤として, ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤が発売され (^{99m}Tc -Hexakis(2-methoxy-2-isobutyl isonitrile) (MIBI), ^{99m}Tc -1,2bis[bis(2-ethoxyethyl)phosphino]ethane (Tetrofosmin)), 臨床に使用されている. これらの製剤の特徴の一つに高い心筋内の滞留性^{1,2)}がある. この性質により撮像時期や撮像時間が制限されない. また, ^{99m}Tc 標識製剤のためエネルギー特性がガンマカメラに適し, 短半減期で大量投与が可能であり, 心電同期心筋 SPECT (G-SPECT) 収集に適しているといえる^{3~5)}. さらに, ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤を使用した G-SPECT を行い, 拡張末期像 (ED 像) および収縮末期像 (ES 像) から,

それぞれの左室容積 (G-EDV, G-ESV) および駆出率 (G-LVEF) を算出する方法についても, 国内外についていくつか報告されている^{6~8)}. しかしこれらの報告は, 心内壁輪郭を手動でトレースするなど, 解析者間での不一致が懸念される. 今回, われわれは Threshold 法により心内壁を自動抽出し, これらの値を算出する方法を考案した. この方法の妥当性を評価するために左室造影法 (LVG) と比較検討した.

II. 方法および対象

1. 左室容積の算出方法

使用装置は(株)GE 横河メディカルシステム社製 Starcam4000XR/T. 収集および, 再構成条件を Table 1 に示す. G-SPECT 短軸断層像から左室容積を求める下記の内容のソフトウェアを作成し検討に用いた.

STEP 1: 心内腔の大きさや心筋のカウントを参考に, ED, ES 像を視覚的に選択する.

STEP 2: ED, ES 像に対して垂直長軸断層像を参考に, 心尖部から心基部までの解析対象スライスを指定する.

* 黒石市国民健康保険黒石病院放射線部

** GE 横河メディカルシステム(株)

受付: 8 年 7 月 1 日

最終稿受付: 8 年 11 月 6 日

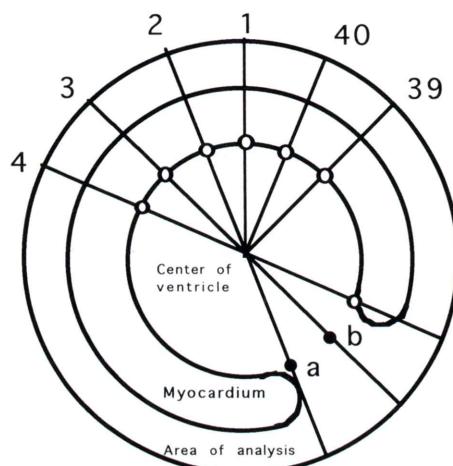
別刷請求先: 青森県黒石市北美町 1-70 (☎ 036-03)

黒石市国民健康保険黒石病院放射線部

福士 彰二

Table 1 Acquisition and reconstruction parameters

Dose	600–740 MBq
Collimator	Low energy high resolution
Matrix size	64×64 (Pixel size=5.4 mm)
Acquisition angle	180° (5.6°×32 steps)
Acquisition time	40 beats/step (8 frames/cardiac cycle)
Reconstruction type	Filtered Back projection
Pre-filter	Hanning (cut off=0.7 cycle/cm)
Back-projection	Ramp
Attenuation correction	N/A

**Fig. 1** Automatic detection of endocardial borders by threshold method.

○: Determined by threshold method.
●: Calculated from average radius of circles.

STEP 3: 解析対象スライスを同時表示し, 全スライスで最適な左心室中心と解析領域を指定する.

STEP 4: Threshold 値 (Th 値) による心内壁の自動抽出と心室中心からの距離の平均(半径)を算出する. すなわち, 指定した心室中心から 40 本の放射線を描き, その直線上で Th 値の位置(心内壁)までの距離を自動的に求め, その平均を算出する.

STEP 5: STEP 4 で Th 値が存在しなかった部分は, 心内壁がスムーズな円形であると仮定し, 求め得た半径の平均から計算上で求める (Fig. 1, Fig. 2). さらに, その半径から円の面積を算出しスライス厚を乗じて左室容積とする.

STEP 6: G-EDV, G-ESV, G-LVEF および, 一回拍出量 (SV), 心拍出量 (CO), 一回拍出係数 (SI), 心係数 (CI) も計算し同時に表示する (Fig. 3).

2. ファントム実験による Threshold 値の決定

心内壁を求める最適 Th 値を決定し, 放射能濃度による変化を確認するために下記のファントム実験を行った. ファントムは(株)京都科学社製の心臓, 肝臓ファントム(左室容積 124.0 ml)を使用した. 心筋内に 4 種類の濃度の ^{99m}Tc 水溶液 (7.4, 14.8, 22.2, 29.6 MBq/100 ml) を入れ, Th 値を 40% から 55% まで 5% 間隔で左室容積の算出を行った.

3. LVG と G-SPECT での左室容積, 駆出率の比較

対象は虚血性心疾患 12 例, 年齢は 39 歳から 76 歳, 平均 60 歳であった. 対象の 12 例に対し LVG と G-SPECT を施行し, それぞれの EDV, ESV, および, LVEF を算出しその相関を求めた. なお, 対象群は検査時期が前後 10 日以内のものとした. 安静仰臥位にて静注し一定時間後 (MIBI では 60 分, Tetrofosmin では 30 分) に G-SPECT を施行し, 方法 2 で求めた最適 Th 値の臨床での妥当性を確認するため, Th 値 40%, 45%, 50% でそれらの値を算出した. また, LVG での左室容積と駆出率の算出は(株) GE 横河メディカルシステム社製 ADVANTX-DX を使用し, Area-length 法で行った.

III. 結 果

1. Threshold 値の決定

真の値 (124.0 ml) に対して心筋内の最大カウントの 55% の位置, すなわち Th 値 55% では各濃度の平均は 147.1 cm^3 で過大評価され, しかも濃

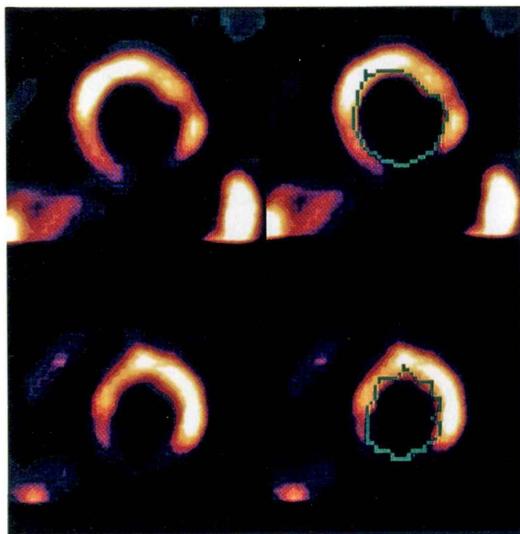


Fig. 2 A representative case. This patient has inferior infarction. On the left are original short axis images, on the right are myocardial borders on short axis images.

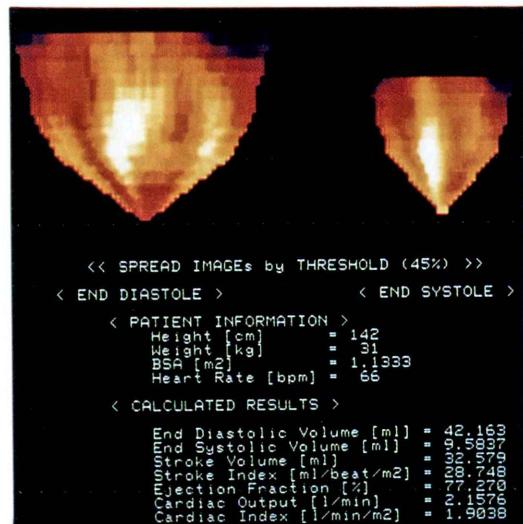


Fig. 3 Review of spread images and calculated results. Upper left is ED image, upper right is ES image.

度依存性があった。Th 値 50% では平均 133.2 cm³, Th 値 45% では 123.4 cm³, Th 値 40% では 114.6 cm³ で濃度間の変動は少なかった。真の値に一番

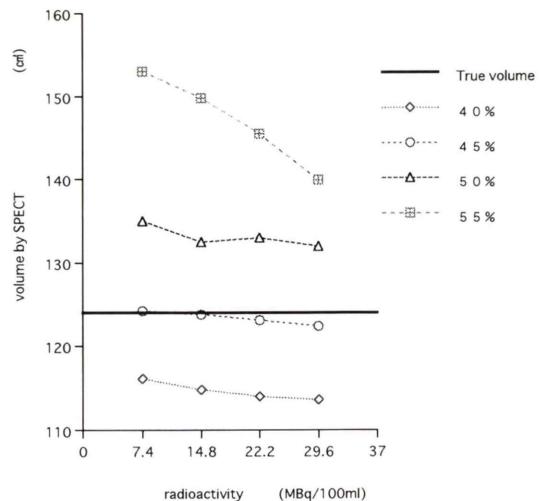


Fig. 4 Phantom studies.

近い Th 値 45% が最適 Threshold 値として得られた (Fig. 4).

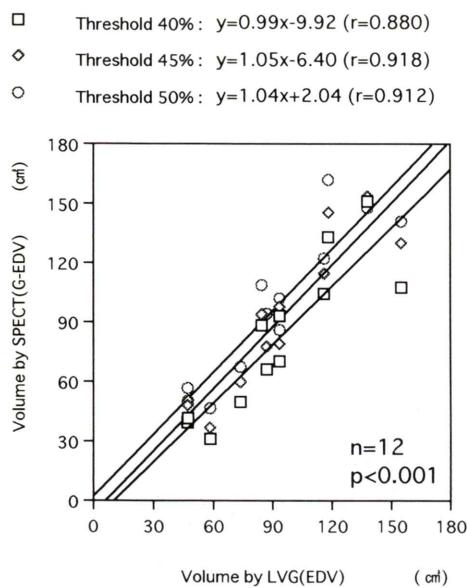
2. LVG と G-SPECT での左室容積、駆出率の比較

Fig. 5 (a-c) に虚血性心疾患 (12 例) でのそれぞれの相関を Th 値 40%, 45%, 50% について示す。EDV と G-EDV の相関はそれぞれの Th 値で, $r=0.880$, $r=0.918$, $r=0.912$ であった (Fig. 5-a)。ESV と G-ESV の相関はそれぞれの Th 値で, $r=0.935$, $r=0.935$, $r=0.931$ であった (Fig. 5-b)。LVEF と G-LVEF の相関はそれぞれの Th 値で, $r=0.834$, $r=0.900$, $r=0.758$ であった (Fig. 5-c)。

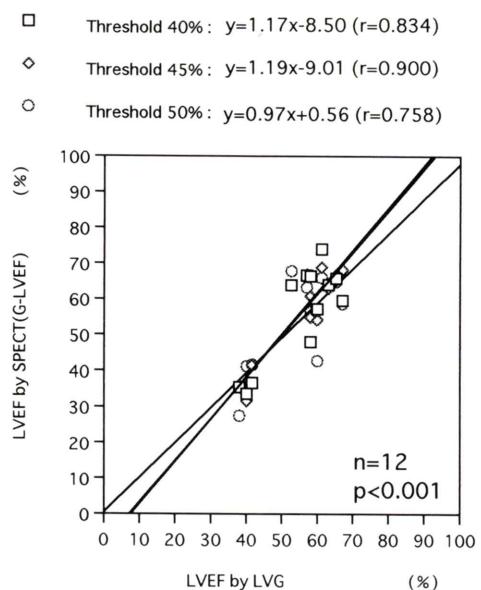
IV. 考 察

LVG での左室容積の算出は確立された方法として評価されているが、被検者にとっては侵襲的であり負担が大きい。これに対し、非侵襲的な検査として、RI を使用したさまざまな方法が考案され臨床に使用されている。中でも心拍同期心ピールシンチグラフィ検査はその精度に高い信頼性を有している。

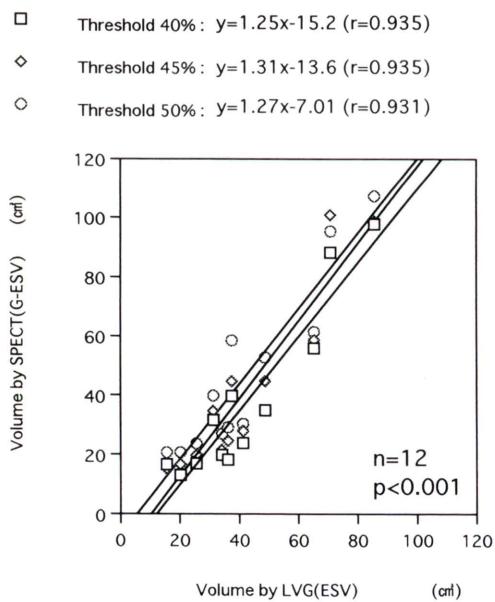
平木ら⁹⁾は、2 ゲートでの心電同期 RI 心ピール SPECT から左室容量を算出し、LVG とよく一

**Fig. 5a** End diastolic volume.

Correlation with end-diastolic volume by gated SPECT (G-EDV) and end-diastolic volume by left ventriculography (EDV)

**Fig. 5c** LVEF.

Correlation with LVEF by gated SPECT (G-LVEF) and LVEF by left ventriculography (LVEF)

**Fig. 5b** End systolic volume.

Correlation with end-systolic volume by gated SPECT (G-ESV) and end-systolic volume by left ventriculography (ESV)

致した結果を示した。近年、 ^{99m}Tc 心筋血流製剤を用いた心機能解析についてもいくつか報告されている。心筋の収縮に伴うカウントの上昇に注目した汲田ら⁹⁾の報告では、グローバルなカウント上昇率 (Global % CI) が LVG から算出した LVEF と良好な相関があると報告した。また、局所壁運動についても汲田ら¹⁰⁾の報告では MIBI 心拍同期 SPECT から求めた心筋収縮率 (%WT) と LVG, UCG が共に高い相関を示すと報告し、杉原ら¹¹⁾も同様の報告をした。

一方、心内腔の辺縁を抽出しその収縮度に注目した DePuey ら⁸⁾は、水平長軸断層像と垂直長軸断層像で画面上の Threshold を参考に、手動で心内壁をトレースし Simpson 法により左室容積、および LVEF を求める方法を報告した。しかし、DePuey ら⁸⁾の方法では解析者間の不一致率が 25% であると報告しているように、手動で心内壁をトレースしていること、および、心内腔を橢円近似していることにより、その再現性と精度に限界があると思われる。今回、複数の解析者間の一

致率については検討していないが方法論上解析者が結果に関与する部分は少なく、解析者間の不一致はかなり防げると考えられる。また、左室瘤等ではこの仮定は成り立たないと考えられるが、グローバルな機能を評価する本法は心筋の梗塞領域を含め、心内壁の抽出位置は視覚評価とほぼ一致し (Fig. 2), LVG との相関も良好であった。ただし、本法を局所壁運動解析に応用する場合、この仮定の精度、および心臓のネジレ等について再度検討する必要があり、今後の課題と思われる。 ^{99m}Tc 心筋製剤の性質上、本法により投与時の心筋血流分布と撮像時の心機能の同時評価が可能であり、両者の乖離を示す疾患(気絶心筋等)に応用できる可能性が示唆された。

今後、壁運動の著しく低下した症例、欠損が大きく手動での輪郭抽出が困難な症例、および心筋肥大を呈している症例等での臨床的有効性についても検討したいと考える。

G-SPECT による心機能の解析は、LVG や UCG の二次元画像での解析とは異なり、三次元情報を有した新しい解析方法^[12,13]である。今後、本法が改良され、これから心臓核医学検査の新しい方向として臨床に貢献することを期待する。

V. まとめ

1. G-SPECT 短軸断層像から Threshold 法で心内壁を求め、左室容積、LVEF を算出する方法を考案した。

2. ファントム実験から心内壁決定に最適な Threshold 値 45% が得られた。また臨床評価においても、この値の妥当性が証明された。

3. 虚血性心疾患 12 例について LVG と G-SPECT での左室容積、LVEF の比較検討を行った。EDV, ESV, LVEF と G-EDV, G-ESV, GLVEF との相関は、それぞれにおいて良好であった。

4. 一回の検査で心筋の血流分布と心機能の同時評価ができる本法は心臓核医学検査の新しい方向を示唆している。

謝辞：稿を終えるにあたり、貴重な臨床データをご提供して下さった黒石病院内科の八木温子先生、ならびに本研究をご指導して下さった弘前大学放射線医学教室の高橋聰先生、また実験に協力して下さった放射線部の山口技師長はじめ、技師の方々に深謝します。

文 献

- 久保敦司, 中村佳代子, 三宮敏和, 清水正三, 橋本省三, 岩永史郎, 他: ^{99m}Tc -MIBI の第 1 相臨床試験. 核医学 **28**: 1133-1142, 1991
- 久保敦司, 中村佳代子, 橋本 順, 三宮敏和, 岩永史郎, 橋本省三, 他: 新しい心筋イメージング剤 ^{99m}Tc -PPN1011 第 1 相臨床試験. 核医学 **29**: 1165-1176, 1992
- Takeda T, Toyama H, Ishikawa N, Satoh M, Masuoka T, Ajisaka R, et al: Quantitative phase analysis of myocardial wall thickening by technetium-99m 2-methoxy-isobutyl-isonitrile SPECT. Ann Nucl Med **6** (2): 69-78, 1992
- 今井嘉門, 西尾裕香里, 荒木康史, 斎藤 順, 小沢友紀雄, 八杉忠男, 他: 心拍同期 ^{99m}Tc -methoxy isobutyl isonitrile (MIBI) 画像の特性. 核医学 **29**: 695-699, 1992
- 今井嘉門, 荒木康史, 斎藤 順, 小沢友紀雄, 八杉忠男, 鎌田力三郎: ^{99m}Tc -methoxy isobutyl isonitrile (MIBI) を用いての心拍同期 SPECT による左室壁運動異常の検出. 核医学 **30**: 323-330, 1993
- 汲田伸一郎, 西村恒彦, 植原敏勇, 下永田剛: ^{99m}Tc -MIBI を用いた心機能評価——GATED PLANAR IMAGEによる検討——. 核医学 **28**: 591-597, 1991
- Kouris K, Abdel-Dayem HM, Taha B, Ballani N, Hassan IM, Constantinides C: Left ventricular ejection fraction and volumes calculated from dual gated SPECT myocardial imaging with ^{99m}Tc -MIBI. Nucl Med Commun **13**: 648-655, 1992
- DePuey EG, Nichols K, Dobrin斯基 C: Left Ventricular Ejection Fraction Assessed from Gated Technetium-99m-Sestamibi SPECT. J Nucl Med **34**: 1871-1876, 1993
- 平木祥夫, 清水光春, 上者郁夫, 青野 要, 柳 英清, 因藤春秋, 他: Single Photon Emission Computed Tomography による左室容量の測定. 核医学 **25**: 1229-1233, 1988
- 汲田伸一郎, 隅崎達夫: ^{99m}Tc -MIBI 心拍同期心筋シンチグラフィを用いた心機能解析 map の開発——三検出器型ガンマカメラシステムによる臨床応用——. 核医学 **31**: 43-52, 1994
- 杉原秀樹, 玉木長良, 野澤真人, 稲本康彦, 谷口

- 義光, 仲口孝浩, 他: 単検出器型ガンマカメラを用いた心電同期 ^{99m}Tc -MIBI SPECT による左室壁カウントの評価. 核医学 31: 1201-1208, 1994
- 12) 浅原 朗: 最新臨床核医学, 永井輝夫, 佐々木康人編, 臨床応用編, 朝倉書店(株), 東京, 1986, pp. 201-207
- 13) 西村恒彦: 心筋 SPECT の新しい展開, 南江堂(株), 東京, 1994, pp. 105-119

Summary

Calculation of Left Ventricular Volume and Ejection Fraction from ECG-Gated Myocardial SPECT: Automatic Detection of Endocardial Borders by Threshold Method

Shoji FUKUSHI* and Satomi TERAOKA**

*Department of Radiology, Kuroishi Municipal Hospital, Aomori

**GE Yokogawa Medical Systems, Ltd., Tokyo

A new method which calculate end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) and ejection fraction (LVEF) of the left ventricle from myocardial short axis images of ECG-gated SPECT using ^{99m}Tc myocardial perfusion tracer has been designed. Eight frames per cardiac cycle ECG-gated 180 degrees SPECT was performed.

Threshold method was used to detect myocardial borders automatically. The optimal threshold was 45% by myocardial SPECT phantom. To determine if EDV, ESV and LVEF can also be calculated by this

method, 12 patients were correlated ventriculography (LVG) for 10 days each.

The correlation coefficient with LVG was 0.918 (EDV), 0.935 (ESV) and 0.900 (LVEF). This method is excellent at objectivity and reproducibility because of the automatic detection of myocardial borders. It also provides useful information on heart function in addition to myocardial perfusion.

Key words: ^{99m}Tc -MIBI, ^{99m}Tc -tetrofosmin, ECG-gated SPECT, Short axis, Threshold.