

《総説》

Gated SPECT は臨床に役立つか

 ^{99m}Tc 標識血流製剤による心筋血流・心機能の同時評価

石 田 良 雄*

要旨 ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤，多検出器型 SPECT 装置，左室心筋輪郭抽出ソフトウェアなどの環境整備により，心電図同期心筋血流 SPECT 像からの左室容積算出と左室駆出率計測が実現し，心筋血流・心機能の同時評価が臨床応用されるようになった．本稿では，慢性冠動脈疾患における冬眠心筋の検出，運動負荷後心機能回復が遅延する重症冠動脈疾患の診断，急性心筋梗塞再灌流療法後の心機能回復予測，右室疾患の診断において，その診断的有用性を解説する．

(核医学 39: 1-6, 2002)

はじめに

心臓核医学検査の二本柱である心筋血流（性状）と心機能の計測は， ^{201}Tl による心筋シンチグラフィと ^{99m}Tc 標識アルブミン・ ^{99m}Tc 標識赤血球による心プールシンチグラフィを用いて別個に実施されてきたが， ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤 (^{99m}Tc -MIBI, ^{99m}Tc -tetrofosmin) の登場，多検出器型 SPECT 装置の普及，心機能解析プログラム (QGS ソフトウェアほか) の開発などの環境が整備され，両計測が一回の検査で可能になった．本稿では，この同時評価法の概要とその意義について解説する．

 ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤を用いた心機能評価法

^{99m}Tc 標識心筋血流製剤 (^{99m}Tc -MIBI, ^{99m}Tc -tetrofosmin) は， ^{201}Tl に比べガンマカメラに適した光子エネルギー (140 keV) を持ち，半減期が短

第 40 回日本核医学会総会教育講演の内容を総説として編集委員会が投稿をお願いした．

* 国立循環器病センター放射線診療部

受付：13 年 6 月 11 日

別刷請求先：吹田市藤白台 5-7-1 (☎ 565-8565)

国立循環器病センター放射線診療部

石 田 良 雄

く (6 時間) 大量投与 (740-1110 MBq) が可能である．これらの特質によって，第 1 には，ボース静注後の初回循環時にファーストパス心血管造影法を実施すれば，右室および左室の駆出率 (EF) を計測できる．第 2 には，撮像時間を短縮できる多検出器型 SPECT 装置を利用して，心電図同期収集にて心筋断層イメージングを実施すれば，各心時相の左室心筋断層像の輪郭抽出から左室容積・EF を計測できる．

右室梗塞を合併した下壁心筋梗塞の一例で，この一連の方法を紹介すると，第 1 には， ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤 (592-740 MBq) を肘静脈より急速注入し，その直後からファーストパス心血管造影を行い (RAO 方向，50 msec/frame)，同データを 0.5-1 sec/frame に変換した画像 (Fig. 1 左) において心・大血管の形態・循環動態を視覚評価する．本例では右室拡大が明瞭に描出されている．第 2 には，ファーストパス動態画像から両心室の時間放射能曲線を計測し，収縮・拡張に伴う鋸歯状の放射能変化に基づいて EF を求める (Fig. 1 右)．本例では，右室および左室の EF 低下が認められる．第 3 には，回転型ガンマカメラを用いて SPECT 撮像を行い，斜断層像において梗塞部位とサイズの観察を行う (Fig. 2 左)．ブルズアイ表

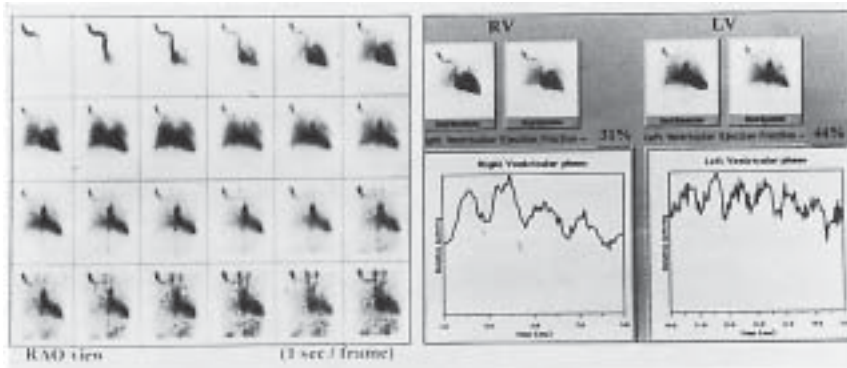


Fig. 1 First-pass radionuclide angiography using ^{99m}Tc -labeled myocardial perfusion agents (a case with inferior myocardial infarction and right ventricular infarction). Dynamic data acquisition (50 msec/frame) was performed from a right anterior oblique view immediately after a bolus injection of ^{99m}Tc -labeled myocardial perfusion agents. Visual assessment of the bolus transit from the composite dynamic images (1 sec/frame) (left) and measurement of right ventricular ejection fraction (RVEF) from the original right ventricular time activity curve (right).

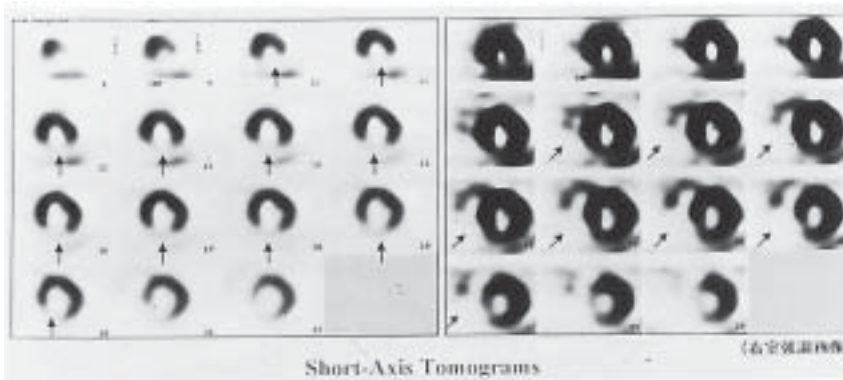


Fig. 2 Non ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging with ^{99m}Tc -labeled perfusion agents and the Bull's eye display (the same case as shown in Figure 1). Perfusion defects were observed in the inferior wall of the left ventricle using a general display (left) and were observed in the free wall of the right ventricle (RV) using a RV-enhanced display (right).

示を利用した梗塞サイズの定量評価も可能である。本例は下壁の広範囲梗塞例と診断された。また、本例では、グレースケールを調節して右室心筋を強調すると、右室梗塞部の範囲を認識することができた (Fig. 2 右)。第 4 には、心電図同期収集 (心電図 R-R 間隔を 8-16 分割) で撮像した SPECT 像を利用し、その画像処理 (後記) に基づ

いて左室機能を評価する (Fig. 3)。本例では、左室拡張末期容積 102 ml、同収縮末期容積 56 ml、同 EF 46% と計測され、左室機能不全の程度が示された。さらに、左室内膜輪郭のシネモード表示にて局所壁運動異常の観察が可能である。本例では、下壁部は低収縮を呈していた (Fig. 4)。以上の計測プロトコールにおいて、第 3 の非同期

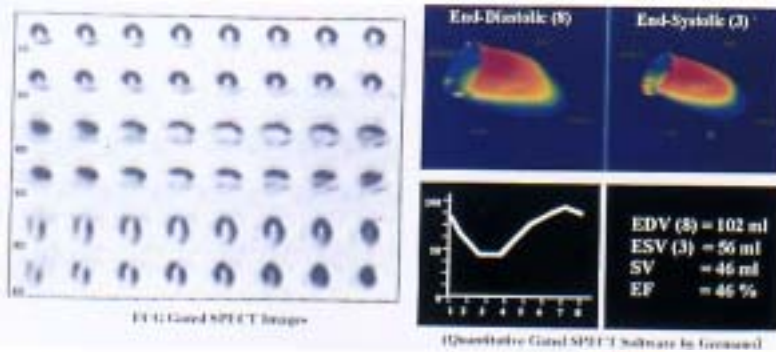


Fig. 3 ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging with ^{99m}Tc -labeled perfusion agents and global assessment of left ventricular (LV) function based on the automatic determination of LV myocardial contour of the gated SPECT images (the same case as shown in Figure 1). QGS software developed by Germano is now widely used to measure LV volumes and ejection fraction owing to its highly sophisticated property.

Fig. 4 Regional assessment of left ventricular (LV) function using QGS software (the same case as shown in Figure 1). Cine-mode display of the LV contours derived from the gated SPECT images contributes to the detection of regional wall motion abnormalities

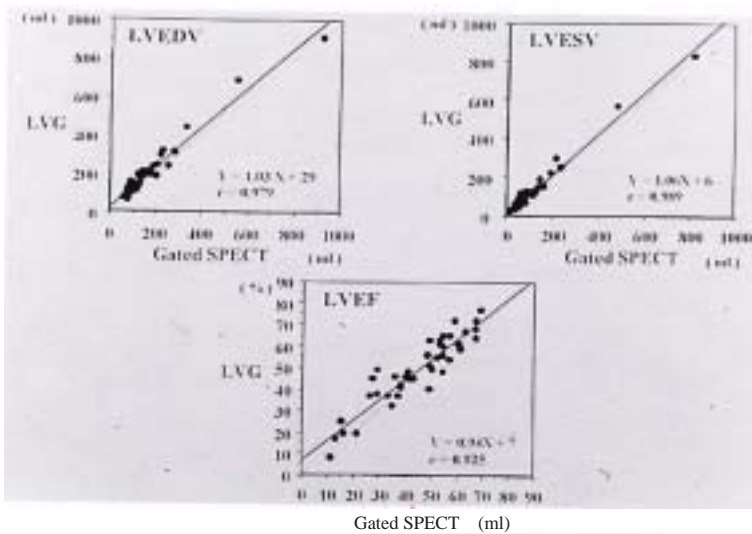
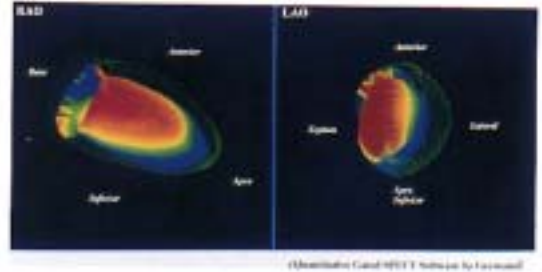
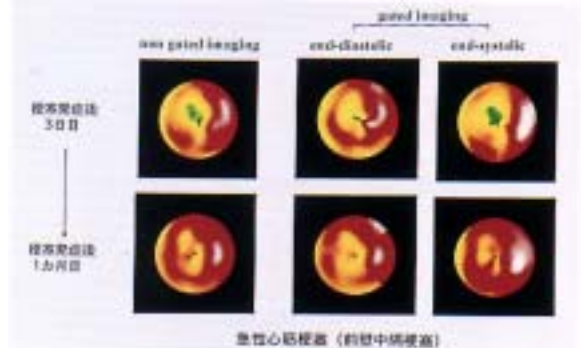


Fig. 5 ▶

Fig. 6

Fig. 5 Reliability of measurement of left ventricular end-diastolic and end-systolic volumes, and ejection fraction by the QGS software. Comparison with those measured by biplane left ventriculography (Simpson method).

Fig. 6 Application of the quantitative ECG-gated myocardial perfusion SPECT with ^{99m}Tc -labeled perfusion agents to the follow-up study of acute myocardial infarction.



SPECT 像は、第 4 の心電図同期収集データの加算によって得るのが一般的である。

このように、 ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤を利用すると、心筋血流シンチグラフィという本来の目的に加えて、従来からの撮像時間 (約 20 分) の範囲内で行った心電図同期収集 SPECT 像をもとに左室機能計測が可能となった。

QGSソフトウェアによる左室機能解析

心電図同期心筋 SPECT 像からの左室機能解析には、左室心筋輪郭抽出を的確に実施する画像処理法が必要であった。当初は、拡張末期像と収縮末期像の左室心筋輪郭を手動的にトレースする方法で容積計測が行われたが¹⁾、精度および再現性に欠陥が否めず、一定の原理に基づく自動輪郭抽出法が開発されるに至った。種々の方法が提唱されてきたが、1995 年に Germano らによって開発された “Quantitative Gated SPECT (QGS) ソフトウェア”²⁾ が、その計測精度の高さとプログラムパッケージの一般供給によって急速に普及した。

QGS ソフトウェアの詳細は省略するが、その優れる点は、(1) 心筋短軸断層像を立体的に構築して、左室内腔の重心から放射状に延長したライン上の放射能カウントプロフィールに基づいて輪郭が抽出される (弁口部の認識や心尖部輪郭抽出が正確に行われる)、(2) 放射能カウントプロフィールのガウス関数近似に基づいて心内膜・外膜面を決定する (従来の閾値法で生じた低集積部で認識エラーが改善される)、(3) イメージ欠損部の輪郭抽出を三次元的な外挿処理にて対処する (心筋梗塞例にも対応可能にする)、(4) 処理を完全自動化する (再現性、客観性を高める) などの点である。

この QGS ソフトウェアによる左室機能解析の信頼性は、心プールスキャンによる左室駆出率との比較、左室造影および MRI による左室容積・駆出率との比較から示されてきた^{3,4)}。われわれは、1 か月の間隔内で RR 間隔 8 分割収集の心電図同期心筋 SPECT と左室造影 (LVG) が実施された虚血性心疾患、拡張型心筋症、弁膜症の患者を

対象とし、QGS と LVG-Simpson 法での計測値の比較を行った⁵⁾。その結果、QGS は、優れた計測精度 (Fig. 5) を持つことが明らかになった。LVG に比べると時間分解能が劣るものかなり一致した計測値を得ることができ、またイメージ欠損例や容積拡大例が含まれていても優れた計測精度を維持することが確かめられた。処理ステップが自動化されているところから、計測の再現性も優れていた。しかし、われわれのこれまでの経験から、(1) small heart の場合 (収縮末期容積が 20 ml 以下と計測される場合) には計測の信頼性が失われること、(2) 心室瘤や広範囲梗塞の症例では容積が過小評価されること、(3) 肥大型心筋症では輪郭が心筋部内側に抽出され容積が過大評価されることなどの問題があることを指摘したい。これらは特殊なケースであるが、これらの症例への適用には十分な注意が必要であろう。

診断的応用：心筋血流・心機能の同時評価

心筋血流と心機能はあらゆる心疾患の診療に不可欠な情報であるため、この ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤による心筋血流・心機能の同時評価法は、非常に活用範囲が広い。特に左室容積計測が左室造影に匹敵する精度で非侵襲的に行えることは、心疾患の予後と関連の深い左室リモデリングをモニターするうえで非常に有用と考えられる。また、内科的治療・外科的治療の効果判定には最適な方法である。このような左室機能計測法としての価値が主体の分野は別にして、本稿では心筋血流と心機能の同時評価に意義の大きい以下の 4 分野に注目する。

冬眠心筋の検出

慢性冠動脈疾患では虚血リスクの回避ならびに心不全治療を目的に冠血行再建術が適用されるが、この際に冬眠心筋 (viability は維持されているが慢性虚血によって高度収縮不全を呈する心筋) の存在領域を正確に診断することは、冠血行再建が優先されるべき血管枝の判定や治療による心機能改善の予測において重要性が高い。この診断分野は、心筋血流分布による局所心筋の viability と

収縮機能を同時に観察できる本法の特質が最も生かされる分野であろう。プルズアイ表示を用いて両情報を対比する方法が活用されている。しかし、局所収縮機能の定量指標の信頼性がまだ十分でなく改良の余地が残されている⁶⁾。

冠動脈病変の重症度評価

運動負荷心筋シンチグラフィによる冠動脈病変の重症度評価はすでにルチン化された検査であるが、この場合に心電図同期 SPECT を併用すると負荷による心機能変化を診断的に応用できる。^{99m}Tc 標識血流製剤では負荷後約 1 時間の時点での撮像となるが、この時の左室駆出率が安静時よりも低下している場合には、多枝病変の重症ケースであることが示唆される。血流画像で多枝病変例では虚血を過小評価することがあり、このような心機能計測の併用は意義が大きいと考えられる。

急性心筋梗塞のフォローアップ

急性心筋梗塞例に対しては、再灌流療法の効果判定(心筋サルベージ効果)と治療後の機能回復予測に本法が役立つことをわれわれは報告してきた⁷⁾。Fig. 6 は、再灌流療法実施後 3 日目(亜急性期)と 1 か月目(慢性期)に実施した心電図同期心筋 SPECT 像の比較である。従来報告のように亜急性期から慢性期へ非同期画像の血流欠損像の縮小が観察されているが、心電図同期像では拡張末期(ED)の欠損はほとんど変わらない一方で、収縮末期(ES)の欠損の顕著な縮小が認められている⁸⁾。この ES 像の欠損縮小は、亜急性期の心筋収縮不全(再灌流による気絶心筋)が慢性期へと改善したことと関係がある。すなわち、収縮不全によって ES での局所壁厚増加が部分的に抑制されると、その部分はガンマカメラ固有の部分容積効果によって局所欠損を呈するが、収縮不全の改善とともにこの効果が薄れ欠損は縮小すると考えられる。ED 像では壁厚が一様であり部分容積効果の影響は少なく欠損は血流不全・組織壊死を反映するため、再灌流後の亜急性期から慢性期への変化は少ないものと考えられる。したがって、急性心筋梗塞のフォローアップにおいて心電図同期心

筋 SPECT を利用すると、QGS ソフトウェアによる左室機能回復のモニタリングとともに、ED 像から心筋血流状態の変化が、ES 像から局所収縮不全の改善経過が観察できる。再灌流療法やその後の診療経過の評価に非常に有益である⁹⁾。

右室疾患の重症度評価

右室梗塞、肺高血圧疾患(肺血栓、原発性肺高血圧、シャント疾患)、不整脈原性右室異形成症(ARVD)などの右室疾患例では、右室不全の重症度評価、可能であれば右室心筋性状の判定、そして合併することで予後に影響する左室不全の評価などが診療上必要である。Fig. 1-4 の右室梗塞合併の下壁梗塞例で示したように、これらの診断目標において、^{99m}Tc 標識心筋血流製剤による心筋血流・心機能の同時評価の意義は注目に値する¹⁰⁾。また、心プールシンチグラフィでは、これらの右室不全例の場合、右室拡大によって左室の分離が困難で左室機能計測が不正確になりがちであったが、この点も解消されることになる。

さいごに

^{99m}Tc 標識心筋血流製剤と ²⁰¹Tl の使用比率は欧米では 4 対 1 であるが、本邦では 3 対 7 であると聞く。今回示したように、心電図同期 SPECT の心機能解析ソフトウェアの利用によって診断的価値が増大するので、同ソフトウェアの普及とともに ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤の使用比率が欧米に近づくであろう。心筋血流と心機能の同時評価が役立つ事例は、さらに付け加えられてゆくと思われる。

文 献

- 1) DePuey EG, Nichols K, Dobrinsky C: Left ventricular ejection fraction assessed from gated technetium-99m sestamibi SPECT. *J Nucl Med* 1993; 34: 1871-1876.
- 2) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995; 36: 2138-2147.
- 3) Boonyaprapa S, Ekmahachai M, Thanachaikun N, et al: Measurement of left ventricular ejection fraction from gated technetium-99m sestamibi myocardial images. *Eur J Nucl Med* 1995; 22: 528-531.

- 4) 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 左室辺縁自動抽出法による容量算出に基づく機能解析 . 核医学 1997; 34: 237-242.
- 5) 下津順子, 石田良雄, 村川圭三, 片瀨哲朗, 福地一樹, 林田孝平, 他: ^{99m}Tc -MIBI 心電図同期心筋 SPECT による左室機能自動計測の信頼性の検討 . 核医学 1997; 34 (12): 1093-1099.
- 6) Ishida Y, Sugimoto N, Kawano S, Katafuchi T, Takamiya M, Uyama C, Hasegawa H: Three-dimensional image processing and motion analysis of the heart using radionuclide medical images. In: *Clinical Application of Computational Mechanics to the Cardiovascular System*, Yamaguchi T (ed.), Springer, 2000: 258-268.
- 7) 石田良雄: 第 2 章 病態に応じた画像診断法 I-3. 急性期 核医学 , 「虚血性心疾患 病態に応じた画像診断法」(西村恒彦企画・編集, 吉田 清, 南都伸介, 石田良雄編), メジカルセンス, 2000: 70-84.
- 8) 鳥羽正浩, 石田良雄, 福地一樹, 下津順子, 久米典彦, 林田孝平, 他: 急性心筋梗塞の経過観察における ^{99m}Tc -MIBI 心電図同期心筋 SPECT の有用性 梗塞部集積改善の機序に関する検討 . 核医学 1998; 35 (4): 219-227.
- 9) Toba M, Ishida Y, Fukuchi K, Noguchi T, Itoh A, Nonogi H, et al: Use of ECG-gated SPET to assess the evolution of perfusion after acute myocardial infarction. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 517-523.
- 10) 石田良雄, 鳥羽正浩, 福地一樹, 他: Quantitative Gated SPECT (QGS). 循環器病研究の進歩 1999; 20 (1): 19-29.

Summary

Significance of ^{99m}Tc -Labeled Perfusion Agents in the Simultaneous Assessment of Myocardial Perfusion and Cardiac Function

Yoshio ISHIDA

Department of Radiology and Nuclear Medicine, National Cardiovascular Center

Simultaneous assessment of left ventricular myocardial perfusion and systolic function was accomplished by utilizing ECG-gated myocardial perfusion SPECT. This development in nuclear cardiology will be attributed to the recent advances in new ^{99m}Tc -labeled perfusion agents, multi-detector SPECT system and software for automatic edge-detection of the left ventricle. In this article, we described about the clinical utilities of this method in detecting “hibernating

myocardium,” severe coronary artery disease patients with exercise-induced LV dysfunction, in predicting functional recovery after reperfusion therapy for acute myocardial infarction patients and in diagnosing patients with right heart diseases.

Key words: ^{99m}Tc -labeled perfusion agents, ECG gated myocardial perfusion SPECT, Hibernating myocardium, Acute myocardial infarction.