

心電図同期心プール  
断層法を用いた左室容量曲  
線の解析

Left ventricular volume  
curve analysis using gated  
blood pool emission  
computed tomography

藤原 康史  
望月 輝一\*  
伊藤 武俊\*\*  
村瀬 研也†  
浜本 研†  
濱田 希臣  
国府 達郎

Yasushi FUJIWARA  
Teruhito MOCHIZUKI\*  
Taketoshi ITO\*\*  
Kenya MURASE†  
Ken HAMAMOTO†  
Mareomi HAMADA  
Tatsuo KOKUBU

Summary

Analysis of the left ventricular volume curve was performed using gated blood pool emission computed tomography (SPECT) in six patients with old myocardial infarction (MI), five with hypertrophic cardiomyopathy (HCM), three with dilated cardiomyopathy (DCM), and five normal controls (N).

Image collection was synchronized with the QRS complex, and each cardiac cycle was divided into nine to 10 frames. In each frame, left ventricular volume was determined based on the number of voxels above the threshold level (50% cut-off level), and the volume curve was fitted to the third harmonics of Fourier analysis. From the fitted curve, the peak ejection rate (PER), the peak filling rate (PFR), end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) and ejection fraction (EF) were calculated.

1. There were good correlations between SPECT and the conventional gated blood pool (MUGA) for PER ( $r=0.694$ ,  $p<0.005$ ), PFR ( $r=0.527$ ,  $p<0.025$ ) and EF ( $r=0.682$ ,  $p<0.005$ ).

2. PER in MI ( $2.21\pm0.55$ , mean $\pm$ SD) was lower than in N ( $3.68\pm0.80$ ,  $p<0.05$ ) and HCM ( $4.85\pm2.39$ ,  $p<0.05$ ), and EF in MI ( $36.6\pm6.4$ ) was lower than in HCM ( $68.7\pm23.7$ ,  $p<0.05$ ).

3. There were good correlations between EDVs ( $y=1.11x+5.71$ ,  $r=0.877$ ,  $p<0.01$ ), and ESVs ( $y=1.05x-3.88$ ,  $r=0.876$ ,  $p<0.01$ ) estimated by MUGA and SPECT.

These results suggest that analysis of the left ventricular volume curve by gated blood pool emission computed tomography is of great potential value.

愛媛大学医学部 第二内科

†同 放射線科

愛媛県温泉郡重信町志津川 (〒791-02)

\*愛媛県立今治病院 放射線科

\*\*同 内科

今治市石井町 4-5-5 (〒794)

The Second Department of Internal Medicine and †Ra-  
diology, Ehime University School of Medicine, Shige-  
nobu, Onsen-gun, Ehime 791-02

\*Radiology and \*\*Internal Medicine, Kenritsu Ima-  
bari Hospital, Imabari, Ehime 794, Japan

Received for publication December 8, 1987; accepted February 4, 1988 (Ref. No. 34-PS57)

**Key words**

Gated blood pool emission computed tomography

Left ventricular volume curve

はじめに

$^{99m}\text{Tc}$  を用いた心プール法は各種心疾患の心機能評価に広く応用されており, 特に time-activity curve より求めた左室収縮, 拡張機能の指標は, 種々の心疾患における左室機能をよく反映していると報告されている<sup>1-5)</sup>. また心プール法より求めた左室拡張末期容積は, 左室造影のそれとよく一致するという報告もみられる<sup>6-10)</sup>. しかし心プール像は一方向からの投影像であり, 右室, 左房を含めた他の構造物, および心臓以外の background の影響は無視できない.

一方, 最近開発された Single-photon emission computed tomography (SPECT) は回転型ガンマカメラを用い, 多方向よりデータを収集し, 再構成することにより, 心臓の任意軸断層像が得られる. SPECT は  $^{201}\text{Tl}$  を用いた心筋シンチグラフィ<sup>11-14)</sup>,  $^{99m}\text{Tc}$  ピロリン酸を用いた急性心筋梗塞スキャン<sup>15,16)</sup>,  $^{99m}\text{Tc}$  を用いた心プール法(心電図同期心プール断層法)<sup>17,18)</sup> に応用されている. 心電図同期心プール断層法の心臓軸断層像では, 左室と左室以外の心構造物との分離が比較的容易であり, 従来の心プール法では行い得なかった三次元的評価や, 左室容量の評価も可能であると思われる. しかし, これまで, 心電図同期心プール断層法を用いて左室容量曲線を作成し, 心機能の評価を行ったという報告はない.

我々は心電図同期心プール断層法を用い, 得られた心臓軸断層像より左室のみをとり出して左室容量を測定し, 従来の time-activity curve に相当する左室容量曲線を作成, その有用性につき検討した. また左室造影を行った一部の症例については, 左室造影より求めた左室容量との比較も行った.

対象および方法

1. 対象

対象は心筋梗塞症 6 例 (MI 群), 肥大型心筋症 5 例 (HCM 群), 拡張型心筋症 3 例 (DCM 群), 対照として心疾患を有さない健常者 5 例 (N 群) の計 19 例である. 男性 13 例, 女性 9 例で, 年齢は 29 歳から 74 歳, 平均年齢  $53.4 \pm 11.4$  歳 (mean  $\pm$  SD) である.

2.  $^{99m}\text{Tc}$  心プール法

$^{99m}\text{Tc}$  20~30 mCi を静注し, 赤血球 in vivo 標識を用い, 通常の first pass 法, 心プール法 (MUGA) に引き続き, 心電図同期心プール断層法 (SPECT) を行った. MUGA はコリメーターを尾側に  $10^\circ$  振った  $30 \sim 50^\circ$  の左前斜位 (modified LAO) で, 両心室がもっとも分離できる角度で行い, マルチゲート法で 1 心周期を 1 フレームごとに分割し, データを収集した. SPECT は回転型ガンマカメラを用い, 右前斜位  $45^\circ$  より  $180^\circ$  24 方向回転し, それぞれ 1 方向につき  $50 \sim 60$  心拍を, 1 心周期を  $30 \sim 60$  msec ごとに  $18 \sim 20$  分割し, マルチゲート法にてデータ収集を行った. 使用装置は日立製 Gamma View F, データ処理には HARP system を使用した. データ収集に要した時間は約 40 分であった.

3. 左室容量曲線

SPECT は 1 心周期 R-R を  $18 \sim 20$  分割したデータを 2 フレームずつ加算し,  $9 \sim 10$  フレームとし, 各 Frame 毎に再構成を行った. 再構成により得られた心臓軸断層像 (sagittal, horizontal, transaxial view) のうち horizontal view を左室容量曲線の作成に使用した (Fig. 1).

1 フレームの断層像に左室を含むスライスは  $7 \sim 10$  枚あり, Fig. 2 に示すように, 左室のみを ROI で囲み, ROI 内の pixel 数を, このフレームの max count の 50% を cut-off level と

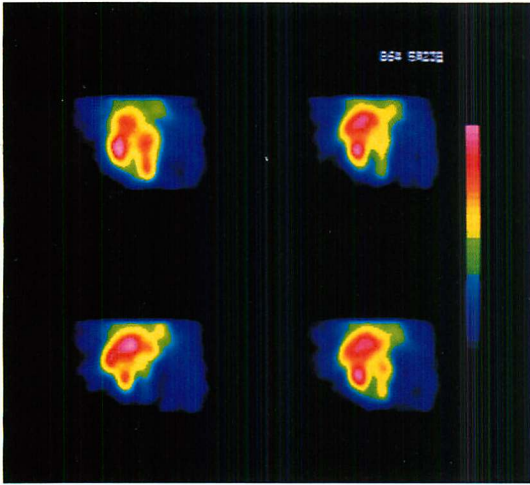


Fig. 1. Gated blood pool emission computed tomography (horizontal view).

Left upper: end-diastolic, left lower: end-systolic, right upper: mid-systolic, and right lower: mid-diastolic images.

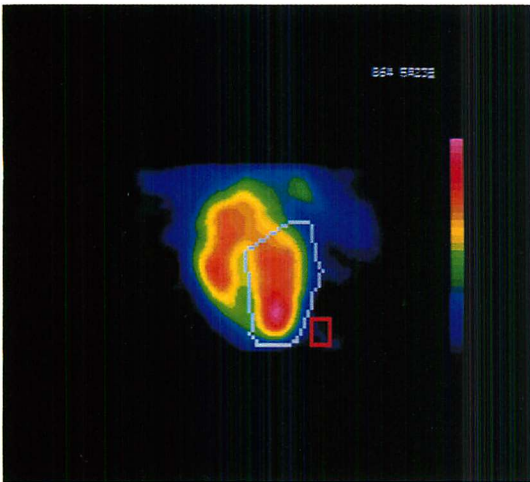


Fig. 2. Setting of the region of interest (ROI) around the left ventricle.

して算定し、左室を含むすべてのスライスで加算することにより、左室容量を求めた。1 voxel は  $0.61 \text{ cm} \times 0.61 \times 0.61 = 0.227 \text{ ml}$  である。これを1心周期、9~10フレームのそれぞれについて行い、左室容量曲線とした。

MUGA による time-activity curve, SPECT による左室容量曲線、いずれも得られたデータを

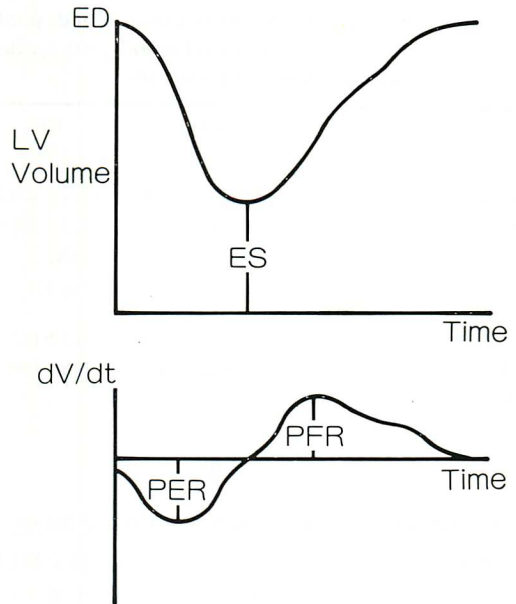


Fig. 3. Left ventricular (LV) volume curve and the first derivative of the LV volume curve ( $dV/dt$ ).

ED=end-diastolic volume; ES=end-systolic volume; PER=peak ejection rate; PFR=peak filling rate.

Fourier 3 次項にて曲線近似し、一次微分を求め、以下に述べる指標を求めた (Fig. 3).

- (1) 拡張末期容積 (end-diastolic volume: EDV) (ml)
- (2) 収縮末期容積 (end-systolic volume: ESV) (ml)
- (3) 駆出率 (ejection fraction: EF) (%):  $(EDV-ESV)/EDV \times 100$
- (4) 最大駆出速度 (peak ejection rate: PER) (/sec)
- (5) 最大充満速度 (peak filling rate: PFR) (/sec)

#### 4. 左室造影

左室造影を行った7例 (MI 群5例・HCM 群1例・DCM 群1例) については、Kennedy ら<sup>19)</sup>の方法により、左室造影右前斜位  $30^\circ$  像より、EDV, ESV を求めた。

**Table 1. Comparison of indices of left ventricular function by ECG-gated blood pool (MUGA) and by gated blood pool emission computed tomography**

	PER (-sec <sup>-1</sup> )	PFR (sec <sup>-1</sup> )	EF (%)
SPECT	3.23±1.73	2.66±1.29	47.2±20.2
MUGA	2.79±1.4	2.08±1.11	39.1±18.0
r	0.694	0.527	0.682
p value	<0.005	<0.025	<0.005

(n=19, mean±SD)

PER=peak ejection rate; PFR=peak filling rate; EF=ejection fraction.

**結 果**

**1. SPECT より求めた各指標と MUGA との対比**

SPECT で求めた左室容量曲線の有用性を検討する目的で、従来より心機能の指標として用いられている MUGA の PER, PFR, EF との対比を行った (Table 1). Fig. 4 に示すように、PER は  $Y=0.56 X+0.98$  ( $r=0.694$ ,  $p<0.005$ ), PFR は  $Y=0.45 X+0.88$  ( $r=0.527$ ,  $p<0.025$ ), EF は  $Y=0.61 X+10.2$  ( $r=0.682$ ,  $p<0.005$ ) といずれも良好な相関が得られた。

**2. 種々の心疾患における各指標の特徴 (Table 2) 各群の PER, PFR, EF は、Fig. 5 に示すよ**

**Table 2. Emission computed tomographic data in normal subjects and various types of heart disease**

	PER (-sec <sup>-1</sup> )	PFR (sec <sup>-1</sup> )	EF (%)
Normal (n=5)	3.68±0.80	3.16±0.98	50.7±10.5
MI (n=6)	2.21±0.55*	1.82±0.67	36.6±6.4
HCM (n=5)	4.85±2.39**	3.59±1.69	68.7±23.7**
DCM (n=3)	1.81±0.43	1.93±0.75	26.8±4.6

(mean±SD)

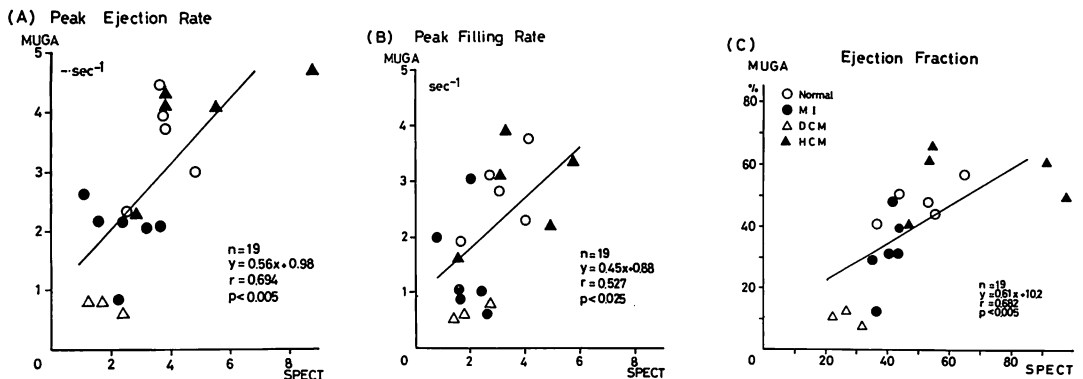
\*:  $p<0.05$  vs normal, \*\*:  $p<0.05$  vs MI.

MI=myocardial infarction; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; DCM=dilated cardiomyopathy.

うに、いずれも健常群に比し、MI・DCM 群で低下し、HCM 群で高値となる傾向がみられた。PER は健常群と MI 群と HCM 群の間に危険率 5% で有意差を認め、EF は MI 群と HCM 群の間に危険率 5% で有意差を認めた。しかし他の群間には有意差を認めなかった。

**3. 左室造影との対比**

左室容量曲線より求めた EDV と ESV の妥当性を検討する目的で、左室造影 (LVG) のそれと対比すると、Fig. 6 に示すように、EDV で



**Fig. 4. Correlation of the peak ejection rate (A), peak filling rate (B) and ejection fraction (C) using MUGA and emission computed tomography (SPECT).**

Open circle: N, closed circle: MI, open triangle: DCM, closed triangle: HCM.

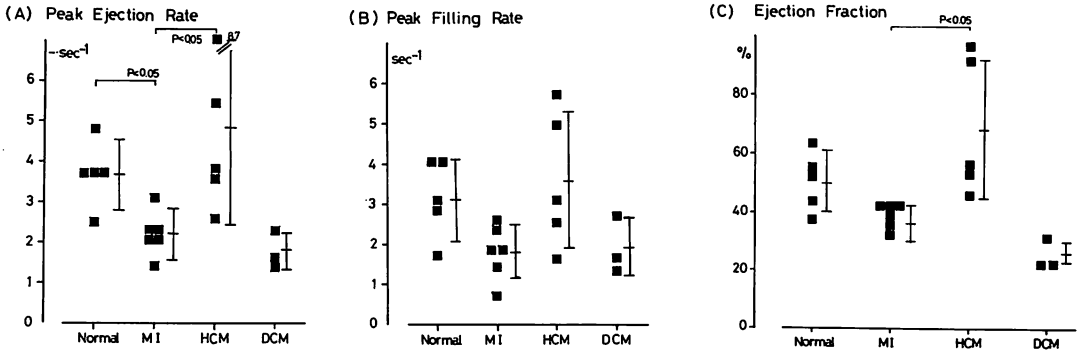


Fig. 5. The peak ejection rate (A), peak filling rate (B), and ejection fraction (C) in normal subjects and various types of heart disease.

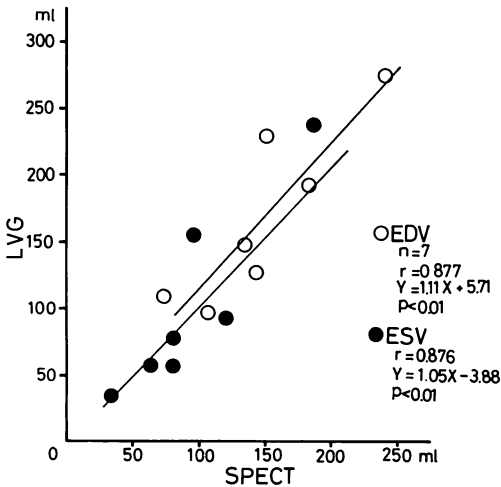


Fig. 6. Relationship between left ventricular volumes using left ventriculography (LVG) and emission computed tomography (SPECT)

は LVG との間に  $Y=1.11X+5.71$  ( $r=0.877$ ,  $p<0.01$ ),  $ESV$  では  $Y=1.05X-3.88$  ( $r=0.876$ ,  $p<0.01$ ) と、良好な相関が得られた。

考 按

SPECT は内包するデータが三次元的データであり、任意軸での断層像の観察が可能であること、さらに定量的解析を行い得る可能性がある点に特徴がある。

心臓核医学の領域において、SPECT は  $^{99m}Tc$  ピロリン酸を用いた急性心筋梗塞スキャンにより心筋梗塞の部位診断、梗塞量の定量化に利用され<sup>15,16)</sup>、また  $^{201}Tl$  心筋シンチグラフィは梗塞の局在、虚血の診断に用いられている<sup>11~14)</sup>。また  $^{99m}Tc$  心プール法はまだ報告は少ないものの、拡張末期、収縮末期像の解析による局所壁運動、左室容量の定量化の報告もなされるようになった<sup>20~22)</sup>。一方、従来の  $^{99m}Tc$  心プール法による time-activity curve の解析は、二次的な方法でありながら、カウント法を用いる事により、解剖学的な影響を受けにくいという利点を有している。しかし心構造物および心以外の background の影響は無視できない。SPECT を用いた方法では、左室の境界が明瞭で、左室のみをとり出す事が可能であり、より正確な左室容量曲線を得ることが出来ると思われる。

SPECT と MUGA を比較した今回の我々の検討では、収縮期の指標である PER, EF, 拡張期の指標である PFR 等、いずれも両方法の間に有意な相関が得られた。疾患群間の検討でも SPECT による解析は各疾患の特徴をよく示し、PER と EF は MI, DCM 群で低下し、HCM 群で増大した。左室造影との比較では EDV, ESV と良好な相関が得られ、ほぼ  $Y=X$  に近く SPECT による左室容量が、実際の左室容量

をよく示しているものと考えられた。この点につき Stadius<sup>20)</sup> も SPECT による左室容量は左室造影法とよく一致したと報告している。一方, 境<sup>21,22)</sup>らは容量測定には background が影響し, その補正が必要であるとしている。また細羽<sup>23)</sup>らはデータ収集 180° スキャンでは 360° スキャンに比べ, 左室形状の歪みが見られると報告している。今回, 我々は background の処理は行わなかったが, その左室容量は左室造影のそれとよく一致していた。

左室容量曲線については, 180° スキャンでデータ収集に約 25 分を要し, 曲線作成には 1 心周期 1 フレームの再構成, ROI 作成, 容量算定に高速演算装置を用いても, 約 20 分を要した。そのため我々は曲線作成に長時間を要する点を考慮して, 1 心周期は 9~10 分割し, Fourier 3 次項で曲線近似を行うこととした。従来の MUGA が R-R を 25~35 分割している点と比較して, 1 フレーム間の間隔が長い点, また本来空間解像力に劣る SPECT を用いた容量測定で, 左室容量曲線が短時間の容量変化に追従できているかは, 今後に検討を要すると思われた。

SPECT と MUGA 双方の測定による EF の比較では有意な相関が得られているが, SPECT の EF に比べ, MUGA の EF は低い傾向にある。このことは, SPECT の左室容量が実際の容量をよく反映している事実を考慮すると, MUGA の EF は過小評価されている可能性があると思われた。

以上, 心電図同期心プール断層法を用いた左室容量曲線の作成と, その有用性につき報告した。今後さらに検討を要する点はあるものの, 従来の容量算出とは異なり, 直接左室容量を算定し, 左室容量曲線を作成できた点, 今後各種心疾患の左室機能評価に有用な方法であると思われた。

## 要 約

心電図同期心プール SPECT (SPECT) を用いた左室容量曲線の作成を試みた。対象は 19 例

で, 心筋梗塞症 6 例 (MI 群), 肥大型心筋症 5 例 (HCM 群), 拡張型心筋症 3 例 (DCM 群), 対照として心疾患を有さない健常者 5 例である。SPECT は 1 心周期を 60~120 msec 毎に 9~10 分割し, 左室のみを ROI で囲み, cut-off level 50% で含まれる voxel 数を算定し, これを左室を含むすべてのスライスで加算し左室容量とした。1 心周期 9~10 フレームで 1 フレームごとにこれを繰り返し, Fourier 3 次項にて曲線近似し, 左室容量曲線を得, 心機能指標として最大駆出速度 (PER), 最大充満速度 (PFR), 拡張末期容量 (EDV), 収縮末期容量 (ESV), 駆出率 (EF) を求めた。

1. 従来の MUGA との比較では, PER は  $r=0.694$ ,  $p<0.005$ , PFR は  $r=0.527$ ,  $p<0.025$ , EF は  $r=0.682$ ,  $p<0.005$  といずれも良好な相関が得られた。

2. SPECT により計測された各指標を各疾患群間で比較した結果, PER では健常群, HCM 群と MI 群の間に有意の差を認め, また EF は MI 群と HCM 群の間に有意の差を認めた。

3. 左室造影より算出した EDV, ESV と SPECT より求めた EDV, ESV の比較では, EDV は  $Y=1.11X+5.71$  ( $r=0.877$   $p<0.01$ ), ESV は  $Y=1.05X-3.88$  ( $r=0.876$   $p<0.01$ ) と良好な相関が得られた。

これらの結果より, 心電図同期心プール SPECT による左室容量曲線の解析は実際の左室の容量変化をよく反映し, 各種心疾患の左室機能の解析に有用であると思われた。

## 文 献

- 1) Slutsky RA, Mancini GBJ, Gerver KH, Dittrich HC, Higgins CB: Analysis of ventricular emptying and filling indexes during acute increases in arterial pressure. *Am J Cardiol* 51: 468, 1983
- 2) Reduto LA, Wickemeyer WJ, Young JB, Del Ventura LA, Reid JW, Glaeser DH, Quinones MA, Miller RR: Left ventricular diastolic performance at rest and during exercise in patients with coronary artery disease: Assessment with first-pass ra-

- dionuclide angiography. *Circulation* **63**: 1228, 1981
- 3) Bonow RO, Bacharach SL, Green MV, Kent KM, Rosing DR, Lipson LC, Leon MA, Epstein SE: Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease: Assessment with radionuclide angiography. *Circulation* **64**: 315, 1981
  - 4) Polak JF, Kemper AJ, Bianco JA, Parisi AF, Tow ED: Resting early peak diastolic filling rate: A sensitive index of myocardial dysfunction in patients with coronary artery disease. *J Nucl Med* **23**: 471, 1982
  - 5) Poliner LR, Farber SH, Glaeser DH, Nyland L, Verani MS, Roberts R: Alteration of diastolic filling rate during exercise radionuclide angiography: A highly sensitive technique for detection of coronary artery disease. *Circulation* **70**: 942, 1984
  - 6) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, Kaiser R, Pfisterer M, Gordon D, Peterson K, Ashburn W: Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography: A new method. *Circulation* **60**: 556, 1979
  - 7) Dehmer GJ, Lewis SE, Hillins LD, Twieg D, Falkoff M, Parkey RW, Willerson JT: Nongeometric determination of left ventricular volumes from equilibrium blood pool scans. *Am J Cardiol* **45**: 293, 1980
  - 8) Massie BM, Kramer BL, Gertz EW, Henderson SG: Radionuclide measurement of left ventricular volume: Comparison of geometric and counts-based methods. *Circulation* **65**: 725, 1982
  - 9) Links JM, Becker LC, Shidedlecker JG, Gutzman P, Burow RD, Nickioff EL, Alderson PO, Wagner HN: Measurement of absolute left ventricular volume from gated blood pool studies. *Circulation* **65**: 82, 1982
  - 10) 林田孝平, 西村恒彦, 植原敏男, 大嶺広海, 小塚隆弘: in vivo  $^{99m}\text{Tc}$ -赤血球標識を用いた心拍同期心プール・スキャンによる左室容積の解析. *核医学* **19**: 943, 1982
  - 11) Holman BL, Hill TC, Wynne J, Lovett RD, Zimmerman RE, Smith EM: Single-photon transaxial emission computed tomography of the heart in normal subjects and in patients with infarction. *J Nucl Med* **20**: 736, 1979
  - 12) Ritchie JL, Williams DL, Harp G, Stratton JL, Caldwell JH: Transaxial tomography with thallium-201 for detecting remote myocardial infarction: Comparison with planar imaging. *Am J Cardiol* **50**: 1236, 1982
  - 13) Maublant J, Cassagness J, Le Jeune JJ, Mestas D, Vegre A, Jallut H, Meyniel G: A comparison between conventional scintigraphy and emission tomography with thallium-201 in the detection of myocardial infarction: Concise communication. *J Nucl Med* **23**: 204, 1982
  - 14) Garcia EV, Train KV, Maddahi J, Pringent F, Friedman J, Areeda J, Waxman A, Berman DS: Quantification of rotational thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* **26**: 17, 1985
  - 15) Tamaki S, Kadota K, Kambara H, Suzuki Y, Nohara R, Murakami T, Kawai C, Tamaki N, Torizuka K: Emission computed tomography with technetium-99m pyrophosphate for delineating location and size of acute myocardial infarction in man. *Br Heart J* **52**: 30, 1984
  - 16) Fujiwara Y, Mochizuki T, Itoh T, Doiuchi J, Ochi T, Kokubu T, Murase K, Hamamoto K: Quantitative analysis of acute myocardial infarction using single-photon emission computed tomography using technetium-99m pyrophosphate. *J Cardiol* **16**: 555, 1986
  - 17) Moore ML, Murphy PH, Burdine JA: ECG-gated emission computed tomography of the cardiac blood pool. *Radiology* **134**: 233, 1980
  - 18) Tamaki N, Mukai T, Isii Y, Yonekura Y, Yamamoto K, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Multiaxial tomography of heart chambers by gated blood-pool emission computed tomography using a rotating gamma camera. *Radiology* **147**: 547, 1983
  - 19) Kennedy JW, Trenholm SE, Kasser IS: Left ventricular volume and mass from single-plane cineangiograms: A comparison of antero-posterior and right anterior oblique methods. *Am Heart J* **80**: 343, 1970
  - 20) Stadius ML, Williams DL, Harp G, Cerqueira M, Caldwell JH, Stratton JR, Ritchie JL: Left ventricular volume determination using single-photon emission computed tomography. *Am J Cardiol* **55**: 1185, 1985
  - 21) 滝 淳一, 分校久志, 多田 明, 中嶋憲一, 南部一郎, 四位例靖, 利波紀久, 久田欣一: Single photon emission computed tomography による左右心室容積算出のための基礎的検討. *核医学* **22**: 1539, 1985
  - 22) 滝 淳一, 分校久志, 中嶋憲一, 南部一郎, 四位例靖, 谷口 充, 利波紀久, 久田欣一: Single photon emission computed tomography による左右心室容積算出: 臨床例における検討. *核医学* **24**: 143, 1987
  - 23) 細羽 実, 和辻秀信, 外山比南子, 村田 啓, 田中栄一: 心プール SPECT の定量性について:  $180^\circ$  スキャンと  $360^\circ$  スキャンの比較. *核医学* **23**: 849, 1986