

《技術報告》

心電図同期 ^{99m}Tc 心筋血流 SPECT における
左室容積値，駆出率自動算出の検討

——ファントムを用いた基礎的評価——

木下 佳美* 南部 一郎* 遠山 淳子** 大場 覚**

要旨 心電図同期心筋血流 SPECT から左室辺縁自動描出法に基づき左室容積，左室駆出率を自動算出するプログラム (Quantitative Gated SPECT) について， ^{99m}Tc 水溶液を用いた心臓ファントムで基礎的評価を行った。データ収集は L 字型 180° 収集と対向型 360° 収集で行った。全過程で自動処理が可能で，所要時間は 3～4 分で，再現性良好であった。前処理フィルターの cut off 値は 0.45 が適当であった。cut off 値 0.45 において左室容積値は，L 字型収集で実測値の 93%，対向型収集で 95.9% を示した。左室容積値は，L 字型収集の方が対向型収集よりやや低値で有意差を認めた。90° 欠損および中隔，側壁の 180° 欠損モデルでは，欠損部の左室内壁描出は妥当であった。前壁，下後壁の 180° 欠損モデルでは，欠損部の内壁が前方へ逸脱し，左室容積値は前壁欠損で過大に，下後壁欠損で過小に評価された。今回の前壁，下後壁の 180° 欠損モデルに類似する症例では，慎重に評価する必要があると考えられた。

(核医学 35: 77-83, 1998)

I. はじめに

近年， ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤は， ^{201}Tl とともに心筋製剤として広く臨床に用いられ， ^{201}Tl に比べ比較的高エネルギーの γ 線を放射し，かつ短半減期で，通常成人で 740 MBq の大量投与が可能などの特徴から，従来の心筋血流像に加え，左心機能の評価として初回循環時法，心電図同期心筋血流 SPECT (gated-SPECT) 等に用いられている。 ^{99m}Tc 製剤を用いた gated-SPECT に基づく左室機能解析法は，左室収縮による心筋 count density の

上昇を評価する方法¹⁻³⁾ と，左室内腔を描出する方法⁴⁻⁸⁾ とに大別される。最近，われわれの施設に gated-SPECT から左室辺縁自動描出法に基づき拡張期末期容積 (EDV)，収縮期末期容積 (ESV)，左室駆出率 (LVEF) をほぼ自動的に算出するプログラム Quantitative Gated SPECT (QGS) が導入された。今回，臨床に用いる前段階として，本プログラムの機能性，前処理フィルターの cut off 値と左室容積値の変化，血流欠損モデルでの左室内壁描出の妥当性や収集方法の違いによる左室容積値の変化などについて，ファントム実験による基礎的評価を行ったので報告する。

II. 方 法

1. 本法の原理

本プログラムは Germano ら⁷⁾ により開発，報告された。原理は，まず閾値法により左室を一集合

* 名古屋第二赤十字病院放射線科

** 名古屋市立大学医学部放射線医学教室

受付：9 年 10 月 4 日

最終稿受付：9 年 12 月 25 日

別刷請求先：名古屋市昭和区妙見町 2-9 (☎ 466-8650)

名古屋第二赤十字病院放射線科

木 下 佳 美

体とし、集合体の中心点より放射状直線を引き、circumferential profile analysis における最大カウントピクセルをもって心筋中心点を設定、心筋中心点から内外にカウント分布をガウス関数に近似させ、標準偏差に対する 65% 値点を心内膜面、心外膜面として描出するというものである。広範な血流欠損の場合は、smoothing や楕円近似により

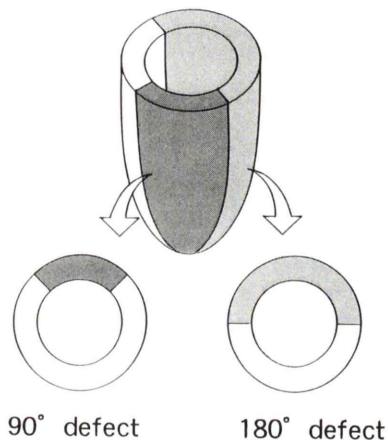


Fig. 1 Defect parts of a cardiac phantom used for this investigation.

欠損部の左室内壁を描出し、弁平面の決定には 25% のカウント閾値法が用いられている。

2. ファントム

心臓ファントム (RH-2 型, (株)京都科学社製) を用いた。肺野部分には肺に近い CT 値を有するように、発泡スチロールの小球 (径約 4 mm) で充填し水を封入した。肺野の水分濃度は約 30% であった。縦隔, 左右心室腔には水を封入した。血流欠損のない心筋モデルとして, 左室心筋部に 4 種類の異なる濃度の ^{99m}Tc 水溶液 (約 250, 200, 120, 40 KBq/ml) を封入した。90°, 180° 血流欠損を有する心筋モデルとして, シリコンゴム製の欠損を 90°, 180° に分割し, 前壁, 中隔, 下後壁, 側壁に固定した後, 約 200 KBq/ml の ^{99m}Tc 水溶液を封入した (Fig. 1)。左室内腔容積は実測で約 173 ml であった。

3. 収集方法

使用装置は相対角 90°, 180° 可変型 2 検出器型ガンマカメラ (ADAC VERTEX/ADAC 社製), コリメータは VXHR (低エネルギー SPECT 高分解能) を装着し, マトリックスサイズは 64×64 (ピクセルサイズ約 5.9 mm) であった。2 検出器を

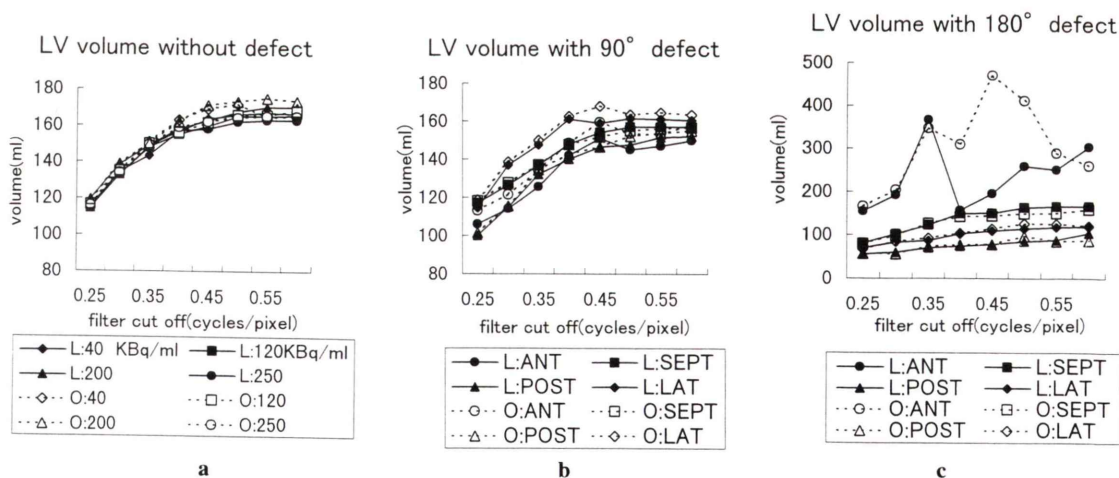


Fig. 2 LV volumes measured by this algorithm in correspondence different cut off frequency without defect by the different content (a), with 90-degree defect (b) and 180-degree defect (c). L: 180-degree projection of L position. O: 360-degree projection of opposed position.

L字型に配置し、L字型 180° 収集を右前斜位 45° から左後斜位 45° まで 40 秒/1 step, $2.8^\circ \times 64$ step で行った (以下 L字型収集). 引き続き 2 検出器を対向型に配置し、対向型 360° 収集を 40 秒/1 step, $5.6^\circ \times 64$ step で行った (以下対向型収集). 回転半径は、L字型収集で最大 20 cm, 最小 15.8 cm, 対向型収集で最大 20 cm, 最小 14.7 cm であった. 心電図はジェネレータで 60 回/分の R 波を出力し、R-R 間隔を 8 分割した.

4. データ処理

自動的に心筋 SPECT を作成するプログラムである Auto-SPECT[®]) にて再構成し、gated-SPECT 像を得た. 前処理フィルターに二次元 Butterworth を用い、Ramp filter によって再構成した. gated-SPECT 像から QGS を用いて、EDV, ESV, LVEF を算出した. 今回はファントムを用いたので、EDV, ESV の平均値を左室容積値 (ml) とし、以下のデータ分析を行った.

5. データ分析

1) すべてのモデルにおいて、同一の収集データについて二回のデータ処理を行い、2 回の左室容積値を比較し、再現性を検討した.

2) 前処理フィルターの cut off 値を 0.25~0.60 (cycles/pixel) で 0.05 毎に変化させ、左室容積値の変化を検討し、左室容積の実測値と比較した. order は 10 で一定とした.

3) 無欠損モデルを用い、4 つの異なる濃度で左室容積値を比較した.

4) 無欠損モデルおよび 90° 欠損, 180° 欠損モデルを用い、左室容積値を L字型収集と対向型収集とで比較した.

5) 90° 欠損, 180° 欠損モデルを用い、欠損部位の違いによる左室容積値の変動を検討し、自動描出された左室内壁の妥当性を検討した.

6) 心筋を 8 領域に分割 (前壁, 中隔, 下後壁, 側壁, 各 4 領域を心尖部側, 心基部側に二分) した各領域において、心周期を 8 分割した各フレームで、 3×3 pixel の関心領域 (ROI) の平均カウントを測定し、L字型収集, 対向型収集とで比較した.

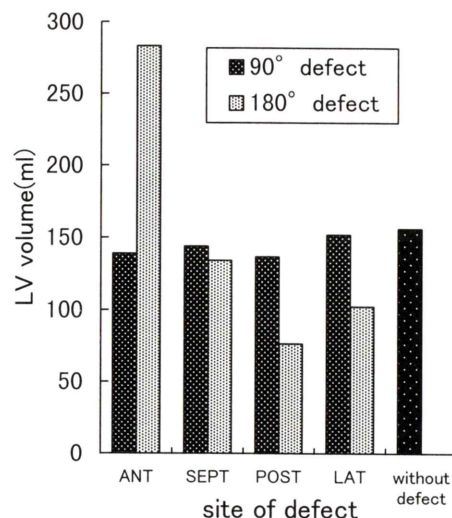


Fig. 3 LV volumes with defect of different site.

6. 統計処理

結果の一部は平均±標準偏差で表示した. 統計処理では、二群の比較には paired t-test または Wilcoxon の符号付順位検定を、三群以上の比較には分散分析を行った後 Scheffe の方法を用いた. 相関の検定には Pearson の相関係数を用いた. p 値 5% 未満を有意とした.

III. 結 果

無欠損モデル, 90° および 180° 欠損モデルのいずれにおいても、生データから左室容積値算出まで自動処理が可能であった. 処理の所要時間は約 3~4 分と短時間での処理が可能であった.

1) 左室容積値算出の再現性検討で、1 回目処理と 2 回目処理の左室容積値には、相関係数 $r=0.999$ と高い相関を認め、きわめて良好な再現性を示した.

2) 各濃度の無欠損, 90° 欠損および前壁を除く 180° 欠損モデルで、L字型, 対向型収集とも前処理フィルターの cut off 値の増加に伴い左室容積値は漸増し、0.45 以上ではほぼ一定となった. 前壁の 180° 欠損モデルでは左室容積値の変動が大きく、一定の傾向はみられなかった. 無欠損モデルで cut off 値 0.45 における左室容積値は、L字

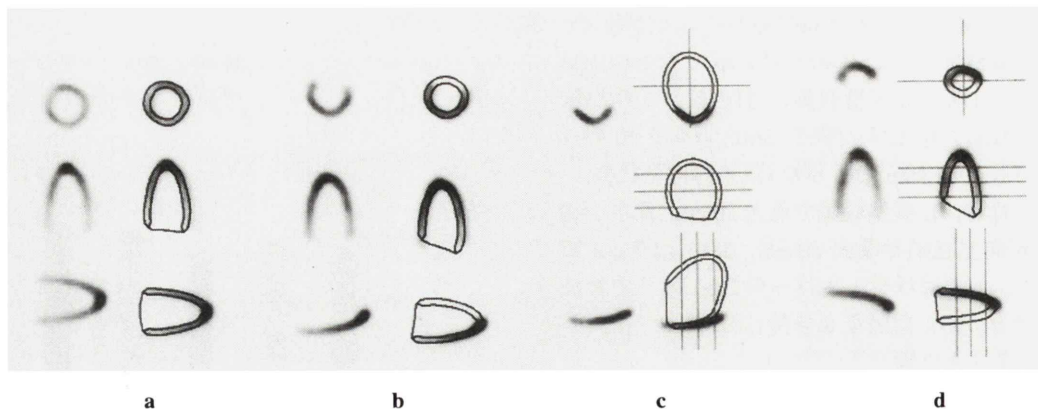


Fig. 4 Myocardial contours overlaid by QGS onto a short-axis image, a midhorizontal and a midvertical long-axis image of cardiac phantom without defect (a), with 90-degree defect of anterior wall (b), with 180-degree defect of anterior wall (c), and with 180-degree defect of posterior wall (d).

型収集 160.9 ± 2.6 ml, 対向型収集 165.9 ± 4.8 ml であり, 左室内腔の実測値 173 ml のそれぞれ 93.0%, 95.9% を示した (Fig. 2 a-c).

3) 各濃度の無欠損モデルにおける左室容積値は, いずれの収集方法でも濃度の変化で有意差を認めなかった (Fig. 2 a).

4) 無欠損, 90°欠損モデルでの左室容積値を, L字型, 対向型収集で比較すると, L字型で若干低値に算出される傾向があり, 両者には有意差を認めた. 180°欠損モデルでは値のばらつきが大きく, 2つの収集方法に有意差を認めなかった.

5) 90°欠損および中隔, 側壁の180°欠損モデルの左室容積値は, 無欠損モデルと比較し有意差を認めなかった. 前壁, 下後壁の180°欠損モデルの左室容積値は, それぞれ高値, 低値を示し, 両者とも無欠損モデルと比較し有意差を認めた (Fig. 3). 自動描出された心筋輪郭を評価すると, 90°欠損モデルでは左室内壁の描出はほぼ妥当であった. 前壁, 下後壁の180°欠損モデルでは, 欠損部の左室内壁が前方へ逸脱し, 自動認識される左室内腔中心点が適正な位置より前方へ偏位していた (Fig. 4 a-d).

6) 心筋の平均カウントは, L字型収集で 162.9 ± 20.6 (心基部側で 143.7 ± 8.1 , 心尖部側で

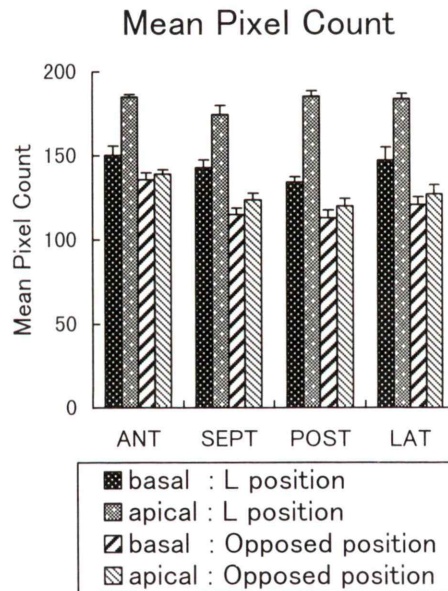


Fig. 5 Mean pixel counts of ROI (3 × 3 pixel) measured on 8 areas of cardiac wall.

182.1 ± 5.8), 対向型収集で 124.3 ± 9.6 (心基部側で 121.2 ± 9.9 , 心尖部側で 127.5 ± 8.3) であった (Fig. 5). L字型収集での平均カウントは, 対向型収集に比べ高値であり有意差を認めた. 心基部側/心尖部側比は L字型収集で 0.79, 対向型収集で 0.95 であり, L字型収集では心尖部側に比べ心

基部側のカウントがより低い傾向が見られた。

IV. 考 察

DePuey ら⁵⁾は 1993 年に左室内腔辺縁を抽出し、画面上手動で心内腔をトレースし、左室容積、駆出率を求める方法を報告したが、解析者間の不一致率は 25% であった。1996 年には福士ら⁶⁾が閾値法による心内壁自動描出に基づく左室容積、駆出率の算出について報告し、解析者間の不一致はかなり防げたとしている。本法は自動処理プログラムであり、人的操作による誤差の生じる余地はきわめて少ない。今回、同一の収集データの処理を 2 回行ったが、再現性はきわめて良好であった。

前処理フィルターの cut off 値の増加に伴い、左室容積値も漸増したが、cut off 値 0.45 以上ではほぼ一定となった。画質も考慮し、cut off 値は 0.45 が適当と考えられたが、あくまでもファントムにおける最適値であり、実際の症例では、吸収、散乱の影響で、適正な cut off 値は変化するものと考えられる。

今回無欠損モデルでは 4 種類の濃度の ^{99m}Tc 水溶液 (約 250, 200, 120, 40 KBq/ml) を用い、各欠損モデルについては 200 KBq/ml の ^{99m}Tc 水溶液を用いた。濃度 200 KBq/ml は、実際の症例や健常者のピクセルカウントを参考に、ほぼ同等のピクセルカウントとなるように設定した濃度である。無欠損モデルでは、心筋集積のより低い症例を想定して、より低濃度の溶液も用いて検討したが、濃度による左室容積値の変動は認められなかった。

本法についての報告はすでに散見されており、Germano ら⁷⁾は臨床例で、 ^{99m}Tc -MIBI を用いた初回循環時法と本法の LVEF に良好な相関を認めたとし、本邦でも汲田ら⁸⁾が心プールシンチの LVEF と比較し、良好な相関を認めたと報告している。原理や臨床の有用性についての報告はみられるが、広範な血流欠損を想定したファントムを用いて、欠損部に妥当な壁描出が得られるかを検討した報告はわれわれの検索した限りなかった。

Germano ら⁷⁾は、本プログラムの主目的は EDV, ESV でなく LVEF を算出することであり、左室内壁の描出にある程度の誤差があったとしても、EDV, ESV とともに同様の誤差があれば問題にならないとしている。しかし、心筋輪郭が著しく逸脱し、左室容積に大きな誤差が生じれば、LVEF を過大評価あるいは過小評価する可能性はある。また、Germano ら⁷⁾は、広範な血流欠損のある場合でも、smoothing や楕円近似などにより左室内壁の描出は可能としている。今回われわれの目的の一つは、広範な血流欠損を想定したファントムを用いて左室容積値を比較することで、左室内壁描出の妥当性を評価することであった。90°欠損および中隔、側壁の180°欠損モデルでは、左室内壁描出は妥当と考えられたが、前壁、下後壁の180°欠損モデルでは、左室容積値は前壁欠損で過大に、下後壁欠損で過小に評価され、欠損部の左室内壁はともに前方へ逸脱していた。その理由は不明であるが、本プログラムの有する傾向と推測される。今回は完全な血流欠損を想定しているが、臨床例では高度血流低下例でもある程度の集積が残存する場合が多く、臨床例では今回の実験に比べより妥当な左室内壁の描出が得られる可能性はあるものと推測される。しかし、広範囲に及ぶ完全な血流欠損例では、今回の前壁、下後壁の180°欠損モデルのように適正な心筋輪郭が得られない可能性に留意し、適正に心筋輪郭が描出されているか確認することが必要である。また、心室瘤あるいは肥大型心筋症などでも、適正な心筋輪郭が得られないなどの問題点も指摘されており、これらの症例についても慎重に評価する必要がある。

L 字型 180°収集と対向型 360°収集の 2 つの収集方法を比較し、収集方法の違いが左室容積値に影響を与えうるか検討した。Germano ら⁷⁾は 1 心拍の分割数を変化させ、LVEF が変化すると報告しているが、検出器の配置や収集角度を変えて左室容積値の変化を検討した報告は、われわれの検索した限りなかった。今回の検討で、対向型収集に比べ、L 字型収集で左室容積値はやや低値を示

した。理由としては、L 字型収集の方が心尖部と心基部の平均カウントの差がより大きい点があげられる。本プログラムでの弁平面の決定には 25% のカウント閾値法が用いられ、L 字型収集では心基部側のカウントがより低く、弁平面をより低位置に認識するためと推測される。以上のように収集方法の違いはカウント分布の相違を生じ、左室容積値に影響を与える要素と考えられる。

心筋の平均カウントは、L 字型収集でより高値を示した。その理由は、L 字型収集では、心臓により近い領域のデータのみを収集しているためと考えられる。この結果は、L 字型収集でより良好な血流分布画像が得られる可能性を示唆するものである。

今回はファントムによる検討を行ったが、実際の人体内では吸収や散乱の増大、不均一性が生じる。また、心筋への集積程度や体格などの個体差、呼吸や心臓の動き、体動などの影響により、収集データのばらつきが増加するものと考えられる。また、収集方法の違いで左室容積値が変化することを指摘したが、EDV、ESV の比により算出される LVEF の変化については、今後実際の症例での検討が必要と考えられる。

V. 結 語

1) gated-SPECT から EDV、ESV、LVEF を自動的に算出するプログラムについて心臓ファントムを用いた基礎的評価を行った。

2) 全過程で、短時間の自動処理が可能で、再現性はきわめて良好であった。

3) 前処理フィルターの cut off 値は 0.45 が適当と考えられた。cut off 値 0.45 において無欠損モデルの左室容積値は、L 字型収集で実測値の 93%、対向型収集で 95.9% であった。

4) 無欠損、90° 欠損モデルにおける左室容積値は、対向型収集に比べ L 字型収集でやや低値を示した。

5) 欠損部の左室内壁自動描出は、90° 欠損および中隔、側壁の 180° 欠損モデルでは妥当であっ

た。前壁、下後壁の 180° 欠損モデルでは、欠損部の左室内壁が前方へ逸脱し、左室容積値は前壁欠損で過大に、下後壁欠損で過小に評価された。

謝辞：稿を終えるにあたり、ご協力、ご指導いただきました名古屋第二赤十字病院放射線科三村三喜男部長をはじめ放射線科の皆様、放射線科部の杉本美津夫氏、亀谷健一氏、名古屋市立東市民病院放射線科の大竹正一郎先生に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 杉原秀樹, 玉木長良, 野澤真人, 稲本康彦, 谷口義光, 中口孝浩, 他: 単検出器型ガンマカメラを用いた心電図同期 ^{99m}Tc -MIBI SPECT による左室壁カウントの評価. 核医学 **31**: 1201-1208, 1994
- 2) 汲田伸一郎, 隈崎達夫: ^{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——三検出器ガンマカメラシステムによる臨床応用——. 核医学 **31**: 43-52, 1994
- 3) 成田充啓, 栗原 正, 新藤高士, 宇佐美暢久, 本田 稔: 心電図同期 ^{99m}Tc -MIBI 心筋断層像による左室収縮動態の検討——多方向長軸断層像による試み——. 核医学 **32**: 1227-1239, 1995
- 4) DePuey EG, Nichols K, Dobrinsky C: Left ventricular ejection fraction assessed from gated Technetium-99m-Sestamibi SPECT. J Nucl Med **34**: 1871-1876, 1993
- 5) Mochizuki T, Murase K, Tanaka H, Kondoh T, Hamamoto K, Tauxe WN: Assessment of left ventricular volume using ECG-gated SPECT with Technetium-99m-MIBI and Technetium-99m-Tetrofosmin. J Nucl Med **38**: 53-57, 1997
- 6) 福士彰二, 寺岡悟見: 心電図同期心筋 SPECT での左室容積、駆出率の算出——Threshold 法による心内壁自動描出——. 核医学 **34**: 1-6, 1997
- 7) Germano G, Kiat H, Kavanagh P, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med **36**: 2138-2147, 1995
- 8) 汲田伸一郎, 趙 圭一, 水村 直, 木島鉄仁, 石原眞木子, 鳥羽正浩, 他: ^{99m}Tc -Tetrofosmin 心拍同期心筋 SPECT データを用いた左室収縮能評価——左室辺縁自動描出法による容量算出に基づく機能解析——. 核医学 **34**: 237-242, 1997
- 9) Germano G, Kavanagh P, Su HT, Mazzanti M, Kiat H, Hachamovitch R, et al: Automatic reorientation of three-dimensional, transaxial myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med **36**: 1107-1119, 1995

Summary

Automatic Calculation of Left Ventricular Volume and Ejection Fraction from Gated Myocardial Perfusion SPECT —Basic Evaluation Using Phantom—

Yoshimi KINOSHITA*, ICHIROU NANBU*, Junko TOHYAMA** and Satoru OOBA**

**Department of Radiology, Nagoya Daini Red Cross Hospital*

***Department of Radiology, Nagoya City University Medical School*

We evaluated accuracy of Quantitative Gated SPECT Program that enabled calculation of the left ventricular (LV) volume and ejection fraction by automatically tracing the contour of the cardiac surface. Cardiac phantoms filled with ^{99m}Tc -solution were used. Data acquisition was made by 180-degree projection in L type and 360-degree projection in opposed type.

Automatic calculation could be done in all processes, which required 3–4 minutes. Reproducibility was sufficient. The adequate cut off value of a pre-filter was 0.45. At this value LV volume was 93% of the actual volume in L type acquisition and 95.9% in opposed type acquisition. The LV volume obtained in

L type was smaller than that obtained in opposed type ($p < 0.05$). The tracing of the defects was fair, on the cardiac phantoms with all of 90-degree defects and 180-degree defects of the septal and lateral wall. The LV volume was estimated to be larger on the phantom with 180-degree defect of the anterior wall, and to be smaller on the phantom of 180-degree defect of the inferoposterior wall. Because tracing was deviated anteriorly at the defects. In the patients with similar conditions to 180-degree defect of the anterior wall or inferoposterior wall, the LV volume should be carefully evaluated.

Key words: ^{99m}Tc , Gated myocardial SPECT, LV volume.