

心機能評価における心拍同期心プールシンチ断層法の有用性

Left ventricular function assessed by multi-gated blood pool single photon emission computed tomography with ^{99m}Tc

村野 謙一
成田 充啓
栗原 正

Ken-ichi MURANO
Michihiro NARITA
Tadashi KURIHARA

Summary

To evaluate the usefulness of gated blood pool single photon emission computed tomography with ^{99m}Tc (gated SPECT) for assessing left ventricular function, we performed gated SPECT in 2 normal subjects and 18 patients including 13 with ischemic heart disease, 3 with hypertrophic cardiomyopathy and 2 with dilated cardiomyopathy. Left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), left ventricular ejection fraction (LVEF) and regional wall motion obtained by gated SPECT were compared with the results of contrast left ventriculography (contrast LVG), echocardiography and planar multigated blood pool imaging (planar blood pool).

After the patients' red blood cells were labelled with 30 mCi (1,110 MBq) ^{99m}Tc in vivo, gated SPECT was performed in each of 32 projections through a 360 degree arc for each of the cardiac cycle divided into 16. From these images, the left ventricular vertical long-axis image, the horizontal long-axis and short-axis images were reconstructed. To calculate LVEDV, we used serial short-axis images which were composed of the left ventricle. To define left ventricular and left atrial borders, we used amplitude images and cinematic displays of the vertical long-axis image. The level of the optimal cut for delineating the left ventricular border was determined from the volume-cut-level-graph at each background activity, which was constructed by a phantom study. Left ventricular wall motion by gated SPECT was compared with the results of contrast LVG according to segmental analysis.

LVEDV obtained by gated SPECT showed an excellent linear correlation with LVEDV calculated by echocardiography ($r=0.98$, $p<0.01$) and by contrast LVG ($r=0.89$, $p<0.01$). LVEF as determined by gated SPECT correlated well with the results obtained by the planar blood pool ($r=0.94$, $p<0.01$) and by contrast LVG ($r=0.94$, $p<0.01$). The visual interpretation of regional wall motion according to gated SPECT agreed with that determined by contrast LVG.

We concluded that gated SPECT is a reliable method for assessing left ventricular function.

Key words

Gated blood pool single photon emission computed tomography
Left ventricular volume Cut level

Left ventricular function

Left ven-

はじめに

核医学的心機能評価法として、従来心拍同期心プールシンチ planar 法が汎用され、虚血性心疾患をはじめとする各種心疾患でその有用性が示されてきた¹⁻³⁾。しかし、planar 像では周囲組織や心臓各部の重なりのため、バックグラウンドの影響が問題となり、心容積や左室駆出率の計測はいくつかの仮定の上に成り立っている。他方、近年開発された single photon emission computed tomography (SPECT) を用いた心拍同期心プールシンチ断層法(心プール SPECT)は、心臓各部が重なり合うことなく描出され、かつ任意の断層面の作成が可能のため、壁運動の解析に有用である⁴⁾。さらに画像を構成する voxel が一定の容積を有しているため、適切な左室辺縁抽出が行なわれれば、左室容積・左室駆出率(LVEF)といった global function の計測も可能である⁵⁻⁷⁾。しかし、SPECT を用いて容積を算出する場合、最も重要となる左室辺縁抽出の最適カットレベルの決め方には問題が残されている⁸⁾。

今回、我々は左室辺縁抽出の最適カットレベルをファントム研究より求め、臨床例を対象に行なった心プール SPECT にこのカットレベルを適用し、心機能評価における本法の有用性を左室造影等の他方法と対比検討した。

対象および方法

1. 対象

対象は、健常 2 例、虚血性心疾患 13 例、肥大型心筋症 3 例、拡張型心筋症 2 例の計 20 例である。男性 17 例、女性 3 例で、年齢は平均 55.4 ± 11.1 歳 (mean \pm SD) (39-76 歳) である。

2. 方法

1. ファントム研究

^{99m}Tc を混じた水を満たした種々の大きさの先の細くなった円柱状のプラスチック容器 (35-225 ml) を左室とみなし、これを水槽 (容積 5,500 ml) のほぼ中央に固定した。この水槽内もバックグラウンドとして種々の濃度の ^{99m}Tc を含む水で満たした。このファントムを用い、左室容積の計測上、バックグラウンドの程度や容積の大きさの変化がいかにカットレベルに影響するかを検討した。

2. 心拍同期心プールシンチグラフィ

^{99m}TcO₄-30 mCi (1,110 MBq) を静注し、生体内赤血球標識を行なった後、安静時に multi-gate 法を用い、planar 心プールシンチグラム(心プール planar)を正面および左前斜位 35-40 度で撮影した。本法の詳細は繰り返し報告している^{2,9)}ので、本論文では省略する。これに引き続き、低エネルギー汎用コリメーターを装着した回転型ガンマカメラ (Starcam 400AC/T) を用い、心プール SPECT を行なった。心プール SPECT の撮像は、360 度回転で 32 方向より 1 方向 60 秒間とし、1 心周期を 16 分割する multi-gate 法でデータ収集を行なった。得られたデータをもとに、Rump-Hunning filter を用いた filtered back projection 法により、まず体軸横断断層像を作成した後、垂直長軸断層像 (vertical long-axis image)、水平長軸断層像 (horizontal long-axis image)、短軸断層像 (short-axis image) の三つの oblique image を作成した。この再構成画像を動画で観察し、拡張終期および収縮終期フレームを決定した。

1) 左室壁運動の評価 (Fig. 1): 左室造影法を施行し、左室壁運動の評価を行ない得た 16 例において、左室造影 RAO 像と心プール SPECT の垂直長軸断層像、心プール planar 正面像の壁運動を、又左室造影 LAO 像と心プール SPECT 水

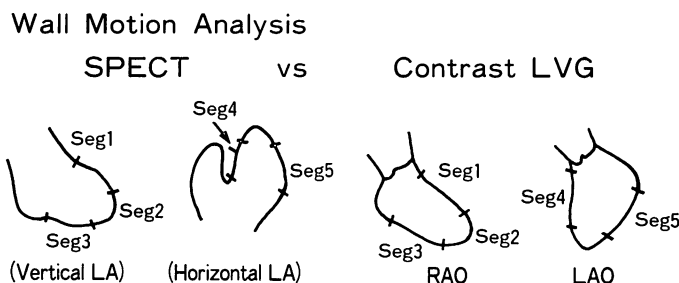


Fig. 1. Segmental analysis of left ventricular wall motion in gated blood pool SPECT (SPECT) and contrast left ventriculography (LVG).

The wall motion of vertical long-axis image (Vertical LA) was compared with that of contrast LVG (RAO view). Likewise horizontal long-axis image (Horizontal LA) was compared with LAO view of contrast LVG. Regional wall motion was graded on a scale of 5 from normal to dyskinesis for each of 5 segments.

Abbreviations: RAO=right anterior oblique; LAO=left anterior oblique.

平長軸断層像, 心プール planar LAO 像の壁運動を比較検討した. **Fig. 1** に示すごとく, RAO は3区域, LAO は2区域に区分し, おのおの対応する部分の壁運動を対比した. 壁運動は, normal, moderate hypokinesis, severe hypokinesis, akinesis, dyskinesis の5段階に区分した.

2) 左室容積の測定 (**Fig. 2**): 垂直長軸断層像の amplitude image を参考に左心房室間境界を決定した. 左室容積の測定には短軸断層像を用い, 拡張終期フレームで左室が最も大きく描出される短軸断層像をもとに左室 ROI (region of interest) を設定した. 拡張終期および収縮終期フレーム各々について, このROI内で左室を含む全スライスにつき, ファントム研究の結果より求めた各症例ごとの最適カットレベル以上のカウントを有する総 voxel 数を求め, この総 voxel 数に1 voxel の容積 (0.114 ml) を乗じて, 拡張終期容積 (LVEDV) および収縮終期容積 (LVESV) を算出し, この二者より LVEF を求めた.

心プール SPECT 撮影当日に, 東芝製超音波心臓断層装置 (SSH-65A) を用いて心エコー図を記録し, Pombo 法¹⁰⁾により LVEDV を求めた. また, 心プール SPECT 施行1ヵ月以内に左室造影を行ない得た16例では, 左室造影で area

length 法により求めた LVEDV とも対比した.

3. 統計処理

回帰性の検討は直線回帰分析を行ない, 危険率5%未満を有意とみなした.

結 果

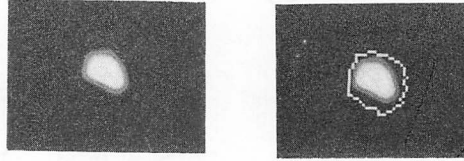
1. ファントム研究に基づく左室辺縁抽出法

Fig. 3 のごとく, ファントム容積を一定としてバックグラウンド濃度を変化させると, 最適カットレベルはバックグラウンドの上昇に従い上昇し, バックグラウンドを一定としてファントム容積を変化させると, ファントム容積が大きくなるに従い, 最適カットレベルは低下した. そこでバックグラウンドを15-35%まで5%ごとに変化させ, 各々のバックグラウンドについて容積とカットレベルの関係グラフを作成し, 臨床例の最適カットレベル決定に用いた.

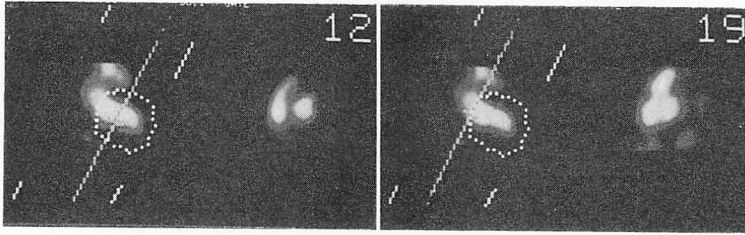
臨床例では, まず各症例ごとに左室中央部短軸断層像で左室周辺4ヵ所にROIを作成し, この平均カウントと左室内ROIカウントとの比を求め, バックグラウンド値とした. このバックグラウンド値に最も近いバックグラウンドにおけるファントム研究での容積と, カットレベルの関係グラフを選択し, 次いで45, 50, 55%の3段階の

I. Determination of atrio-ventricular border in short-axis images

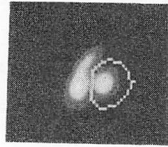
1) Set of LV-ROI by using amplitude image (vertical long-axis)



2) Definition of atrio-ventricular border in short-axis images



II. Set of LV-ROI of short-axis image



III. Calculation of voxel numbers within LV-ROI above threshold count level

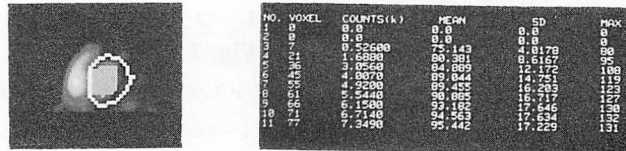


Fig. 2. Calculation of left ventricular volume from gated SPECT.

Details are shown in the text.

Abbreviations: LV=left ventricle; ROI=region of interest.

カットレベルで計測した容積をこの容積・カットレベル関係グラフにあてはめて、最適カットレベルを決め、このカットレベルを用いて最終的な LVEDV・LVESV を求めた (Fig. 4).

2. 左室壁運動の評価

Fig. 5 は 42 歳男性の前壁梗塞例である。心プール planar では正面像で心尖部の severe hypokinesis を認めたが、右室と左室の重なりのため、コントラスト LVG の左前斜位像では心室中隔運動を評価できなかった。心プール SPECT で

は、垂直長軸断層像で心尖部の severe hypokinesis と、水平長軸断層像で心室中隔の severe hypokinesis をみた。これは左室造影所見とよく一致した。

左室壁運動の評価において、心プール SPECT と左室造影法とはよく一致し、壁運動スコアが一段階以内の一致率は 98% であった。これに対し、心プール planar と左室造影法の一段階以内の一致率は 93% であった。心プール SPECT は心プール planar と比べ、下壁の (seg 3) 壁運動の

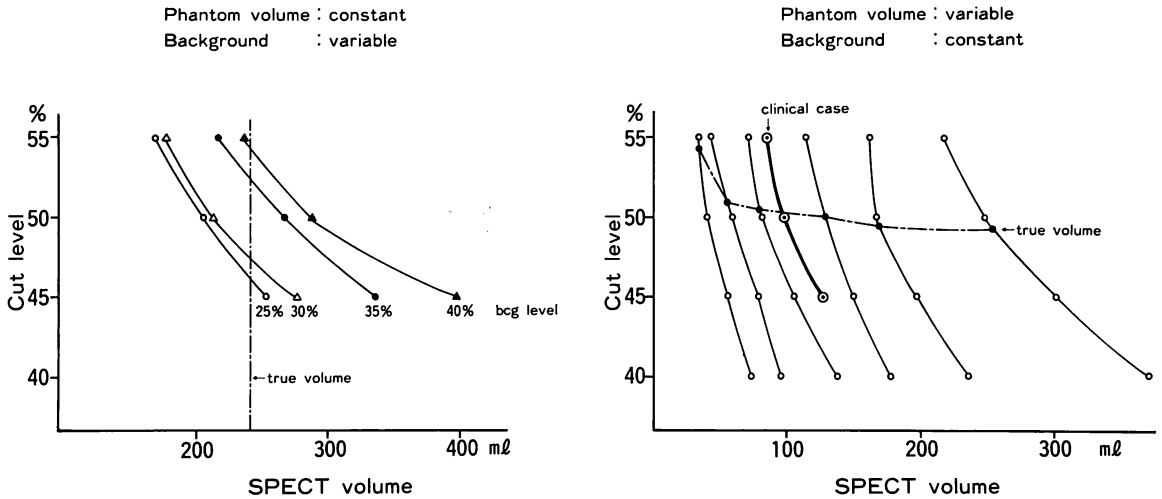
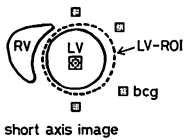


Fig. 3. Results of the phantom study.

Background level and phantom volume affected optimal cut level to obtain true volume.
Abbreviation: bcg=background.

- 1) Set LV-ROI & Calculation of background activity



- 2) Selection of appropriate Volume-Cut level graph
- 3) Calculation of temporary LV volume at the cut levels of 45, 50 and 55%
- 4) Determination of optimal cut level

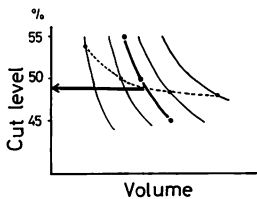


Fig. 4. Determination of optimal cut level for the left ventricular blood pool tomograms.

Details are shown in the text.

RV=right ventricle. Other abbreviations: see Figs. 2, 3.

評価においてより優れていた (Fig. 6).

3. 左室容積・左室駆出率の評価 (Fig. 7)

心プール SPECT で求めた LVEDV は心エコー図法の Pombo 法で求めた LVEVD と $r=0.98$ ($p<0.01$), 左室造影法で求めた LVEDV と $r=0.89$ ($p<0.01$) と、いずれも高い相関を示した。LVEF もまた心プール planar で求めた LVEF と $r=0.94$ ($p<0.01$), 左室造影法で求めた LVEF と $r=0.94$ ($p<0.01$) のよい相関を示した。

考 按

心機能の指標である左室容積・左室駆出率の測定法として左室造影法は確立した検査法となっている¹¹⁾が、観血的検査法のため被検者の負担も大きく、繰り返し行なうことは困難である。これに対し、非観血的な心機能評価法として心エコー図法^{10,12)}・心プール planar 法¹⁻³⁾が用いられているが、心エコー図法では左室を回転楕円体と考えて左室容積を求め、左室短軸径をもとに計算するため、壁運動異常のある例では、特に LVESV の

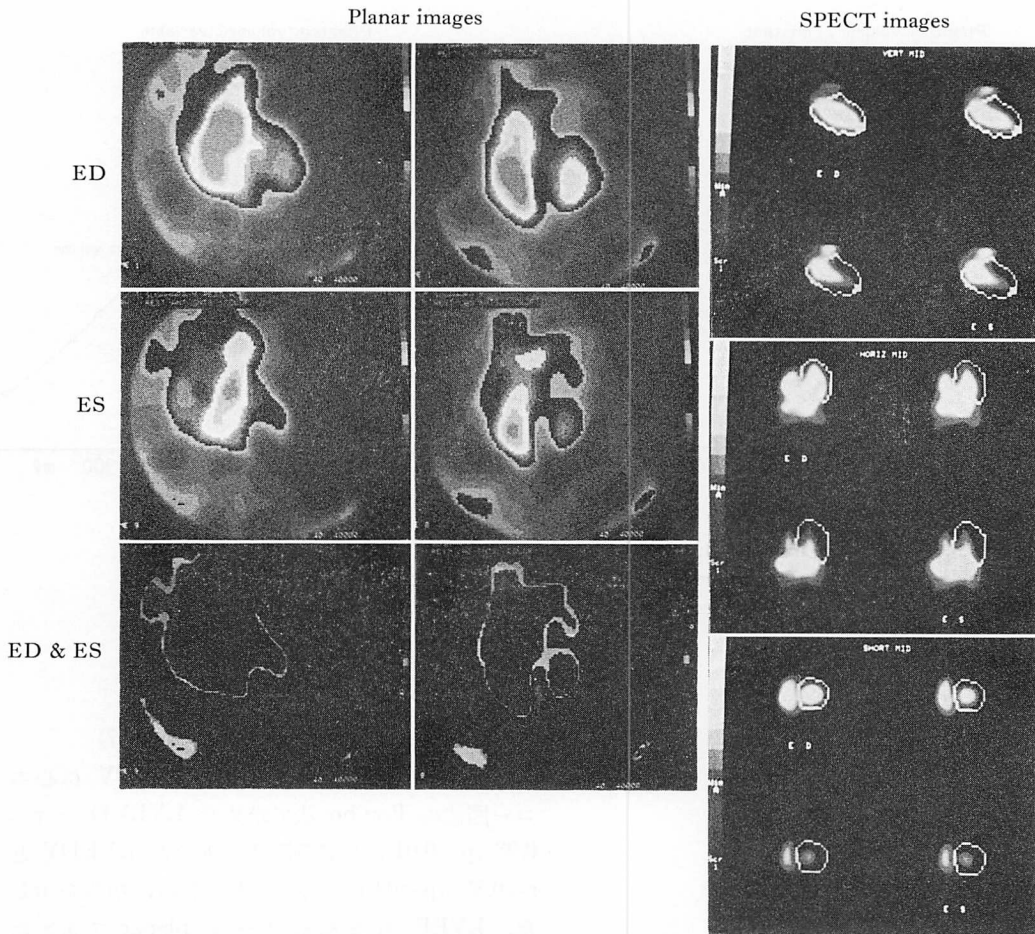


Fig. 5. Estimation of left ventricular regional wall motion on planar images (left) and on gated SPECT images (right) in a patient with anterior myocardial infarction.

The planar images revealed severe hypokinesia in the apical region of the left ventricle, but contrast LVG could not show septal wall motion abnormalities because of the overlapping of the 2 ventricles. The gated SPECT images showed apical and septal severe hypokinesia, which were confirmed by contrast LVG.

Planar images: left=anterior images, right=LAO images.

SPECT images: upper=vertical long-axis image, mid=horizontal long-axis image, lower=short-axis image.

測定において問題がある¹²⁾。一方、従来の心プール planar 法は、二次元的方法でありながら、心室内カウントが心室容積に比例することに基づいて容積の算出を行なっているため、解剖学的影響を受けにくい利点を有している。しかし、planar 像では、周囲組織や心臓各部の重なりによるバック

グラウンドの影響が無視できないことのほか、末梢血の放射能測定のため、採血等の操作を要する欠点がある。これに対し、心プール SPECT は心臓各部が重ならず描出でき、左室壁運動を三次元的に観察し得、また左室容積の評価も可能である⁴⁻⁷⁾。

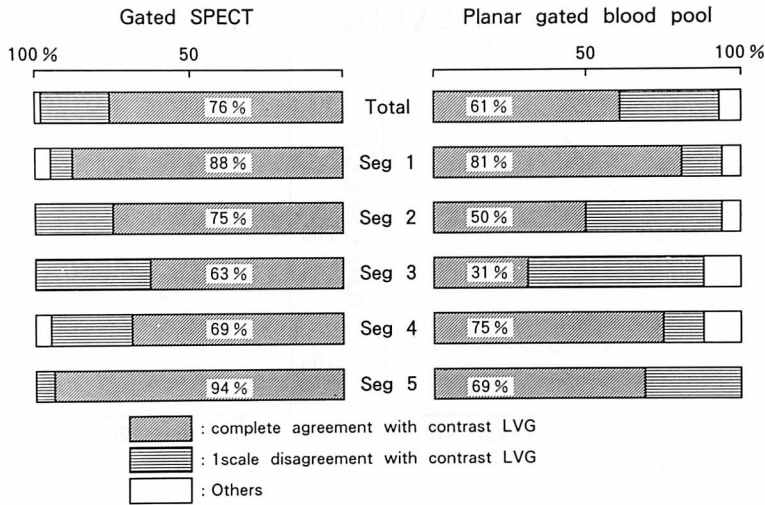


Fig. 6. Comparison of visual analysis of regional wall motion between contrast LVG and gated SPECT (left), or contrast LVG and planar gated blood pool (right).

Visual interpretation of regional wall motion by gated SPECT was in close agreement with that by contrast LVG.

Abbreviations: see Fig. 1.

左室壁運動の評価において、今回我々の検討では、心プール SPECT は左室造影法とよく一致し、心プール planar 法に比し優れており、特に中隔・下壁の評価においてより優れていた。これは、他の報告と一致している^{4,5)}。

SPECT での各スライスの断層像は一定の厚みを有しており、画像は一定の容積を有する voxel で構成されている。そのため、左室に含まれる voxel 数を求め、1 voxel の容積を乗じることで、左室容積を算出できる。ここで問題となることは、第 1 に、左室辺縁描出のための最適カットレベルの決め方である。最適カットレベルは報告により異なり、多くの報告では 35-45% で一定の値を用いている^{5,6,13,14)}。しかし、最適カットレベルでは、対象となる容積の大きさやバックグラウンド値によって変化すると考えられる。今回、ファントム研究の結果、最適カットレベルはバックグラウンドの増大に伴い増加し、ファントム容積の増大に伴い低下した。それ故、臨床的検討にあたり、まずファントム研究でバックグラウンドを

5% ごとに変化させ、各々につき容積とカットレベルの関係グラフを作成し、これを用い各症例ごとに最適カットレベルを決定した。第 2 は、左心の房室間境界の決め方である。心房と心室の境界は心周期により移動し、多くは収縮期に心房が心室側に移動する。今回、我々は左心の房室間境界を垂直長軸断層像の amplitude image を参考に決定した。その結果、心プール SPECT で得た左室容積・左室駆出率は他方法で求めた値とよく一致した。

以上、心プール SPECT は、三次元的情報を有し、心機能の評価において有用な検査法と考えられたが、欠点としてデータ収集に時間がかかるため運動負荷時のデータ収集ができず、運動負荷時の心機能の評価が不可能な点がある。

要 約

左心機能評価における心拍同期 ^{99m}Tc 心プール SPECT (心プール SPECT) の有用性を検討した。対象は各種心疾患 20 例で、その内訳は虚

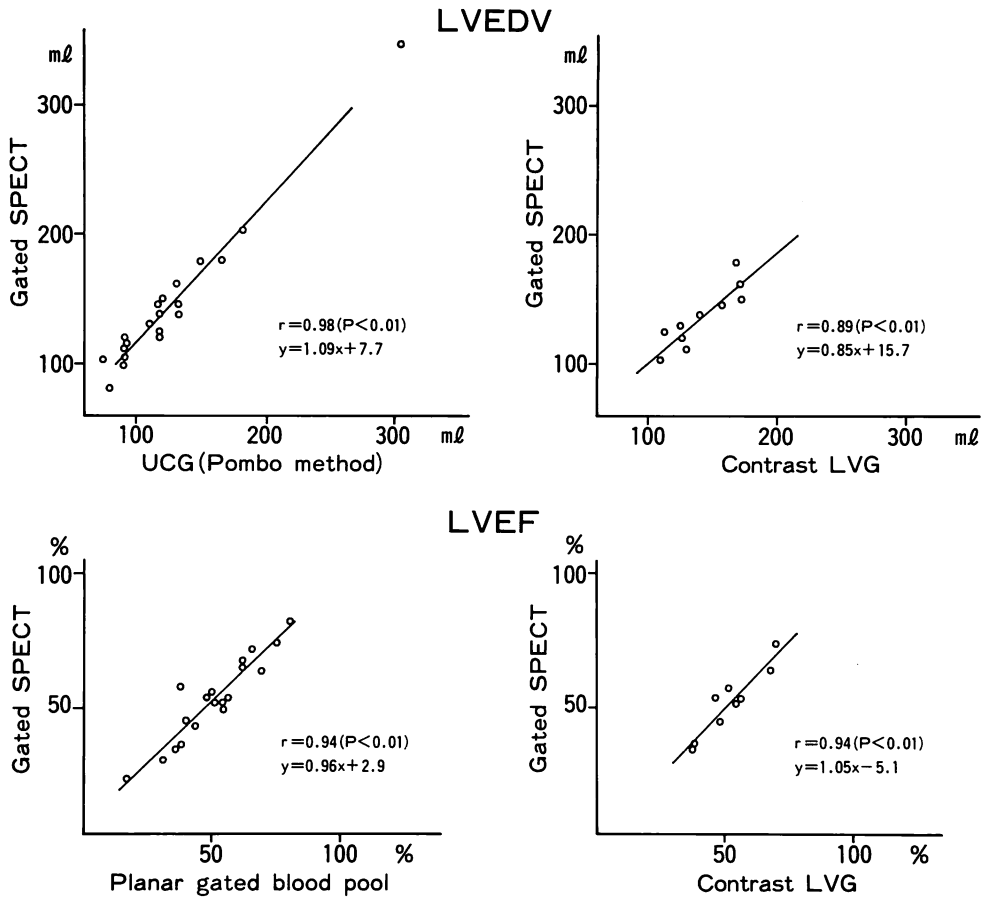


Fig. 7. Correlation between LVEDVs measured by gated SPECT and by M-mode echocardiogram (UCG), or by contrast LVG (top); correlation between LVEFs measured by gated SPECT and by planar gated blood pool, or by contrast LVG (bottom).

Both LVEDV and LVEF obtained by gated SPECT correlated well with those determined by other methods.

Abbreviations: UCG=M-mode echocardiography; contrast LVG=contrast ventriculography; LVEDV=left ventricular end-diastolic volume; LVEF=left ventricular ejection fraction.

血性心疾患 13 例, 肥大型心筋症 3 例, 拡張型心筋症 2 例, 健常人 2 例である. 心プール SPECT で求めた左心機能の指標である左室駆出率 (LVEF)・左室拡張終期容積 (LVEDV)・左室壁運動を他方法 [左室造影法, planar 心プールシンチグラフィ (心プール planar), 心エコー図法] と対比検討した.

心プール SPECT は ^{99m}Tc を体内で赤血球に

ラベルした後, 360 度 32 方向より 1 心拍を 16 分割して撮影し, 垂直長軸断層像・水平長軸断層像・短軸断層像を再構成した. 垂直長軸断層像の amplitude image を参考に房室間境界を決め, 短軸断層像を用い, LVEF・LVEDV を求めた. 左室辺縁描出のカットレベルはファントム研究より求めた症例ごとの最適カットレベルを用いた. 左室壁運動は心プール SPECT の垂直長軸断層

像・水平長軸断層像を各々左室造影の RAO・LAO 像と対比した。心プール SPECT で求めた LVEDV は、心エコー図法・左室造影法で求めた LVEDV と各々 $r=0.98$ ($p<0.01$), $r=0.89$ ($p<0.01$) の高い相関を示し、LVEF も心プール planar・左室造影法と各々 $r=0.94$ ($p<0.01$), $r=0.94$ ($p<0.01$) の相関を認めた。また、左室壁運動は心プール SPECT と左室造影法でよく一致した。以上より、心プール SPECT は心機能評価に有用な検査法と考えられた。

文 献

- 1) Borer JS, Kent KM, Bacharach SL, Green MV, Rosing DR, Seides SF, Epstein SE, Johnston GS: Sensitivity, specificity and predictive accuracy of radionuclide cineangiography during exercise in patients with coronary artery disease. *Circulation* **60**: 572-580, 1979
- 2) 栗原 正, 成田充啓, 村野謙一, 宇佐美暢久: Multi-gate 法 radionuclide 心プールイメージングによる虚血性心疾患の運動時左心機能の評価. *心臓* **14**: 1457-1465, 1982
- 3) Massie BM, Kramer BL, Gertz EW, Henderson SG: Radionuclide measurement of left ventricular volume: Comparison of geometric and counts-based methods. *Circulation* **65**: 725-730, 1982
- 4) Tamaki N, Mukai T, Ishii 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**: 547-554, 1983
- 5) Gill JB, Moore RH, Tamaki N, Miller DD, Barlai-Kovach M, Yasuda T, Boucher CA, Strauss HW: Multigated blood pool tomography: New methods for the assessment of left ventricular function. *J Nucl Med* **27**: 1916-1924, 1986
- 6) Ziada G, Mohamed MM, Hayat N, Yousof AM, Abdel-Dayem HM, Bahar R, Higazy E: Quantitative analysis of cardiac function: Comparison of electrocardiogram dual gated single photon emission tomography, planar radionuclide ventriculogram and contrast ventriculography in the determination of LV volume and ejection fraction. *Eur J Nucl Med* **12**: 592-597, 1987
- 7) Corbett JR, Jansen DE, Lewis SE, Gabliani GI, Nicod P, Filipchuk NG, Redish GA, Akers MS, Wolfe CL, Rellas JS, Parkey RW, Willerson JT: Tomographic gated blood pool radionuclide ventriculography: Analysis of wall motion and left ventricular volumes in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* **6**: 349-358, 1985
- 8) 山岸 隆, 佐々田孝美, 前田準也, 河野隆任, 吉永憲正, 小川 宏, 松田泰雄, 尾崎正治, 楠川禮造: 心拍同期心プール断層法による左室容積・駆出率・1回心拍出量算出の精度について. *核医学* **26**: 155-163, 1989
- 9) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 宇佐美暢久, 本田稔, 金尾啓右: 心プールイメージングによる, 虚血性心疾患における各種 systolic phase index の評価. *核医学* **19**: 409-417, 1982
- 10) Pombo JF, Troy BL, Russell RO: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480-490, 1971
- 11) Sandler H, Dodge HT: The use of single plane angiocardiograms for the calculation of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **75**: 325-334, 1968
- 12) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* **37**: 7-11, 1976
- 13) 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**: 1185-1191, 1985
- 14) Underwood SR, Walton S, Laming PJ, Jarritt PH, Ell PJ, Emanuel RW, Swanton RH: Left ventricular volume and ejection fraction determined by gated blood pool emission tomography. *Br Heart J* **53**: 216-222, 1985