

心電図同期心筋血流 Single Photon Emission Computed Tomography を用いた左心機能評価の有用性: Quantitative Gated Single Photon Emission Computed Tomography ソフトウェアを用いて

Assessment of Left Ventricular Function by Electrocardiogram-Gated Myocardial Single Photon Emission Computed Tomography Using Quantitative Gated Single Photon Emission Computed Tomography Software

森田 浩一
足立 至
金野 正典*¹
久保 直樹*²

Muhammad B. IMRAN

望月 孝史
伊藤 嘉規*¹
甲谷 哲郎*¹
北 島 顕*¹
塚本江利子
玉木 長良

Koichi MORITA, MD
Itaru ADACHI, MD
Masanori KONNO, MD*¹
Naoki KUBO, CNMT*²

Muhammad B. IMRAN, MD

Takafumi MOCHIZUKI, MD
Yoshinori ITOH, MD*¹
Tetsuro KOHYA, MD*¹
Akira KITABATAKE, MD, FJCC*¹
Eriko TSUKAMOTO, MD
Nagara TAMAKI, MD, FJCC

Abstract

Electrocardiogram (ECG)-gated myocardial single photon emission computed tomography (SPECT) can assess left ventricular (LV) perfusion and function easily using quantitative gated SPECT (QGS) software. ECG-gated SPECT was performed in 44 patients with coronary artery disease under post-stress and resting conditions to assess the values of LV functional parameters, by comparison to LV ejection fraction derived from gated blood pool scan and myocardial characteristics.

A good correlation was obtained between ejection fraction using QGS and that using cardiac blood pool scan ($r = 0.812$). Some patients with myocardial ischemia had lower ejection fraction under post-stress compared to resting conditions, indicating post-stress LV dysfunction. LV wall motion and wall thickening were significantly impaired in ischemic and infarcted myocardium, and the degree of abnormality in the infarcted areas was greater than in the ischemic area.

LV functional parameters derived using QGS were useful to assess post-stress LV dysfunction and myocardial viability. In conclusion, ECG-gated myocardial SPECT permits simultaneous quantitative assessment of myocardial perfusion and function.

J Cardiol 1999; 33(5): 257-263

Key Words

- Coronary artery disease
- Radionuclide imaging
- Image processing (computer-assisted)
- Ventricular function

北海道大学医学部 核医学, *¹循環器内科: 〒064-8638 札幌市北区北15条西7丁目; *²北海道大学医療技術短期大学部 診療放射線技術学科, 札幌

Departments of Nuclear Medicine and *¹Cardiovascular Medicine, Hokkaido University School of Medicine, Sapporo; *²Department of Radiological Technology, College of Medical Technology, Hokkaido University, Sapporo

Address for reprints: MORITA K, MD, Department of Nuclear Medicine, Hokkaido University School of Medicine, Nishi 7, Kita 15, Kita-ku, Sapporo 064-8638

Manuscript received January 12, 1999; accepted February 18, 1999

はじめに

Technetium-99m (^{99m}Tc) 標識心筋血流トレーサーの導入や多検出器型 single photon emission computed tomography (SPECT) 装置の普及により、心電図同期心筋血流 SPECT が容易に施行できるようになった。また、Germano ら^{1,2)}によって開発された左室心筋の輪郭を自動抽出して左心機能を定量的に評価が可能なソフトウェア [quantitative gated SPECT (QGS) プログラム] が供給されるようになった。心電図同期心筋血流 SPECT に QGS プログラムを適用することで、心筋血流と同時に左心機能指標を算出することが可能となった。QGS プログラムを用いて算出される左心機能指標と心プールシンチグラフィや左室造影との対比から QGS プログラムの信頼性の評価はなされている^{3,4)}が、心筋血流、壁運動、壁厚変化、左心機能指標の詳細な検討は十分にはなされていない。そこで我々は、心電図同期心筋血流 SPECT を施行した虚血性心疾患において、QGS プログラムを用いて各種の左心機能指標を算出し比較検討した。

対象と方法

1. 対 象

対象は虚血性心疾患で負荷/安静時心電図同期心筋血流 SPECT を施行した 44 例 (男性 28 例, 女性 16 例, 平均年齢 63 ± 8 歳) である。陳旧性心筋梗塞の既往を 13 例に認め、冠動脈血行再建術は 18 例に施行されていた (冠動脈バイパス術 10 例, 経皮的冠動脈形成術 9 例)。

2. 方 法

1) 心電図同期心筋血流 SPECT データ収集

全例に負荷時および安静時に ^{99m}Tc -methoxy-isobutylisonitrile (MIBI) を投与して、負荷後および安静時の心電図同期心筋血流 SPECT を 1 日法で撮像した。負荷方法はアデノシン三リン酸負荷または運動負荷を行い、負荷時に ^{99m}Tc -MIBI を 150 MBq 静注投与し、30 分後からデータ収集を開始した。3 時間の間隔を置き安静状態で ^{99m}Tc -MIBI を 450 MBq 静注し、60 分後からデータ収集を行った。装置は低エネルギー用高分解能コリメーターを装着した 3 検出器型ガンマカメラ (GCA9300A/DI, 東芝製) を用い、安静状態にてマト

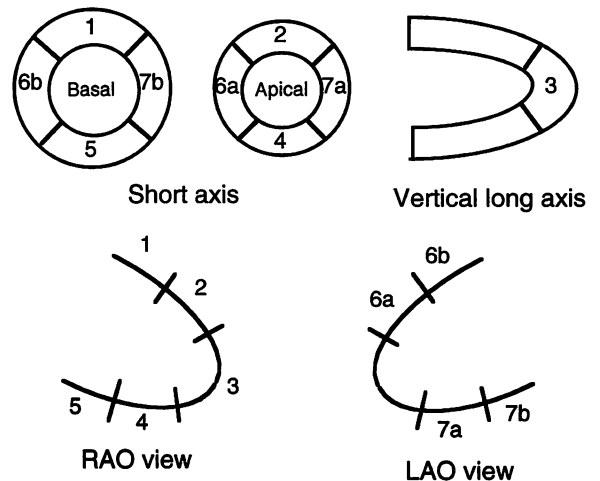


Fig. 1 Schematic presentation of the 9 segments used for the analysis of left ventricular perfusion (upper) and function (lower) on three-dimensional surface displays of the left ventricle

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

リックスは 64×64 で、60 方向から 360° の心電図同期心筋 SPECT のデータ収集を行った。心電図の R-R 間隔は 8 分割し、負荷後の検査では 1 方向 50 秒、安静時の検査では 1 方向 40 秒で 360° データを収集した。SPECT データは前処理として Butterworth filter (order 8, cut-off 0.24 cycle/pixel) を用い、フィルター逆投影法 (ramp filter) で再構成を行った。処理装置は GMS 5500DI (東芝製) を用いた。

2) 心電図同期心筋血流 SPECT データ処理

SPECT データは Germano らによって開発された QGS プログラム (Ver.1.0, RevA) を用いて、負荷後と安静時の心電図同期心筋血流 SPECT データの解析を行い、左心機能指標として左室駆出率、拡張末期容積および収縮末期容積を算出した。QGS プログラムを用いて左室の三次元表面画像と心筋 SPECT の splash 像を作成し、シネモード表示することで、左室壁運動と壁厚変化の評価に用いた。

3) 心プールシンチグラフィ

44 症例のうち 13 例においては、ほぼ同時期に心プールシンチグラフィを施行した。 ^{99m}Tc 標識赤血球の投与 20 分後から、安静状態で東芝製ガンマカメラ (GCA602A) を用いて左前斜位から 600 心拍の平衡時データ収集を行い、左室駆出率を算出した。

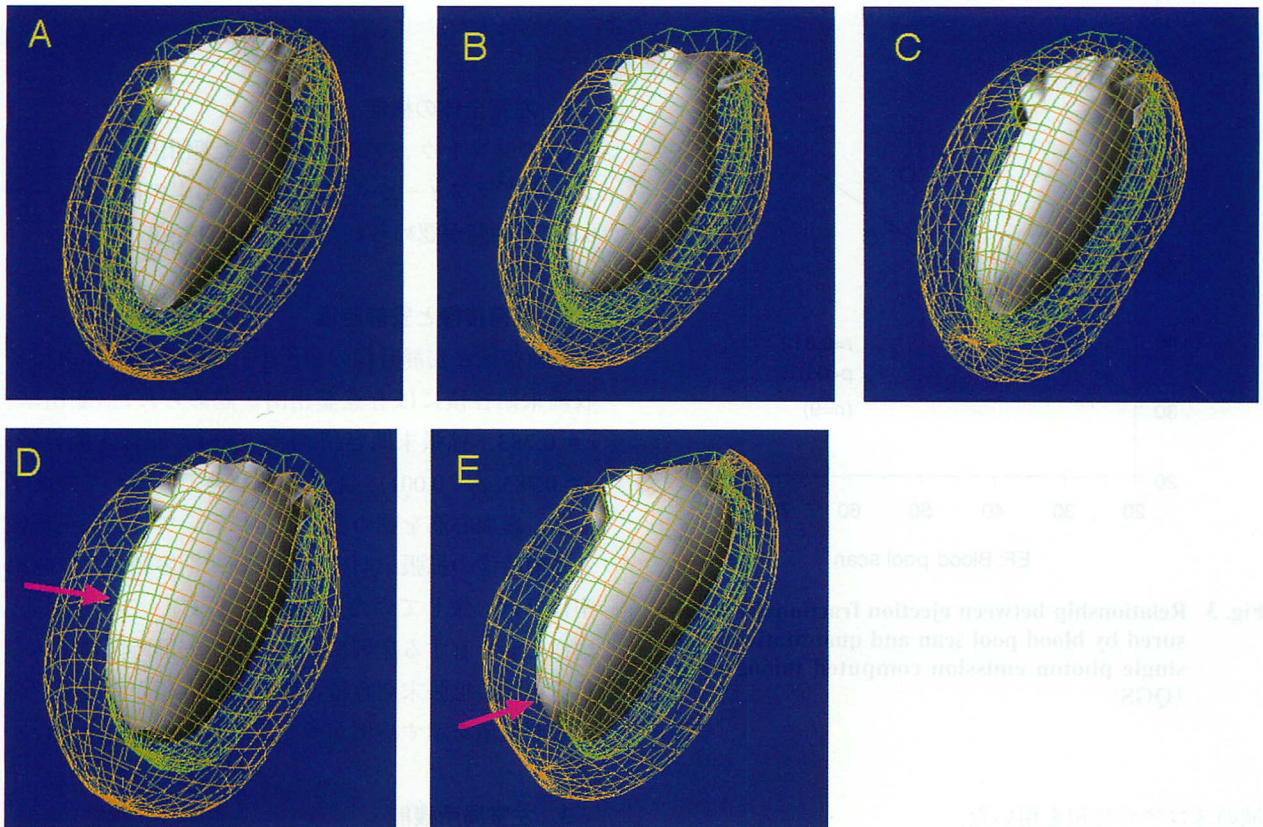


Fig. 2 Typical images of wall motion score from 0 to 4

The outer and inner meshes represent the epicardial and endocardial border, respectively, at the end-diastolic frame. Cardiac silhouette represents the endocardial border at the end-systolic frame.

A: Normal wall motion (score = 0), B: Mild hypokinesia (score = 1), C: Moderate hypokinesia (score = 2), D: Akinesia (arrow; score = 3), E: Dyskinesia (arrow; score = 4).

4) 局所左室壁運動と壁厚変化の評価

左室心筋を **Fig. 1** に示すように9領域に分割して、それぞれの領域の壁運動と壁厚変化を評価した。左室壁運動と壁厚変化は、QGSプログラムを用いて左室の三次元表面画像と心筋 SPECT の splash 像を作成してシネモード表示し、6名の核医学に従事する医師と技師が独自に9領域を視覚的にスコア化して、その平均値を壁運動と壁厚変化の指標とした。壁運動は三次元表面画像を右前斜位と左前斜位像として表示して、心筋9領域について0-4の5段階で判定した(0: 正常, 1: 軽度の壁運動低下, 2: 中度から高度の壁運動低下, 3: 壁運動消失, 4: 奇異性壁運動)。壁運動スコアは **Fig. 2** に示す判定基準を参考として各領域の6名のスコアの平均値とした。

壁厚変化は心筋 SPECT 画像を splash 像のシネモード表示し、視覚的に心周期に伴う集積変化からスコア

化した(0: 正常, 1: 軽度欠損, 2: 中等度欠損, 3: 高度欠損, 4: 変化なし)。同様に領域ごとに6名のスコアの平均値を壁厚変化の指標とした。局所壁運動と壁厚変化の9領域のスコアの総和を左室全体の壁運動および壁厚変化の指標とした。

5) 局所心筋血流の評価

局所心筋血流は、**Fig. 1** に示す9領域に相当する部位の SPECT の集積状態から、領域ごとに視覚的に0-3の4段階で判定した(0: 正常, 1: 軽度灌流低下, 2: 中等度灌流低下, 3: 高度灌流低下)。心筋虚血の判定については、負荷後と安静時の SPECT の対比で心筋局所血流スコアに1以上の低下が認められた領域を心筋虚血とした。心筋梗塞領域は、負荷後像においてスコア2以上で、fill-inの認められない領域と定義した。残りの領域については、心筋血流が正常領域と判定した。また、左室全体の心筋血流状態の指標として9領

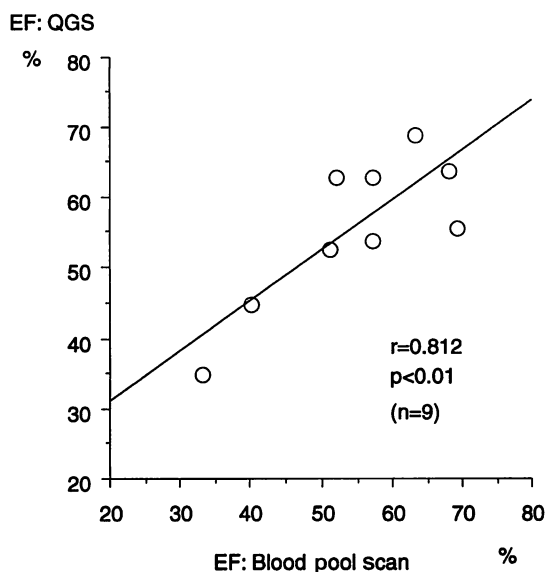


Fig. 3 Relationship between ejection fraction (EF) measured by blood pool scan and quantitative gated single photon emission computed tomography (QGS)

域のスコアの総和を用いた。

6) 検討項目

左室全体の機能: QGSソフトウェアから算出した駆出率と心プールシンチグラフィから算出した駆出率を対比した。心プールシンチグラフィとの対比においては、左室容積の小さい症例のQGSソフトウェアでの駆出率は過大評価される可能性があり⁵⁾、収縮末期容積が12ml以下の4症例は解析の対象から除外し、9症例について対比した。

負荷後像と安静時像: 負荷後像と安静時像のQGSソフトウェアを用いて算出した左室機能指標(駆出率、拡張末期容積、収縮末期容積)を対比した。局所心筋血流のスコアから虚血心筋を有する症例、梗塞心筋を有する症例および両者を認めない症例に分割して比較した。

左室局所機能: 心筋血流のスコアから判定した正常心筋、虚血心筋および梗塞心筋の領域における壁運動と壁厚変化を対比した。

7) 統計処理

相関は単回帰解析を用いて、相関係数 r を算出した。群間の対比には分散分析法(ANOVA)を用いた。 $p < 0.05$ を有意差の判定とし、データは平均±標準偏差で表示した。

結 果

1. 左室全体の機能

QGSソフトウェアから算出した駆出率と心プールシンチグラフィから算出した駆出率の間には、 $r = 0.812$ の相関が認められた($p < 0.01$, Fig. 3)。

2. 負荷後像と安静時像

負荷後像と安静時像の駆出率、拡張末期容積および収縮末期容積には有意な相関が認められた(駆出率: $r = 0.783$, 拡張末期容積: $r = 0.864$, 収縮末期容積: $r = 0.783$, $p < 0.001$)。心筋血流状態で分割して対比すると、虚血心筋を認めない症例においては、負荷後像と安静時像の拡張末期容積、収縮末期容積および駆出率はほぼ一致していた(Figs. 4-A, C)。これに対し、虚血心筋を有する症例においては、安静時像に比べて負荷後像の拡張末期容積と収縮末期容積が大きく、駆出率が低値を示す症例が多く認められた(Fig. 4-B)。

3. 左室局所機能

心筋局所の状態とその領域の壁運動と壁厚変化を対比すると、正常心筋、虚血心筋、梗塞心筋の順に壁運動と壁厚変化のスコアの増大が認められた。すなわち、正常心筋、虚血心筋、梗塞心筋の順に壁運動と壁厚変化の異常が高度となることが示された(Fig. 5)。

考 察

1. QGSソフトウェアの特長

QGSソフトウェアを用いることで、心電図同期心筋SPECTから左心機能の評価が可能となった¹⁾。QGSソフトウェアでは、左室輪郭を自動抽出するアルゴリズムによって容易な操作、短時間のデータ処理時間で再現性の良い左心機能の計測が可能である。また、左室心筋の心外膜側および心内膜側辺縁を三次元表示し、シネモード表示することで壁運動を容易に評価することも可能である²⁾。今回、QGSソフトウェアを用いて、左心機能指標を算出するとともに左室壁運動と壁厚変化を定量的に評価し、その有用性について検討した。

2. 左心機能指標

駆出率については、QGSと平衡時心プールシンチ

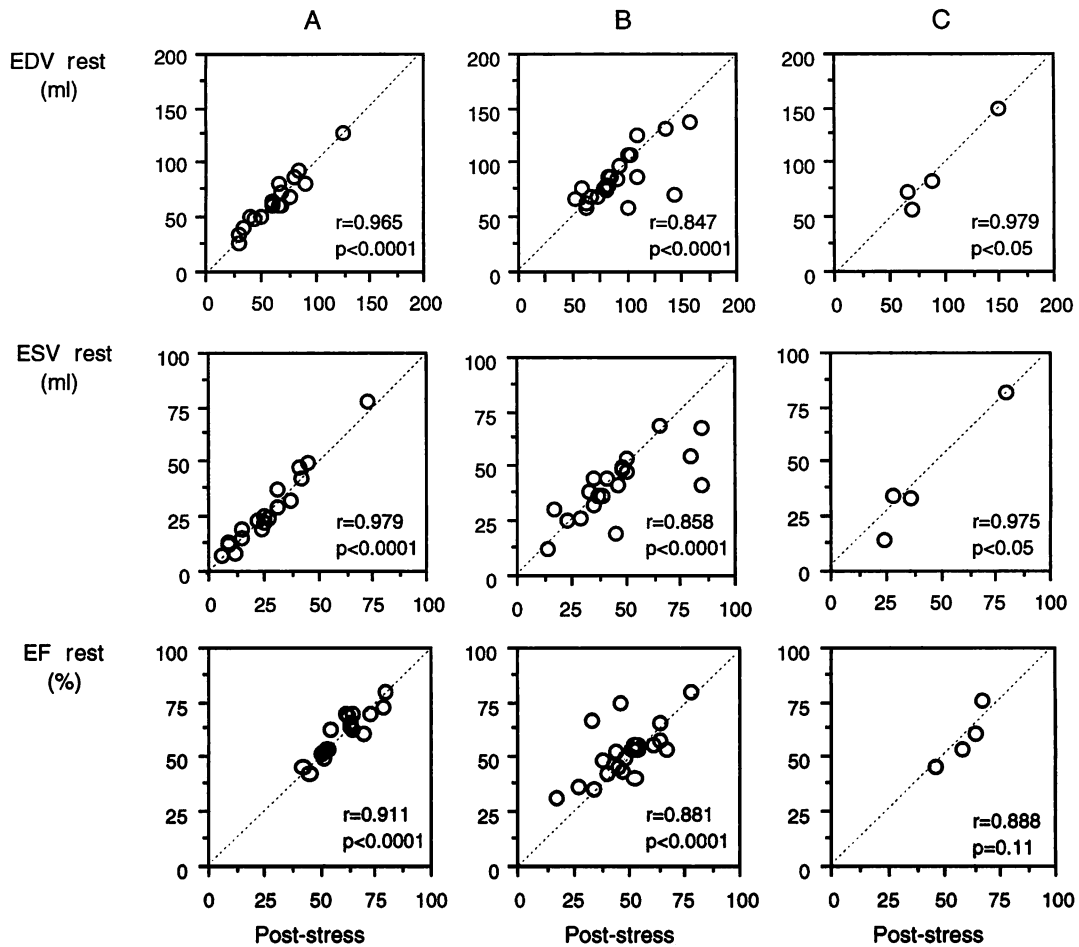


Fig. 4 Relationships of end-diastolic volume(EDV), end-systolic volume(ESV)and EF under post-stress and rest conditions

A: Without ischemia or infarction, B: With ischemia, C: With infarction but without ischemia.

Abbreviation as in Fig. 3.

グラフィーから算出した駆出率を比較すると、 $r=0.812$ の相関が認められた。今回の検討では、心プールシンチグラフィーと比較できた症例が9例と少なかったため、相関係数が比較的低値を示したと考えられる。これまでの報告でも QGS から算出された駆出率は、心プールシンチグラフィーや左室造影から算出した駆出率と良好な相関が認められている^{3,4)}ことから、QGS から算出される駆出率は左心機能指標の有用な指標と考えられる。今回は、拡張末期容積と収縮末期容積について、他の方法との対比は行っていない。今後、超音波検査や左室造影から測定した拡張末期容積と収縮末期容積との対比が必要と考えられる。

3. 負荷後像と安静時像の左心機能指標

今回の検討では、負荷時と安静時に^{99m}Tc-MIBIを投与して、それぞれ30分後、60分後からSPECTのデータ収集を開始した。したがって、SPECTのデータ収集時の左心機能は安静時心機能を反映すると考えられる。この点で両者の心機能の値はほぼ一致することが予測される。

負荷後像と安静時像の駆出率、拡張末期容積および収縮末期容積には、良好な正相関が認められたが、一部の症例において不一致を示す症例が認められた。とくに、虚血心筋を有する症例では負荷後像と安静時像の拡張末期容積、収縮末期容積および駆出率を対比すると、負荷後像の拡張末期容積と収縮末期容積が大きく、駆出率が低値を示す症例が多く認められた。

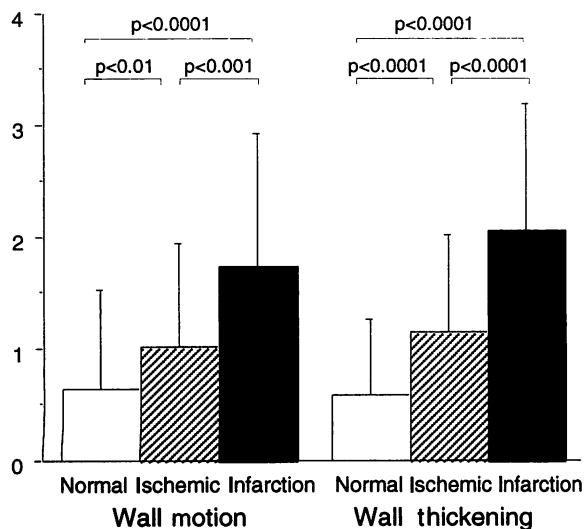


Fig. 5 Wall motion and wall thickening scores in normal, ischemic and infarcted myocardial regions

虚血心筋を認める症例において、負荷後像の駆出率が安静時像に比べて低値を示した機序については、負荷後の遷延した左心機能障害の存在^{6,7)}と負荷時の心内膜側虚血の2つの関与が考えられる。負荷後像のデータ収集は負荷後30分から開始していることから、撮像時の左心機能は安静状態に近いと考えられる。携帯型放射性同位元素心機能モニター(VEST)を用いた運動負荷後の経時的な心機能の検討によると、重症の虚血性心疾患では、負荷終了後のオーバーシュートは遷延するとされている⁸⁾が、今回の負荷後像の撮像開始の30分後には、左心機能は安静時に近い状態にあることが推察される。また、この撮像時期にはアデノシン三リン酸負荷の影響も認められないと考えられる。しかしながら、重症虚血心筋を有する症例では負荷後の左心機能異常が遷延する可能性も否定できず、今後負荷後の経時的な左心機能の変化を含めた検討⁹⁾

が必要と考えられる。また、負荷時の心内膜側虚血が存在した場合、QGSソフトウェアを用いて心内膜側心筋辺縁の抽出時に心内腔を過大評価する可能性がある。今回の検討でも、心筋虚血を有する症例で安静時像に比べて、負荷後像における拡張末期容積と収縮末期容積が大きく、駆出率が低値を示す症例が多く認められた。これは心筋虚血の存在によって負荷後像において左室内腔を過大評価し、駆出率を過小評価する可能性を支持すると考えられる。今後、超音波検査や磁気共鳴像などを用いた左室内腔容積の対比が必要と考えられる。

4. 左室局所機能

正常心筋、虚血心筋、梗塞心筋の壁運動および壁厚変化を比較すると、この順番に異常が高度となることが示された。このことは、QGSソフトウェアを用いて評価した壁運動および壁厚変化は、心筋性状に関する有用な情報を提供しうることを示唆している。すなわち、QGSを用いた壁運動および壁厚変化は、心筋生存能の評価にも有用と考えられる。今回の検討では、壁運動と壁厚変化を他の検査方法との対比は行っていない。今後、超音波検査、左室造影や磁気共鳴像との対比が必要と考えられる。

結 論

QGSソフトウェアを用いて算出される左心機能指標は、左室全体および局所機能の評価や心筋性状評価に有用であることが示唆された。負荷後像と安静時像の左心機能指標に差異が認められる症例があり、負荷後の左心機能異常の遷延や負荷時の心内膜側虚血の関与が推定された。今後、他の方法を用いた左心機能指標との対比が必要と考えられた。

要 約

心電図同期心筋血流 single photon emission computed tomography (SPECT) に quantitative gated SPECT (QGS) プログラムを用いることで、左心機能指標を容易に算出することが可能となった。そこで、虚血性心疾患44例に負荷後および安静時に心電図同期心筋血流 SPECT を施行して、QGS プログラムを用いて左室駆出率、壁運動、壁厚変化などの左室機能指標を算出し、心プールシンチグラフィから算出した左心機能指標や心筋性状と比較検討した。

左室駆出率はQGSと心プールシンチグラフィから算出したものとの間に、 $r=0.812$ の良好な相関が認められた。負荷後像と安静時像の比較では、心筋虚血を有する症例において安静時像に比べて負荷後像の駆出率が低値を示す症例が認められた。心筋性状、壁運動および壁厚変化を対比すると、正常心筋、虚血心筋、梗塞心筋の順に壁運動と壁厚変化の異常が高度となった。

QGSソフトウェアを用いて算出される左心機能指標は、左室全体および局所機能の評価や心筋性状評価に有用であることが示された。以上より、心電図同期心筋血流 SPECT を用いて心筋血流状態だけでなく心機能も同時にかつ定量的に解析できることが確認できた。

J Cardiol 1999; 33(5): 257-263

文 献

- 1) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, Van Train KF, Berman DS: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995; **36**: 2138-2147
- 2) Germano G, Erel J, Lewin H, Kavanagh PB, Berman DS: Automatic quantitation of regional myocardial wall motion and thickening from gated technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1977; **30**: 1360-1367
- 3) 汲田伸一郎, 趙 圭一, 水村 直, 木島鉄仁, 石原眞木子, 鳥羽正浩, 井上幸平, 隈崎達夫, 佐野純子, 多田祐美子, 哲翁弥生, 酒井俊太, 草間芳樹, 宗像一雄: ^{99m}Tc -Tetrofosmin心拍同期心筋SPECTデータを用いた左室収縮機能: 左室辺縁自動描出法による容積算出に基づく機能解析. *核医学* 1997; **34**: 237-242
- 4) 伴 和信, 中島 徹, 青木直人, 阿部純久, 半田俊之介, 鈴木 豊: 心電図同期 ^{99m}Tc -Tetrofosmin SPECTの定量解析法より得られる左室全体および局所機能: 左室造影および心臓超音波法との比較. *核医学* 1998; **35**: 881-885
- 5) Case J, Cullom S, Bateman T, Barnhart C, Saunders M: Overestimation of LVEF by gated MIBI myocardial perfusion SPECT in patients with small hearts. *J Am Coll Cardiol* 1998; **31**(Suppl A): A-43(abstr)
- 6) Javaid A, Borges-Neto S, Hanson MW, Coleman RE: Same day rest and "post stress" gated perfusion SPECT measurement of left ventricular function: A comparison with first-pass radionuclide angiography (RNA). *J Nucl Med* 1998; **39**: 76(abstr)
- 7) Sharir T, Bacher-Stier C, Dhar S, Lewin HC, Friedman J, Germano G, Berman DS: Post exercise regional wall motion abnormalities detected by Tc-99m sestamibi gated SPECT: A marker of severe coronary artery disease. *J Nucl Med* 1998; **39**: 87(abstr)
- 8) 玉木長良, Ishitiaque H, Mohiuddin, 大草知子, 大谷弘, 不藤哲郎, 林 正隆, 野原隆司, 米倉義治, 神原啓文, 河合忠一, 小西淳二: 携帯用RI心機能モニターによる運動負荷時および負荷後の心機能の経時的変化の検討. *核医学* 1989; **26**: 399-407
- 9) Hashimoto J, Kubo A, Kunieda E, Fujii H: Gated SPECT imaging protocol to evaluate myocardial stunning. *J Nucl Med* 1998; **39**: 102(abstr)