

心電図同期心筋 SPECT (gated SPECT) の普遍化に関する ガイドライン(最終報告)

代表 西村 恒彦 (京都府立医科大学放射線科)

メンバー 中嶋 憲一 (金沢大学・核医学診療科：副委員長)
 中田 智明 (札幌医科大学・第二内科：副委員長)
 汲田伸一郎 (日本医科大学・放射線科)
 中村 智樹 (京都府立医大・放射線科)
 伴 和信 (東海大学・循環器内科)
 福地 一樹 (国立循環器病センター・放射線科)
 丸野 広大 (虎の門病院・放射線科)
 山辺 裕 (加西病院・内科)

本ガイドラインの背景と目的

^{99m}Tc 標識心筋血流製剤の導入および多検出器型 SPECT 装置の開発により心電図同期心筋 SPECT (gated SPECT) がルーチン検査として行えるようになってきた。Gated SPECT は心筋血流と心機能を同時に評価できる優れた特徴を有している。とりわけ Germano らの開発した Quantitative Gated SPECT (QGS) は左室辺縁を自動抽出し左室駆出分画や左室容量などの心機能諸値を定量的に算出できることから各種心疾患の診断のみならず治療効果の判定、予後評価において臨床的に定着することが期待されている。

しかし、Gated SPECT がどの施設でも普遍的に用いられるためには SPECT 装置、放射性医薬品の差異のみならずデータ収集、解析法においても一定の基準化が必要である。Gated SPECT 施行時に必要な品質管理、誤差要因についても熟知しておくべきである。

また、このような基礎的検討を背景にして心機能諸値の精度に関して心エコー図や左室造影法など他の手法との比較の上で確立していく必要がある。臨床的には急性冠動脈症候群、慢性冠動脈疾患、心不全などにおける診断、虚血心筋(冬眠心筋、気絶心筋)、心筋 viability などの病態評価と

治療方針の判定、さらには今後重要になるであろう虚血性心疾患のリスク層別化、予後評価ひいては費用対効果の面から有用性について確立していく必要がある。

本ガイドラインは心臓核医学検査の質的向上と日常診療への還元を計ることを目的として作成した。また、このガイドラインを基準にして大規模介入試験における gold standard としての役割などが今後大いに期待される。

[西村 恒彦]

目次

I. 基礎編

1. Gated SPECT の基本原理
2. 放射性医薬品と検査法
 - 1) 放射性医薬品
 - 2) 検査法
 - 3) 被曝線量
3. SPECT 機器
4. データ収集法
 - 1) Gated SPECT のデータ収集
 - 2) Gated SPECT を用いた負荷検査法
5. データ解析法
 - 1) Gated SPECT による定量法

- 2) 心室全体および局所の機能評価
- 3) 表示法
 - 3 次元表示法
 - 2 次元表示法
6. 品質管理 (quality control) と誤差要因
 - 1) SPECT データ収集時の管理
 - 2) SPECT 再構成および gated SPECT 処理時の誤差要因

II. 臨床編

1. 診 断
 - 1) 急性冠症候群
 - 2) 慢性冠動脈疾患
 - 冠動脈疾患の診断と重症度評価
 - 冠動脈血行再建術の適応
 - 冠動脈血行再建術の効果判定
 - 3) 心不全
 - 4) 非冠動脈疾患
 - 肥大型心筋症
 - 拡張型心筋症
 - 虚血性心筋症との鑑別
2. 病態生理・治療効果の評価
 - 1) 虚血心筋の評価
 - 冬眠心筋 (Hibernating myocardium)
 - 気絶心筋 (Stunned myocardium)
 - 2) 心筋生存性 (バイアピリティ) の評価
3. リスク・予後評価
4. 費用対効果

I. 基礎編

1. Gated SPECT の基本原理

Gated SPECT は、心電図の R 波に同期させて 1 心拍を分割し、それぞれの時相ごとに SPECT 再構成を行うことにより、心筋の 1 心拍の動きと放射性医薬品そのものもつ機能情報とともに評価する方法である¹⁻³⁾。壁運動の評価法には、心カテーテルによる心室造影、超音波、核磁気共鳴画像 (MRI) など種々の方法が利用されているが、心筋血流と壁運動の情報とを完全に対応する領域

で精度高く評価できる点が特徴である。原理的には、心筋血流、心筋代謝、心プールイメージングを含め各種の放射性医薬品にゲート収集が可能であるが、このガイドライン基礎編では最も一般的な心筋血流イメージングのデータ収集と処理を対象に記載する。

[中嶋 憲一]

2. 放射性医薬品と検査法

1) 放射性医薬品

使用する放射性医薬品は十分な心筋カウントを得るという点から、^{99m}Tc 標識心筋血流製剤 (^{99m}Tc 製剤) である ^{99m}Tc-MIBI または ^{99m}Tc-tetrofosmin が最も適している。Gated SPECT の各種解析ソフトウェアが ^{99m}Tc 製剤の使用を想定して開発されていることから ^{99m}Tc 製剤が推奨される⁴⁻⁶⁾。同日に安静時、負荷時の 2 回投与による検査を行う場合、^{99m}Tc 製剤の投与量は第 1 回目を 185 ~ 370 MBq (5 ~ 10 mCi)、第 2 回目を 555 ~ 925 MBq (15 ~ 25 mCi) とすることが多い⁷⁾。第 2 回目の投与量は第 1 回目の 2.5 ~ 3 倍の量とするのが一般的である。負荷および安静投与の順序はいつでもよいが、2 回の検査はなるべく間隔をあけることが望ましく、負荷検査を先に施行する場合 3 ~ 4 時間の間隔が必要である⁸⁾。^{99m}Tc 製剤の投与が 1 日に 1 回の場合には 370 ~ 1110 MBq (10 ~ 30 mCi) とする。投与量は検査方法、年齢、体重によりそれぞれ適宜増減する。

2) 検査法

^{99m}Tc 製剤の投与から撮像を開始するまでの時間は 30 ~ 60 分前後とする。撮像開始までの時間が短い場合は腹部臓器への集積が強いことがあるので注意を要する。特に、安静時あるいは薬剤負荷時は心筋に対する腹部臓器のカウントが高い傾向にあるので、45 ~ 60 分後に撮像を開始するほうがよい⁹⁾。

²⁰¹Tl は ^{99m}Tc 製剤と比較して投与量が少なく、散乱線の割合が大きなど不利な点が多いが、抽出率が高く心外集積が少ないなどの利点がある^{10,11)}。放出光子 (71 keV: 特性 X 線) のエネルギー

ギーが低いため吸収によるアーチファクトが生じやすいが、Gated SPECT を行うことにより真の集積低下との鑑別が容易になる。また各種解析ソフトウェアも使用でき、他検査法との比較が報告されている¹²⁻¹⁹。²⁰¹Tl を 74 ~ 148 MBq (2 ~ 4 mCi) 投与し約 10 分後に早期像、3 ~ 4 時間後に後期像(再分布像)を撮像する。運動負荷検査の場合、負荷時の虚血の程度を反映する負荷後早期の左心機能が評価できるが^{20,21}、²⁰¹Tl では早期像に gated SPECT を用いることにより負荷直後の左室機能、後期像では安静時の左心機能が評価できる。

安静時に ²⁰¹Tl を 111 ~ 167 MBq (3 ~ 4.5 mCi) 投与した後、負荷時に ^{99m}Tc 製剤 925 ~ 1110 MBq (25 ~ 30 mCi) を投与し 2 核種同時収集法によって負荷検査を短時間で行う方法もある²²。また ¹²³I-BMIPP に gated SPECT を用いることにより心筋血流、心機能、心筋代謝を同時に評価することができる^{23,24}。

運動負荷および薬剤負荷の方法は基本的には非同期心筋 SPECT と同じであるが、^{99m}Tc 製剤は薬剤負荷にジピリダモールあるいはアデノシン三燐酸(ATP)を用いると腹部臓器への集積がより増加するので注意が必要である。

3) 被曝線量

各放射性医薬品による内部被曝線量の推定値は計算方法により異なるが、およその値を全身の吸収線量で表すと、²⁰¹Tl を 111 MBq 投与した場合 3.0 ~ 6.3 mGy (1.0 ~ 2.1 mGy/37 MBq)、^{99m}Tc-MIBI を 740 MBq 投与した場合 1.8 ~ 1.9 mGy (0.089 ~ 0.097 mGy/37 MBq)、^{99m}Tc-tetrofosmin を 740 MBq 投与した場合 2.4 ~ 2.8 mGy (0.12 ~ 0.14 mGy/37 MBq)、¹²³I-BMIPP を 111 MBq 投与した場合 1.4 mGy (0.47 mGy/37 MBq) である²⁵⁻²⁸。

3. SPECT 機器

Gated SPECT の撮像において重要なことは、十分な収集カウントを得ることである。したがって、ガンマカメラの種類によってコリメータや収集角度等を適切なものにする必要がある。収集方向数はステップ角度(サンプリング角度)が 6 度以下になるようにすれば心筋血流像、心機能評価

ともに影響は受けない²⁹。

1 検出器型の場合は左前方向 180 度収集とし、コリメータは感度を優先し低エネルギー汎用コリメータ(LEGP または LEAP)の使用が望ましい。やむを得ず低エネルギー高分解能コリメータ(LEHR)を用いる場合は収集カウンターの不足に注意する必要がある。収集方向数は 30 または 32 が適当である。

2 検出器型のうち検出器を 90 (~104) 度に配置した場合は左前方向 180 度収集とし、コリメータは LEHR、LEAP またはファンビームコリメータを使用する。収集方向数は 30 ~ 64 とする。対向型 2 検出器カメラの場合は 360 度収集とし、コリメータは LEHR、LEAP またはファンビームコリメータを使用する。収集方向数は 60 ~ 72 とする。

3 検出器型は 360 度収集とし、コリメータは LEHR またはファンビームコリメータを使用する。収集方向数は 60 ~ 72 とする。

各種解析ソフトウェアを用いる場合、コリメータによって解析結果が異なるので注意が必要である³⁰。多検出器型で ^{99m}Tc 製剤を用いるときは LEHR またはファンビームコリメータの使用が望ましい。また、²⁰¹Tl を用いた検査でカウントが不足する場合は、LEAP を使用することもできる。安静 ²⁰¹Tl / 負荷 ^{99m}Tc-MIBI など ²⁰¹Tl と ^{99m}Tc 製剤の組み合わせで 2 核種同時収集をする場合は核種による分解能の違いを小さくするために LEHR の使用が推奨されている³¹。

カメラの回転軌道も解析結果の変動要因であるので、回転半径を固定した円軌道が再現性の点で優れている。ただし被検者の心臓が小さい等、空間分解能を向上させたい場合は回転半径を小さくし、可能であれば近接軌道を用いる。2つの検出器を 90 度に配置して円軌道で回転させると、回転半径が大きくなるので注意を要する。180 度収集は 360 度収集と比較して像の歪みを生じるが、コントラストは良くなる。データ収集時に連続回転モードが使用できる機器では、ステップ間のカメラ回転時間のロスがなくなるので利用するとよい。

[丸野 広大]

4. データ収集法

1) Gated SPECT のデータ収集

心電図同期法におけるデータ収集条件設定は、1 投影像あたりの心拍数で規定する方法と、時間を基準とする方法に大別できる。前者は、不整脈などの心拍を除外すれば精度の高い心電図同期データを得ることが可能であるが、除外心拍数が高頻度の場合にはデータ収集時間(検査時間)の延長をきたす。逆に、後者では検査時間は常に一定に保たれるものの、高頻度の不整脈により収集データの精度低下をきたす可能性がある。このように、不整脈は心電図同期データに影響を及ぼす一因子であり³²⁾、とくに心房細動のように恒久的に R-R 間隔の変動を示す症例では、収集データの精度低下が顕著である³³⁾。このような症例に対し心プールシンチグラフィにおいては、心電図同期データ収集をしたのちに解析に使用するデータを抽出するリストモード収集法を適用する。しかしながら、gated SPECT データにおいてのリストモード収集は膨大なデータ量となるため、データの解析および蓄積の両面より、現段階ではきわめて困難である。心室性期外収縮などに関しては、設定された収集許容 R-R 間隔からある基準以上に外れた心拍を除外する beat rejection を行う。許容する R-R 間隔の範囲を beat length acceptance window と称し、実際には 30~100% (±15~±50%) 程度に設定している施設が多い。当然のことながら、心電図同期データの精度を上げるためにはウィンドウ幅を狭く設定した方が有利であるが、過剰に狭めると除外心拍が増し収集時間の延長を招くため注意を要する。また beat length acceptance window は機種によって、データ収集時に固定されるもののほか、心拍数変動に追従する機能を有するものがある。

心電図同期データ収集時の R-R 分割数は、現状では 8~16 分割が一般的である。分割数を減ざると時間分解能追従の低下が生じるため、拡張末期容量は過小評価、収縮末期容量は過大評価され、この結果、左室駆出分画は過小評価される。16 分割データを 8 分割データにすると、平均 4% 程

度の左室駆出分画低下が認められる⁴⁾。逆に R-R 分割数を増やした場合は、各分割データあたりの収集カウントが低下することとなるため、解析値の信頼性を保つためには収集時間の設定が重要となる。データ解析精度の保持のため、いたずらに R-R 分割数を増やすべきではないが、心電図同期データを用い拡張期指標の算出を試みる場合などには、16~32 分割の多分割収集が必要となる^{34~36)}。

収集マトリクスは原則 64×64 画素とする。128×128 画素では各画素のカウントが不足し、統計ノイズが大きくなるため成人では用いない。画素サイズが 6 mm 程度になるように必要に応じて拡大収集を行う。小児など心臓が小さい場合は、通常の画素サイズでは解析ソフトウェアにより左室容量が過小評価されるため、画素サイズがより小さくなるよう拡大倍率を大きくするとよい。このとき原則として体輪郭が視野からはずれないようにする必要がある。

被検者の心筋 SPECT 撮像体位は背臥位が一般的であるが、ごく少数の施設において右側臥位あるいは腹臥位での SPECT データ収集が試みられている。腹臥位心筋 SPECT 像は、背臥位のそれに比し、下壁の放射線減弱による影響が少なく、右冠動脈領域の特異度が上昇すると報告されている^{37,38)}。しかしながら、前壁中隔側の集積は背臥位像に比し低下する傾向が認められている³⁹⁾。背臥位と腹臥位による gated SPECT データ収集も比較されており、両データより算出された左室駆出分画、左室容量値はきわめて高い相関を示し、ほぼ同等であると報告されている⁴⁰⁾。

2) Gated SPECT を用いた負荷検査法

^{99m}Tc 製剤を用いた負荷心筋血流イメージングは、安静時および最大負荷時の 2 度に静注を行い、それぞれの心筋イメージを得る。この心筋 SPECT データ収集時に心電図同期法を併用すれば、安静時および負荷後の左室機能を得ることができる。重症虚血を有する虚血性心疾患症例においては、負荷後にも負荷に起因する左室機能障害が遷延する症例もあるため、gated SPECT よりい

わゆる post-ischemic stunning (post-stress stunning) を検出できる^{20,21)}。^{99m}Tc 製剤の肝胆道系からの洗い出しを考慮して、運動負荷心筋イメージングでは負荷後 15～30 分後からデータ収集を、またアデノシンやジピリダモールなどの薬剤負荷心筋イメージングでは負荷後 30～60 分後から gated SPECT データ収集を行う施設が多い^{41)～44)}。負荷後の左室機能低下が存在する症例には、高度で広範囲にわたる心筋虚血を認める症例が多く⁴⁵⁾、また負荷後の低左室駆出分画および左室容量の増大(とくに収縮末期容量の増大)と心事故発生率、予後との関連性も報告されている^{42,43)}。

運動負荷時における gated SPECT データ収集は体動によるモーションアーチファクトの影響を受けるため、解析値の精度を保つことが困難である。これに対し、ドプタミンなどの薬剤負荷時には、ある程度の精度を保った gated SPECT データを収集することが可能である^{46)～48)}。これにより、左室機能における薬剤反応性と心筋血流データを同時に得ることができる。高用量の薬剤負荷を使用する場合や複数ステップの負荷イメージを得ようとする場合には、被検者の安全性も考慮に入れ、短時間の gated SPECT データ収集^{49)～51)}が有利である。

[汲田 伸一郎]

5. データ解析法

1) Gated SPECT による定量法

現在、数種類の心機能解析プログラムが供給されているが、いずれも基本的には心筋内膜を自動的にトレースし、その情報を用いて左室内腔の容量を求める。以下に代表的な心機能解析ソフトの原理について要約する。左室駆出分画に関しては、ソフトウェア間での差異はそれほどないとされているが、左室容量に関してはアルゴリズムの差が計測値に影響を与える⁵²⁾。

Germano らの開発した QGS⁴⁾ では、心筋再構成データを用いて左室内腔の中心点を自動的に定め、その基準点から 3 次元的に放射線を引き、心筋のカウンプロフィールを得る。カウンプロ

フィール上の心筋中央面を基準に心筋カウントの厚さ方向の変化に対し、ガウス関数フィッティングを行い、決められた閾値(標準偏差の 65%)を基にして心内膜、外膜面を決定する。心時相ごとの心膜面は、上記アルゴリズムに心周期に伴う部分容積効果の変化を考慮し決定されている。

Nakata らの p-FAST⁶⁾ のアルゴリズムは、基本的に閾値処理理論に基づいている。再構成短軸画像の中心点から 2 次元的に引いたカウンプロフィール曲線上で、カットオフレベルを 50% にし、心外膜面を決定する。そして、内腔の中心から心筋中心および心外膜までの距離を用いて心内膜面の位置を決定する。

Garcia らの Emory Cardiac Toolbox⁵⁾ は、閾値処理により心臓を抽出した後、再構成短軸画像の中心点から 2 次元的に引いたカウンプロフィール曲線上での心筋の最高カウントの点を心筋中心点として定める。MRI などのデータを参考にし、拡張末期の心筋壁厚を 10 mm と固定して、各時相の心筋壁厚を部分容積効果に基づくカウントの変化から求めている。この各時相の壁厚と心筋中心点を用いて心内膜を決定している。

2) 心室全体および局所の機能評価

現在、臨床的に最も利用されている心機能パラメータは、拡張末期および収縮末期の左室容量と左室駆出分画である。いずれの解析ソフトにおいても左室造影、超音波、心プールイメージングあるいは MRI との比較により計測値の信頼性の確認がされている^{14,15,18,53)～55)}。局所機能指標としては、局所の駆出分画あるいは壁厚変化、壁運動(移動距離)などが挙げられる。これまで、主に視覚的評価により他のモダリティとの比較が行われているが^{15,56)}、QGS プログラムについては、局所機能の定量値についても高い再現性が確認されている^{57)～59)}。

3) 表示法

3 次元表示法

3 次元表示では、心内膜面と心外膜面の局所での位置関係を明瞭にするため、陰影付きサーフェス表示あるいはグリッド(ワイヤー)表示が用いら

れる．バージョンによっては心内膜面に局所血流分布(相対)を色付けし表示するものもある．3次元表示はシネモードを用いると時間の次元も加えることができる．また，観察したい方向を任意で設定することが可能であり，心エコー図や左室造影などの他のモダリティに合わせた局所壁運動の観察が可能である．

2 次元表示法

Gated SPECT のデータ解析からは，心筋血流，駆出分画，壁運動，壁厚などさまざまな指標が得られるが，局所ごとの解析結果を表示するために polar map がよく利用される．極座標の表示法は非ゲートの polar map (bull's-eye) map と同様である．

血流マップ：QGS の場合，平均加算画像(非ゲート像)，拡張末期画像および収縮末期画像における血流マップが表示可能であるが，これはソフトウェアのバージョンに依存する．また心筋 20 領域における局所平均 % uptake もマップに重ねて表示可能である．p-FAST では 25 領域で表示され，任意の閾値設定により自動スコア化が可能となっている．

壁運動マップ：既知である画素サイズを参考にし，心内膜面の拡張末期から収縮末期への移動距離を局所ごとに算出し，座標上に表示したものである．QGS では 0 から 10 mm で表示され，移動距離がマイナス (dyskinesia) の場合は 0 mm，10 mm を超える場合も最大 10 mm と表示される．これまでの報告から，正常データにおいて心筋局所ごとの壁運動にばらつきがあることが知られており，数値の取扱には注意を要する⁶⁰⁾．

壁厚マップ：拡張末期から収縮末期にかけての心筋壁厚変化は壁運動評価の重要なパラメータである．QGS では，心筋壁厚の幾何学的な変化率と部分容積効果に基づく局所カウントの変化率を加味した方法により求められている．拡張末期壁厚の 2 倍の壁厚を 100% と定め，収縮末期での実際の壁厚をこのパーセンテージに当てはめて数値化している．p-FAST では，閾値法により求めた心外膜面と心筋中心の距離を用いている．前述の

局所壁運動が正常データにおいても心筋局所ごとのばらつきがあるのに対し，壁厚変化は局所ごとのばらつきが少ない．ただし心尖部は部分容積効果が大きく現れる部位であり，注意を要する．

[福地 一樹]

6. 品質管理 (quality control) と誤差要因

SPECT データの信頼性に影響するパラメータはそれぞれの項で扱われているが，gated SPECT のデータ収集と処理の過程で問題になりやすい主要な要素を以下にあげる．

1) SPECT データ収集時の管理

不整脈の混入あるいは収集中の心拍数の変動：心電図ゲート収集では収集中の心拍数すなわち RR 間隔が一定であることが望ましく，この変動は生理的なものであれ，不整脈であれ，最後部のフレームのカウント低下として現れる．現在補正がなされていない場合が多いので，収集時の R-R ヒストグラムを参照し，その変動と除外された心拍数に注意する^{32,33)}．

収集時間：短時間収集の限度に明確な基準はないが，収集時間が短いほど統計ノイズは強くなり，視覚評価にも，定量評価にも影響を与える^{49~51)}．適切な収集時間は放射性医薬品の投与量，R-R 分割数，投影像の画素数，患者の体格にも依存する．

患者の体動：収集中に患者の身体が動かないように，注意を払う．体動によるアーチファクトは冠動脈に一致しない欠損や不均一分布として現れ，その程度は体動の種類やシンチカメラのタイプによっても影響を受ける^{61,62)}．自動補正ソフトウェアを備えたコンピュータもあるが，複雑な補正は困難であり，まず収集中の体動を避ける方法を考える．

トランケーション：SPECT の再構成は患者の身体全体をカメラの視野に入れるのが原則であり，視野からはずれると不完全再構成になるため，truncation artifact を生じる．

カメラの品質管理：シンチカメラの基本的な管理として，視野均一性，画像歪，回転中心などの

日常的管理を行う⁶³⁾。

2) SPECT 再構成および gated SPECT 処理時の誤差要因

肝あるいは胆嚢の高集積の影響：肝の集積が高く相対的に心臓集積が低い場合の心筋下壁の低下所見や、胆嚢の高集積によるフィルター逆投影時のアーチファクトが問題になる場合がある。この場合、肝実質からの排泄後に時間を遅らせるか、また胆嚢集積については食事により胆嚢から排泄させ再検する⁶⁴⁾。

散乱および減弱：肝が下壁に近接する場合には散乱線の影響を受け、右横隔膜挙上すなわち肝の挙上がある場合には減弱により低下が生じる。

大欠損を伴う心筋：欠損を有する心筋でも輪郭抽出は可能であるが、完全欠損の範囲が広い場合は誤差が大きくなるのでその妥当性に注意を払う¹⁵⁾。

小さい心臓：一般に現行の gated SPECT ソフトウェアでは、内腔が小さい心臓で容積の過小評価が起こり、結果として駆出分画が高値になることが多い⁶⁵⁾。

[中嶋 憲一]

文 献

- 1) Germano G, Berman DS (Eds): *Clinical Gated Cardiac SPECT*. Futura Publishing, New York, 1999.
- 2) 西村恒彦, Guido Germano 編著. 心電図同期 SPECT の理論と実際. 南江堂, 東京, 2001.
- 3) 中田智明, 中嶋憲一編著. 心電図同期心筋 SPECT 法. メジカルセンス, 東京, 2000.
- 4) 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.
- 5) Faber TL, Cooke CD, Folks RD, et al: Left ventricular function and perfusion from gated SPECT perfusion images: an integrated method. *J Nucl Med* 1999; 40: 650–659.
- 6) Nakata T, Katagiri Y, Odawara Y, et al: Two- and three-dimensional assessments of myocardial perfusion and function by using technetium-99m sestamibi gated SPECT with a combination of count- and image-based techniques. *J Nucl Cardiol* 2000; 7: 623–632.
- 7) American Society of Nuclear Cardiology: Imaging guidelines for nuclear cardiology procedures. Instrumentation quality assurance and performance. *J Nucl Cardiol* 1996; 3: G5–10.
- 8) Taillefer R, Gagnon A, Laflamme L, et al: Same day injections of Tc-99m methoxy isobutyl (hexamibi) for myocardial tomographic imaging: comparison between rest-stress and stress-rest injection sequences. *Eur J Nucl Med* 1989; 15: 113–117.
- 9) Vallejo E, Dione DP, Bruni WL, et al: Reproducibility and accuracy of gated SPECT for determination of left ventricular volumes and ejection fraction: experimental validation using MRI. *J Nucl Med* 2000; 41: 874–982.
- 10) Weich HF, Strauss HW, Pitt B: The extraction of thallium-201 by the myocardium. *Circulation* 1977; 56: 188–191.
- 11) Glover DK, Ruiz M, Edwards NC, et al: Comparison between ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc sestamibi uptake during adenosine-induced vasodilatation as a function of coronary stenosis severity. *Circulation* 1995; 91: 813–820.
- 12) Maunoury C, Chen CC, Chua KB, et al: Quantification of left ventricular function with thallium-201 and technetium-99m-sestamibi myocardial gated SPECT. *J Nucl Med* 1997; 38: 958–961.
- 13) He Z, Cwajg E, Preslar JS, et al: Accuracy of left ventricular ejection fraction determined by gated myocardial perfusion SPECT with Tl-201 and Tc-99m sestamibi: comparison with first-pass radionuclide angiography. *J Nucl Cardiol* 1999; 6: 412–417.
- 14) Manrique A, Faraggi M, Vera P, et al: ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med* 1999; 40: 805–809.
- 15) Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, et al: Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT: comparison with three-dimensional magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33: 991–997.
- 16) Vera P, Manrique A, Pontvianne V, et al: Thallium-gated SPECT in patients with major myocardial infarction: effect of filtering and zooming in comparison with equilibrium radionuclide imaging and left ventriculography. *J Nucl Med* 1999; 40: 513–521.
- 17) DePuey EG, Parmett S, Ghesani M, et al: Comparison of Tc-99m sestamibi and Tl-201 gated perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1999; 6: 278–285.
- 18) Cwajg E, Cwajg J, He Z, et al: Gated myocardial perfusion tomography for the assessment of left ventricular function and volumes: comparison with

- echocardiography. *J Nucl Med* 1999; 40: 1857–1865.
- 19) Vera P, Koning R, Cribier A, et al: Comparison of two three-dimensional gated SPECT methods with thallium in patients with large myocardial infarction. *J Nucl Cardiol* 2000; 7: 312–319.
 - 20) Johnson LL, Verdesca SA, Aude WY, et al: Postischemic stunning can affect left ventricular ejection fraction and regional wall motion on post-stress gated sestamibi tomograms. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1641–1648.
 - 21) Hashimoto J, Kubo A, Iwasaki S, et al: Gated single-photon emission tomography imaging protocol to evaluate myocardial stunning after exercise. *Eur J Nucl Med* 1999; 26: 1541–1546.
 - 22) Berman DS, Kiat H, Friedman JD, et al: Separate acquisition rest thallium-201/stress technetium-99m sestamibi dual-isotope myocardial perfusion single-photon emission computed tomography: a clinical validation study. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 1455–1464.
 - 23) 汲田伸一郎, 水村 直, 木島鉄仁, 他: 心拍同期法併用による ^{99m}Tc -MIBI, ^{123}I -BMIPP 2 核種同時心筋 SPECT データ収集 虚血性心疾患における臨床的有用性の検討 . 核医学 1995; 32: 547–555.
 - 24) Inubushi M, Tadamura E, Kudoh T, et al: Simultaneous assessment of myocardial free fatty acid utilization and left ventricular function using ^{123}I -BMIPP-gated SPECT. *J Nucl Med* 1999; 40: 1840–1847.
 - 25) 松平正道: 内部被曝線量 . 利波紀久, 久保敦司編, 最新臨床核医学, 第 3 版 . 金原出版, 東京, 1999: 677–697.
 - 26) 久保敦司, 中村佳代子, 三宮敏和, 他: ^{99m}Tc -MIBI の第 1 相臨床試験 . 核医学 1991; 28: 1133–1142.
 - 27) 久保敦司, 中村佳代子, 橋本 順, 他: 新しい心筋イメージング剤 ^{99m}Tc -PPN1011 の第 1 相臨床試験 . 核医学 1992; 29: 1165–1176.
 - 28) 鳥塚莞爾, 米倉義晴, 西村恒彦, 他: 心筋脂肪酸代謝イメージング剤 β -メチル-p-(^{123}I)-ヨードフェニルペンタデカン酸の第 1 相臨床試験 . 核医学 1991; 28: 681–690.
 - 29) Germano G, Kavanagh PB, Berman DS, et al: Effect of the number of projections collected on quantitative perfusion and left ventricular ejection fraction measurements from gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomographic images. *J Nucl Cardiol* 1996; 3: 395–402.
 - 30) Groch MW, Takamiya Y, Groch PJ, et al: Quantitative gated myocardial SPECT: effect of collimation on left-ventricular ejection fraction. *J Nucl Med Technol* 2000; 28: 36–40.
 - 31) Germano G, Erel J, Kiat H, et al: Quantitative LVEF and quantitative regional function from gated thallium-201 perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1997; 38: 749–754.
 - 32) Nichols K, Yao S, Kamran M, et al: Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 19–30.
 - 33) Nichols K, Dorbala S, DePuey G, et al: Influence of arrhythmias on gated SPECT myocardial perfusion and function quantification. *J Nucl Med* 1999; 40: 924–934.
 - 34) Nakajima K, Taki J, Kawano M, et al: Diastolic dysfunction in patients with systemic sclerosis detected by gated myocardial perfusion SPECT: an early sign of cardiac involvement. *J Nucl Med* 2000; 42: 183–188.
 - 35) Kikkawa M, Nakamura T, Sakamoto K, et al: Assessment of left ventricular diastolic function from electrocardiographic-gated ^{99m}Tc -tetrafosmin myocardial SPET. *Eur J Nucl Med* 2001; 28: 593–601.
 - 36) Kumita S, Cho K, Nakajo H, et al: Assessment of left ventricular diastolic function with electrocardiography-gated myocardial perfusion SPECT: comparison with multigated equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 568–574.
 - 37) Esquerre JP, Coca FJ, Martinez SJ, et al: Prone decubitus: a solution to inferior wall attenuation in thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* 1989; 30: 398–401.
 - 38) Segall GM, Davis MJ: Prone versus supine thallium myocardial SPECT: a method to decrease artifactual inferior defects. *J Nucl Med* 1989; 30: 548–555.
 - 39) Kiat H, Van Train K, Friedman JD, et al: Quantitative stress-redistribution thallium-201 SPECT using prone imaging: methodologic development and validation. *J Nucl Med* 1992; 33: 1509–1515.
 - 40) Berman D, Germano G, Lewin H, et al: Comparison of post-stress ejection fraction and relative left ventricular volumes by automatic analysis of gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography acquired in the supine and prone positions. *J Nucl Cardiol* 1998; 5: 40–47.
 - 41) Borges-Neto S, Javaid A, Shaw LK, et al: Poststress measurements of left ventricular function with gated perfusion SPECT: a comparison with resting measurements by using a same-day perfusion-function protocol. *Radiology* 2000; 215: 529–533.
 - 42) Sharir T, Germano G, Kavanagh PB, et al: Incremental prognostic value of post-stress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 1999; 100: 1035–1042.

- 43) Sharir T, Germano G, Kang X, et al: Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the poststress ejection fraction. *J Nucl Med* 2001; 42: 831–837.
- 44) Bavelaar-Croon CDL, America YGJ, Atsma DE, et al: Comparison of left ventricular function at rest and post-stress in patients with myocardial infarction: evaluation with gated SPECT. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 10–18.
- 45) Paul AK, Hasegawa S, Yoshioka J, et al: Exercise-induced stunning continues for at least one hour: evaluation with quantitative gated single-photon emission tomography. *Eur J Nucl Med* 1999; 26: 410–415.
- 46) Everaert H, Vanhove C, Franken PR: Low-dose dobutamine-gated single-photon emission tomography: Comparison with stress echocardiography. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 413–418.
- 47) Kumita S, Cho K, Nakajo H, et al: Serial assessment of left ventricular function during dobutamine stress by means of electrocardiography-gated myocardial SPECT: combination with dual-isotope myocardial perfusion SPECT for detection of ischemic heart disease. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 152–157.
- 48) Leoncini M, Marcucci G, Sciagra R, et al: Prediction of functional recovery in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction combining the evaluation of myocardial perfusion and of contractile reserve using nitrate-enhanced technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography and dobutamine stress. *Am J Cardiol* 2001; 87: 1346–1350.
- 49) Mazzanti M, Germano G, Kiat H, et al: Fast technetium 99m-labeled sestamibi gated single-photon emission computed tomography for evaluation of myocardial function. *J Nucl Cardiol* 1996; 3: 143–149.
- 50) Kumita S, Kumazaki T, Cho K, et al: Rapid data acquisition protocol in ECG-gated myocardial perfusion SPECT with Tc-99m-tetrofosmin. *Ann Nucl Med* 1998; 12: 71–75.
- 51) Everaert H, Vanhove C, Franken PR, et al: Gated SPECT myocardial perfusion acquisition within 5 minutes using focusing collimators and a three-head gamma camera. *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 587–593.
- 52) Nakajima K, Higuchi T, Taki J, et al: Accuracy of ventricular volume and ejection fraction measured by gated myocardial SPECT: comparison of 4 software programs. *J Nucl Med* 2001; 42: 1571–1578.
- 53) Yoshioka J, Hasegawa S, Yamaguchi H, et al: Left ventricular volumes and ejection fraction calculated from quantitative electrographic-gated ^{99m}Tc-tetrofosmin myocardial SPECT. *J Nucl Med* 1995; 36: 2138–2147.
- 54) Nichols K, Lefkowitz D, Faber T, et al: Echocardiographic validation of gated SPECT ventricular function measurements. *J Nucl Med* 2000; 41: 1308–1314.
- 55) Bavelaar-Croon CDL, Kayser HWM, van der Wall EE, et al: Left ventricular function: correlation of quantitative gated SPECT and MR imaging over a wide range of values. *Radiology* 2000; 217: 572–575.
- 56) Bacher-Stier C, Muller S, Pachinger O, et al: Thallium-201 gated single-photon emission tomography for the assessment of left ventricular ejection fraction and regional wall motion abnormalities in comparison with two-dimensional echocardiography. *Eur J Nucl Med* 1999; 26: 1533–1540.
- 57) Germano G, Erel J, Lewin H, et al: Automatic quantification of regional myocardial wall motion and thickening from gated technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1360–1367.
- 58) Konno M, Morita K, Adachi I, et al: Quantitative analysis of regional wall motion and thickening by quantitative gated SPECT: comparison with visual analysis. *Clin Nucl Med* 2001; 36: 202–207.
- 59) Paeng JC, Lee DS, Cheon GJ, et al: Reproducibility of an automatic quantitation of regional myocardial wall motion and systolic thickening on gated ^{99m}Tc-sestamibi myocardial SPECT. *J Nucl Med* 2001; 42: 695–700.
- 60) Adachi I, Morita K, Imran MB, et al: Heterogeneity of myocardial wall motion and thickening in the left ventricle evaluated with quantitative gated SPECT. *J Nucl Cardiol* 2000; 7: 296–300.
- 61) Botvinick EH, Zhu YY, O'Connell WJ, et al: Quantitative assessment of patient motion and its effect on myocardial perfusion SPECT images. *J Nucl Med* 1993; 34: 303–310.
- 62) Nakajima K, Taki J, Michigishi T, et al: Superiority of triple-detector SPET over single and dual-detector systems in the minimization of motion artifacts. *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 1545–1551.
- 63) English RJ: SPECT-single photon emission computed tomography: A primer. Society of Nuclear Medicine, USA, 1995: 134–135, 195.
- 64) Nuyt J, DuPont P, Van den Maegdenbergh V, et al: A study of liver-heart artifact in emission tomography. *J Nucl Med* 1995; 36: 133–139.
- 65) Nakajima K, Taki J, Higuchi T, et al: Gated SPET quantification of small hearts: Mathematical simulation and clinical application. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 1372–1379.

II. 臨床編

1. 診断

1) 急性冠症候群

急性冠症候群は、冠動脈硬化病変に血栓が形成され、血流が高度に障害されて不安定狭心症や急性心筋梗塞や突然死を起こす危険な状態である。このため、急性冠症候群の的確な診断は、治療選択のためにもきわめて重要である。ST 上昇のない急性冠症候群の診断と治療の指針は AHA/ACC ガイドライン¹⁾に包括的に示される。心臓核医学検査も、総合的な診断指針の一環に位置づけられるので、まずこのガイドラインを概説する。

第一に胸痛が冠動脈疾患由来か否か、他疾患の除外や症状の典型性や冠危険因子より診断する。次いで、胸痛の性状と持続、身体所見、安静心電図、心臓トロポニンから初期リスクを階層化(高・中・低)する¹⁾。初期診断で重要なのは胸痛時心電図である。胸痛時心電図を捉らえていなければ 4~8 時間待つ。それでも心筋虚血の客観的な所見がなければ、次のステップに移る。高リスク以外は、すぐ冠動脈造影を行う必要はない。軽労作の生活で中リスクなら 2, 3 日間、低リスクなら半~1 日間、胸痛や心不全を観察した後、トレッドミル運動負荷心電図を行う。運動が不向きな例や、心電図判定が不向きな例には負荷心筋血流イメージングを行う。わが国では運動または薬物負荷心筋血流イメージングが主流である。

胸痛が心筋虚血由来か否かの初期診断において、わが国では ¹²³I-BMIPP や ¹²³I-MIBG を用いた心筋イメージングが使用できる^{2,3)}。また、胸痛を訴える患者に緊急に心筋血流イメージングを行い、血流低下があれば CCU 収容、なければ外来観察として予後は悪くないとする結果がある⁴⁾。この方法に gated SPECT の局所壁運動評価を加えると診断能が向上する。Braunwald 分類のクラス 3 (重症) とクラス 2, 1 (中軽症) の分離に、血流低下領域の広さは有用であるが、局所壁運動低下はより明瞭に分離した⁵⁾。胸痛患者が急性心筋梗塞か否かの診断に、gated SPECT の血流低下と壁

運動異常の合併を陽性基準とし心臓トロポニン I と比較すると、診断感度は同等であったが (gated SPECT 92% vs. トロポニン 90%)、血管再建術を要する患者 (81% vs. 26%) や有意冠狭窄を有する患者 (75% vs. 26%) の診断感度は gated SPECT が優った⁶⁾。

急性心筋梗塞後の予後規定因子として、心筋虚血と左室機能が重要である。発症 4~10 日後に行った gated SPECT で高度血流低下を示した領域のうち、収縮期壁厚増加を保った領域の 86% が 6 ヶ月後に血流が改善したが、壁厚増加の見られなかった領域は血流改善を示さなかった。また発症 4~10 日後に壁厚増加を保った症例は 6 ヶ月後の左室駆出率の改善度が良好であった⁷⁾。このように gated SPECT は急性心筋梗塞後の心筋血流と心機能の経過を観察する上で有利な手段である。

[山辺 裕]

2) 慢性冠動脈疾患

冠動脈疾患の診断と重症度評価

慢性冠動脈疾患の診断において、心筋血流イメージングは高い診断率をもち有用な方法である。トレーサの集積低下・欠損部位およびその程度により病態を評価するが、男性では横隔膜、女性では乳房による減衰により下壁、前壁の心筋カウントが低下するため真の心筋虚血との鑑別に苦慮することがある。さらに肝集積・胆汁排泄という ^{99m}Tc 製剤の特性から、肝臓・腸管への集積が心筋と近接する症例でも、特に左室下壁において虚血との鑑別が困難なことがある。このような場合、gated SPECT を行うと心筋収縮による壁厚増加に伴い、拡張末期から収縮末期にかけて局所心筋カウントも増加することから、減衰に伴うアーチファクトと虚血心筋との鑑別が可能である⁸⁾。

重症多枝病変症例では運動・薬物負荷心筋血流イメージングで局所的なトレーサの集積低下や欠損を示さず、心内膜下虚血による一過性左室内腔拡大所見 (transient ischemic dilatation; TID) を呈することがある。Gated SPECT により負荷時 / 安静時における拡張末期容量を対比することで、重症

度を定量評価することが可能である⁹⁾。また、運動負荷後の gated SPECT により post-ischemic stunning を左室駆出分画、局所壁運動の低下から判定することもできる^{10,11)}。

冠動脈血行再建術の適応

血行再建術の適応を決定する上で、冠動脈造影検査では PTCA・バイパス術を行う際、血管の走行・内径など再建可能な状態であるかどうかを判定するのに対し、核医学検査では再建術の対象となる心筋が生存性を有するかを評価するのに用いられる。

²⁰¹Tl 再静注法は心筋生存性を最も正確に評価し得る方法であるが、²⁰¹Tl 再静注法による gated SPECT と ^{99m}Tc 製剤による gated SPECT を各々 MRI と対比したところ、双方とも同様に良好な左室機能を算出し得たことより、コスト・被曝量の面から ^{99m}Tc 製剤による gated SPECT の有用性が示されている¹²⁾。

冠動脈血行再建術の効果判定

気絶心筋の回復過程、開心術直後の中隔壁運動低下、PTCA 後の再狭窄が術後 2~3 ヶ月後に多いことを考慮すると^{13~15)}、治療効果判定は術後 3 ヶ月位に行うのが望ましい。Gated SPECT による心筋血流と左室局所壁運動所見から気絶心筋、冬眠心筋、リモデリング、梗塞心筋の判別が可能であるとされている¹⁶⁾。また、血行再建術が成功しなかった場合、リモデリングによる左室容量の増大・左室駆出分画の低下を評価可能であるが、SPECT 上欠損部分が広範囲であると輪郭抽出が不正確であったり、瘤形成を伴う症例の場合左室容量が過小評価されることがあるため、その場合解釈には注意を要する。

[中村 智樹]

3) 心不全

心不全における gated SPECT の役割は、心筋血流情報に基づく心不全の病因検索および心機能情報よりその病態ならびに各種治療の効果判定である。心筋血流イメージングと心プールイメージング、心エコー図などを別々に施行し、これらの情

報を得ることも可能であるが、gated SPECT では同時に得ることができ、コストも軽減される。

心筋血流情報からはとくに虚血性心疾患の診断が可能である。さらに負荷心筋イメージングを加えることにより、心筋虚血の存在やその広がりを評価することが可能である。

心機能情報は QGS 等解析ソフトウェアを用いることにより左室駆出分画、左室拡張末期容量や左室収縮末期容量を得ることができる。低心機能症例も含め QGS による gated SPECT からの左室駆出分画は、心プールイメージング、左室造影や MRI などとほぼ同程度の信頼性を有している^{17~22)}。欧米における心不全の大規模臨床試験では心機能評価として心プールイメージングが用いられている^{23~25)}、今後は簡便性と情報量から gated SPECT に変わるものと期待される。しかし広範な欠損が存在する心筋梗塞例などでは左室容量を過小評価するなど、左室容量を算出する上で問題点があり^{22,26,27)}、各種ソフトウェアの限界性を認識して用いることが重要である。

また gated SPECT からは心筋血流情報とともに局所壁運動も得られ、心筋の生存性評価に有用であるとの報告もある^{28,29)}。しかし、QGS におけるその壁厚や壁運動の絶対値表示は局所別、性別により異なるとの報告もある³⁰⁾。

左室駆出分画や左室収縮末期容量は虚血性心疾患において予後と相関するとされ^{31,32)}、予後評価に重要である。また最近、負荷後の左室駆出分画および左室収縮末期容量も予後と相関するとの報告もあり^{33,34)}、今後心不全の予後を推定する上でも gated SPECT の役割は大きい。

[伴 和信]

4) 非冠動脈疾患

肥大型心筋症

本疾患における肥大様式は非対称であることが典型的であるが、こうした形態が高度なほど肥大部分における心筋輪郭抽出が不正確となり、壁厚が過小評価される。これは QGS プログラムの場合、左室輪郭抽出が左室形態と心筋辺縁を予測し

た自動アルゴリズムにより行われるためである。同様に、左室流出路狭窄や左室内腔閉塞をきたす症例においても左室内腔の特徴を忠実に構築することが困難となる。このようにして得られた左室駆出分画は過小評価されることが多く、左室機能を解釈する上で注意を要する。

一方、高血圧性肥大心においては、肥大様式は求心性が多く心筋輪郭抽出は良好であるが、一定以上の肥大を呈すると壁厚は過小評価され左室容量は過大評価される。

拡張型心筋症

本疾患は左室拡大、壁の菲薄化・線維化を特徴とするが、一般に SPECT 上トレーサの集積低下部位は限局しており欠損部分も少ないため、心筋輪郭抽出は良好であり、びまん性左室壁運動低下も的確に検出し得る。また薬物治療に対する左室容量および壁運動の経時的観察・効果判定も gated SPECT で評価可能である。

虚血性心筋症との鑑別

狭心症状や心電図上異常 Q 波を認めず冠動脈所見が得られない場合、左室のびまん性壁運動低下を示す症例を診断する上で、虚血性心筋症と非虚血性(拡張型)心筋症との鑑別に難渋することがある。一般に運動負荷心筋 SPECT 所見では虚血性心筋症において集積低下の程度・範囲がより大きく、再分布する割合も高いとされる。さらに gated SPECT により壁運動を評価したところ、虚血性心筋症で非虚血性心筋症に比し非共調運動の頻度が高く、多変量解析により局所壁運動の変動幅が虚血性心筋症と非虚血性心筋症を鑑別しうる唯一の指標であった。このことから gated SPECT 併用の高い有用性が示されている³⁵⁾。

[中村 智樹]

2. 病態生理・治療効果の評価

1) 虚血心筋の評価

冬眠心筋 (Hibernating myocardium)

冬眠心筋は、高度の冠狭窄のために血流低下に陥った心筋が収縮力を失って生存している状態である³⁶⁾。心筋梗塞を伴わない無収縮心筋の場合は

容易に冬眠心筋と診断できるが、梗塞領域に存在する冬眠心筋を線維化心筋と鑑別することは心筋血流イメージングのみでは容易でない。Gated SPECT を用いると、診断の感度を落とすことなく特異性を改善できる (83% vs. 55%)³⁷⁾。冬眠心筋は血流回復により機能が改善するので、再灌流療法により適応である。冠動脈バイパス術後に gated SPECT で検討した報告では、改善は血流よりむしろ局所駆出分画と局所壁厚増加率で顕著であった³⁸⁾。また左室容量から算出する一過性内腔拡大 (TID) も評価に有用であった。冬眠心筋の診断において、心エコー図を用いた低容量ドプタミン負荷時の壁運動の可逆性は診断感度が高い³⁹⁾。同じ方法を gated SPECT に適用できる。ドプタミン負荷 gated SPECT の生存心筋診断の感度と特異性は負荷心エコー図法と同等であり、心筋血流イメージ単独に比し診断特異性が改善した²⁹⁾。一方、ドプタミン負荷 gated SPECT は冬眠心筋の診断感度を改善するとの報告もある¹⁶⁾。低容量ドプタミン負荷で可逆的壁運動異常を判定し、高容量負荷で虚血を判定する方法もある³⁷⁾。

気絶心筋 (Stunned myocardium)

気絶心筋は、強い虚血のあと血流が回復しても収縮力低下が続く状態をいう⁴⁰⁾。労作性狭心症で心筋虚血の後に一過性の局所的収縮力の低下が見られる¹⁰⁾。この現象は、左室機能を gated SPECT の負荷後像で測定した場合、過小評価が起こりうることを意味する⁴¹⁾。一方、気絶心筋は強い心筋虚血の後に生じるので、負荷 安静 gated SPECT で一過性心機能障害がみられることは重症冠病変を示す徴候となる^{42,43)}。急性心筋梗塞後の予後規定因子として、残存する心筋虚血と共に gated SPECT で評価された左室機能が重要である⁴⁴⁾。急性心筋梗塞において再灌流療法が行われた後、しばしば気絶心筋が残存する。そこで gated SPECT により再灌流療法後の梗塞心筋の回復過程を追うことで、左室機能の可逆性を残す症例の心機能を正しく評価することができる⁷⁾。

[山辺 裕]

2) 心筋生存性 (パイアピリティ) の評価

心筋生存性の評価は、慢性冠動脈疾患の治療戦略を決定する上で重要である。ことに、心筋梗塞の既往がある場合、梗塞後リモデリング心、虚血性心筋症、虚血性心不全において大きな問題となる。従来から、この点で心臓核医学的手法は高く評価されてきた⁴⁵⁾。心筋血流障害に比し不均等に、高度に低下した壁運動や左室駆出分画を有している心筋は、気絶心筋、冬眠心筋あるいは虚血性心筋症と考えられる。この場合、安静時心筋血流も高度に低下していることが多く、²⁰¹Tl 安静時再分布像が優れた心筋生存性評価法と考えられてきた^{46,47)}。これに、^{99m}Tc 製剤による画像が匹敵するか否か議論はあるが、高度な心筋血流低下領域では、その心筋抽出率が上昇するため、十分評価できる^{48,49)}。これに心電図同期法を応用すると、局所心筋血流と収縮能、両者の視点から心筋生存性を評価できるため、さらに診断精度が向上する可能性が高い^{50~52)}。

負荷誘発性の可逆的血流障害や心機能低下は心筋生存性の良い指標である。負荷 gated SPECT によって、可逆的心筋虚血に伴って生じた、一過性の壁運動障害、左室機能低下が検出でき¹⁰⁾、虚血心では安静時の左室駆出分画に比し負荷後のそれが低いこと^{11,43,53,54)}、が示されている。一方、梗塞領域の壁運動評価から心筋生存性を評価できる可能性もある⁵⁵⁾。本法による生存性の評価は、冠血管再建術前後、MRI との比較、ドプタミン負荷法などで示されている^{16,28,56~59)}。このように、心筋血流に加え、心機能からみた可逆性の評価に本法は有用である。また、心筋血流が維持され、非可逆的収縮不全を示す心筋は、非虚血性心筋症もしくは残存虚血のない梗塞後リモデリング心であり、このような鑑別診断としても本法は重要である⁶⁰⁾。

FDG (¹⁸F-fluorodeoxyglucose) を用いた PET イメージングによる血流 - 糖代謝の乖離は、壁運動改善 (心筋生存性) の優れた指標である。FDG 画像との比較では、ドプタミン負荷心電図同期法による壁運動評価の感度は低い (30~50%) ため、心

筋のトレーサ集積度をあわせ評価することが必要と思われる^{49,50,59,61)}。急性心筋梗塞例において、本法の壁運動評価は心エコー図や左室造影法と一致し、機能改善と心筋血流改善は関連する^{62,63)}。不安定狭心症でも安静時 gated SPECT の心筋血流、局所機能情報はその重症度や血管造影所見を反映する⁵⁾。このように、心筋生存性に関して血流と壁運動から評価できる gated SPECT は優れた手法になる可能性があるが、FDG イメージングとの優劣は明らかではない。

[中田 智明]

3. リスク・予後評価

循環器疾患では、診断に加え、重症度評価、生命予後・心事故予測 (リスクの層別) が重要である。予後に影響する治療法の選択では、その目的、選択された根拠、疾患リスクを明確にし、その効果を客観的に判定し、そして予後に及ぼす影響を予測する必要がある。これまで、心機能と心筋血流はそれぞれ独立した予後規定因子とされてきた。その両者を同時に評価できる本法は、この分野においても大きく貢献する可能性がある⁶⁴⁾。

負荷心筋血流 SPECT 上の可逆的心筋虚血量、梗塞量、負荷後の一過性左室内腔拡大や ²⁰¹Tl 肺野集積増加所見は確立した予後規定因子である^{45,65)}。左室機能は冠動脈疾患症例や心不全患者における予後・リスク評価上重要である。急性心筋梗塞後の安静時左室駆出分画はとくに重要で、左室駆出分画 40% 以下で生命予後は大きく低下する⁶⁶⁾。従来左室機能指標 (左室駆出分画、左室拡張末期容量、左室収縮末期容量、一回拍出量・心係数)⁶⁷⁾ はいずれも gated SPECT で評価できる。一方、心筋梗塞量 (安静時灌流欠損) は心機能と密接に関連し⁶⁸⁾、生命予後を規定し、一定以上大きな梗塞は予後を悪化させる^{69,70)}。また、負荷心筋 SPECT 上の可逆的心筋虚血の存在とその量は、心筋虚血発作 (不安定狭心症、心筋梗塞、心不全、心臓死) の発症率と相関する、独立した予後規定因子である^{71~76)}。冠動脈造影所見が重症度を意味するのは、広範な虚血心筋、リスク心

筋を反映するからである．このため，虚血心筋の部位，範囲，程度を正確に評価できる負荷心筋血流 SPECT 法は，造影所見なしでも高い予後診断精度を有する⁷¹⁾．したがって，心機能と心筋血流を同時に評価できる gated SPECT は，さらに精度高く，予後・リスクを評価できる．慢性冠動脈疾患例では負荷 gated SPECT により，負荷後左室駆出分画 < 45% と左室収縮末期容量 > 70 ml が臨床指標や心筋血流情報に対して相加的な予後予測因子になること³³⁾，負荷後左室駆出分画が心臓死の，可逆的心筋虚血量が心筋梗塞の予測因子になることが示されている³⁴⁾．急性心筋梗塞例では，血栓溶解療法施行例や非 Q 波梗塞では，そのリスク評価上侵襲的検査は必要ではなく，むしろ非侵襲的に負荷心筋血流イメージングを中心とした評価を行い，治療戦略を決定することの優位性が示された⁷⁷⁻⁸⁰⁾．さらに，血流障害と心機能評価の組み合わせで，予後の診断精度が相加的に向上する^{80,81)}．最近，この手法が急性心筋梗塞例における心不全，虚血発作などの心事故予測上有用であることが報告された^{44,82)}．一方，心筋梗塞 発症後早期の患者において，負荷心筋血流イメージング上可逆的欠損がない場合，予後は良好(心事故発症率 < 1%/年)であることも知られている⁸³⁻⁸⁵⁾．このように，負荷心筋血流 SPECT による，固定性あるいは可逆性の血流障害の評価に加え，gated SPECT による心機能評価を同時に施行することにより，心事故リスク(予後良好群あるいは不良群)のより精度の高い層別化が可能と考えられる．

[中田 智明]

4. 費用対効果

費用対効果とは，医療行為もしくは検査を，得られた結果とそれに要した費用の両面から評価することで，その評価方法が費用対効果解析である．ここでの費用は直接費用(薬剤費，検査費，人件費，資本費用)と間接費用(疾患やその治療のために家族や患者の労働等の制限や死亡による生産損失)に大別される．一方，医療サービスに

よってもたらされる健康改善を評価するものとして，生命の質と量との側面を考慮した Quality-adjusted life years (QALYs) などが用いられる．この効果推定のために医学関係では，事象確立と決定の経時的な連なりを示す判断樹モデルが多く利用されている^{86,87)}．

虚血性心疾患において負荷心筋血流イメージングは，負荷心エコー図とともに費用対効果が高く⁸⁸⁻⁹⁰⁾，わが国のシミュレーションによる研究では，負荷 ²⁰¹Tl SPECT 施行群は直接心臓カテテル検査(CAG)を行う群と比較して年間 583 件の CAG を減少させ，13.8 万円の費用が削減できると報告されている⁹¹⁾．現在までに gated SPECT による費用対効果を検討した報告は国内外にないが，判断樹モデルに従えば特異度や感度がよくなれば QALYs は必然的に改善する．Gated SPECT の特異度や感度に関し議論があるが^{92,93)}，拡張期像とともに収縮期像を加えることで特異度を変えずに感度を向上させることができるという報告もある⁹⁴⁾．また最近，gated SPECT から得られる左室容量や左室駆出分画による予後の層別化や³³⁾，欠損の広がりから虚血の層別化が可能であるという報告があり⁹⁵⁾，これらのことが間接費用を減少させ，費用対効果をさらに改善する．しかしこの判断樹モデルでは，繰り返し起こる再発イベントを表すには最適ではない．このことに注意して判断樹モデルを解析すべきである．

[伴 和信]

文 献

- 1) Braunwald E, Antman EM, Beasley JW, et al: ACC/AHA guidelines for the management of patients with unstable angina and non-ST segment elevation myocardial infarction: Executive summary and recommendations. *Circulation* 2000; 102: 1193-1209.
- 2) Nishimura S, Ohta Y: BMIPP in angina pectoris. *Int J Card Imaging* 1999; 15: 35-39.
- 3) Tsutsui H, Ando S, Fukai T, et al: Detection of angina-provoking coronary stenosis by resting iodine-123 metaiodobenzylguanidine scintigraphy in patients with unstable angina pectoris. *Am Heart J* 1995; 129: 708-715.

- 4) Miller TD, Christian TF, Hopfenspirger MR, et al: Prognosis in patients with spontaneous chest pain, a non-diagnostic electrocardiogram, normal cardiac enzymes, and no evidence of severe resting ischemia by quantitative technetium 99m sestamibi tomographic imaging. *J Nucl Cardiol* 1998; 5: 64-72.
- 5) Emre A, Ersek B, Gursurer M, et al: Angiographic and scintigraphic (perfusion and electrocardiogram-gated SPECT) correlates of clinical presentation in unstable angina. *Clin Cardiol* 2000; 23: 495-500.
- 6) Kontos MC, Jesse RL, Anderson FP, et al: Comparison of myocardial perfusion imaging and cardiac troponin I in patients admitted to emergency department with chest pain. *Circulation* 1999; 99: 2073-2078.
- 7) Sola M, Magrina J, Garcia A, et al: Predictive value of ^{99m}Tc-sestamibi gated SPECT for long-term myocardial perfusion and functional recovery after an acute myocardial infarction. *Nucl Med Commun* 1998; 19: 823-830.
- 8) DePuey EG, Rozanski A: Using gated technetium-99m-sestamibi SPECT to characterize fixed myocardial defects as infarct or artifact. *J Nucl Med* 1995; 36: 952-955.
- 9) Mazzanti M, Germano G, Kiat H, et al: Identification of severe and extensive coronary artery disease by automatic measurement of transient ischemic dilatation of the left ventricle in dual-isotope myocardial perfusion SPECT. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 1612-1620.
- 10) Johnson LL, Verdesca SA, Aude WY, et al: Post-ischemic stunning can affect left ventricular ejection fraction and regional wall motion on post-stress gated sestamibi tomograms. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1641-1648.
- 11) Paul AK, Hasegawa S, Yoshioka J, et al: Exercise-induced stunning continues for at least one hour: evaluation with quantitative gated single-photon emission tomography. *Eur J Nucl Med* 1999; 26: 410-415.
- 12) Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, et al: Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33: 991-997.
- 13) Hirzel HO, Nuesch K, Gruenzig AR, et al: Short- and long-term changes in myocardial perfusion after percutaneous transluminal coronary angioplasty assessed by thallium-201 exercise scintigraphy. *Circulation* 1981; 63: 1001-1007.
- 14) Okada RD, Murphy JH, Boucher CA, et al: Relationship between septal perfusion, viability, and motion before and after coronary artery bypass surgery. *Am Heart J* 1992; 124: 1190-1195.
- 15) Serruys PW, Luijten HE, Beatt KJ, et al: Incidence of restenosis after successful coronary angioplasty: a time-related phenomenon. *Circulation* 1988; 77: 361-371.
- 16) Narula J, Dawson MS, Singh BK, et al: Noninvasive characterization of stunned, hibernating, remodeled and nonviable myocardium in ischemic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 1913-1919.
- 17) 汲田伸一郎, 趙 圭一, 水村 直, 他: 心電図同期心筋 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積算出に基づく機能解析 . 核医学 1997; 34: 237-242.
- 18) Yoshioka J, Hasegawa S, Yamaguchi H, et al: Left ventricular volumes and ejection fraction calculated from quantitative electrocardiographic-gated ^{99m}Tc-tetrofosmin myocardial SPECT. *J Nucl Med* 1999; 40: 1693-1698.
- 19) Nakata T, Katagiri Y, Odawara Y, et al: Two- and three-dimensional assessment of myocardial perfusion and function by using technetium-99m sestamibi gated SPECT with a combination of count and image-based technique. *J Nucl Cardiol* 2000; 7: 623-632.
- 20) Stollfuss JC, Haas F, Matsunari I, et al: Regional myocardial wall thickening and global ejection fraction in patients with low angiographic left ventricular ejection fraction assessed by visual and quantitative resting ECG-gated ^{99m}Tc-tetrofosmin single-photon emission tomography and magnetic resonance imaging. *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 522-530.
- 21) Ban K, Nakajima T, Iseki H, et al: Evaluation of global and regional left ventricular function obtained by quantitative gated SPECT using ^{99m}Tc-tetrofosmin for left ventricular dysfunction. *Intern Med* 2000; 39: 612-617.
- 22) Gunning MG, Anagnostopoulos C, Devies G, et al: Gated technetium-99m-tetrofosmin SPECT and cine MRI to assess left ventricular contraction. *J Nucl Med* 1997; 38: 438-442.
- 23) The SOLVD Investigators: Studies of left ventricular dysfunction (SOLVD). *Am J Cardiol* 1990; 66: 315-322.
- 24) Packer M, Bristow MR, Cohn JN, et al: The effect of carvedilol on morbidity and mortality in patients with chronic heart failure. *N Engl J Med* 1996; 334: 1349-1355.
- 25) Bristow MR, Gilbert EM, Abraham WT, et al: Carvedilol produces dose-related improvements in left ventricular function and survival in subjects with chronic heart failure. *Circulation* 1996; 94: 2807-2816.
- 26) 木下佳美, 南部一郎, 遠山淳子: 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．核医学 1998; 35: 77-83.
- 27) Manrique A, Faraggi M, Vera P, et al: ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med* 1999; 40: 805-809.
 - 28) Everaert H, Vanhove C, Franken P: Low dose dobutamine gated single-photon emission tomography: comparison with stress echocardiography. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 413-418.
 - 29) Yoshinaga K, Morita K, Yamada S: Low-dose dobutamine electrocardiograph-gated myocardial SPECT for identifying viable myocardium: comparison with dobutamine stress echocardiography and PET. *J Nucl Med* 2001; 42: 838-844.
 - 30) 藤原 征, 山辺 裕, 川合広哉, 他: 心電図同期 ^{99m}Tc-テトロフォスミン SPECT による正常心筋灌流・心機能例の検討．核医学 2001; 38: 603.
 - 31) White HD, Norris RM, Brown MA, et al: Left ventricular end-diastolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* 1987; 76: 44-51.
 - 32) Cohn JN, Johnson G, Shabetai R, et al: Ejection fraction, peak exercise oxygen consumption, cardiothoracic ratio, ventricular arrhythmias and plasma norepinephrine as determinants of prognosis in heart failure. The V-HeFT VA Cooperative Studies Group. *Circulation* 1993; 87 [Suppl VI]: 5-16.
 - 33) Sharir T, Germano G, Kavanagh PB, et al: Incremental prognostic value of post-stress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 1999; 100: 1035-1042.
 - 34) Sharir T, Germano G, Kang X, et al: Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: Risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the post-stress ejection fraction. *J Nucl Med* 2001; 42: 831-837.
 - 35) Danias PG, Ahlberg AW, Clark BA III, et al: Combined assessment of myocardial perfusion and left ventricular function with exercise technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography can differentiate between ischemic and nonischemic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1998; 82: 1253-1258.
 - 36) Rahimtoola SH: The hibernating myocardium. *Am Heart J* 1989; 117: 211-221.
 - 37) Leoncini M, Marcucci G, Sciagra R, et al: Prediction of functional recovery in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction combining the evaluation of myocardial perfusion and of contractile reserve using nitrate-enhanced technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography and dobutamine stress. *Am J Cardiol* 2001; 87: 1346-1350.
 - 38) Nishizaki K, Kameda Y, Kawata T, et al: Functional and perfusional assessment with electrocardiograph-gated single photon emission computed tomography after minimally invasive direct coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 7: 99-102.
 - 39) Shan K, Nagueh SF, Zoghbi WA: Assessment of myocardial viability with stress echocardiography. *Cardiol Clin* 1999; 17: 539-553.
 - 40) Braunwald F, Kloner RA: The stunned myocardium: Prolonged post-ischemic ventricular dysfunction. *Circulation* 1982; 66: 1146-1149.
 - 41) Lee DS, Yeo JS, Chung JK, et al: Transient prolonged stunning induced by dipyridamole and shown on 1- and 24-hour post stress ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT. *J Nucl Med* 2000; 41: 27-35.
 - 42) Leitha T, Gwechenberger M, Pruckmayer M, et al: Does motion analysis in postexercise gated sestamibi SPECT reflect rest left ventricular motion even in severe coronary artery disease? *Clin Nucl Med* 2001; 26: 694-700.
 - 43) Borges-Neto S, Javaid A, Shaw LK, et al: Poststress measurements of left ventricular function with gated perfusion SPECT: Comparison with resting measurements by using a same-day perfusion-function protocol. *Radiology* 2000; 215: 529-533.
 - 44) Candell-Riera J, Llevadot J, Santana C, et al: Prognostic assessment of uncomplicated first myocardial infarction by exercise echocardiography and Tc-99m tetrofosmin gated SPECT. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 122-128.
 - 45) Ritchie JL, Bateman TM, Bonow RO, et al: Guidelines for clinical use of cardiac radionuclide imaging. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures, Committee on Radionuclide Imaging, Developed in Collaboration with the American Society of Nuclear Cardiology. *Circulation* 1995; 1: 1278-1303.
 - 46) Bax JJ, Wijins W, Cornel JH, et al: Accuracy of currently available techniques for prediction of functional recovery after revascularization in patients with left ventricular dysfunction due to chronic coronary artery disease: comparison of pooled data. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1451-1460.
 - 47) Elsasser A, Schlepper M, Klovekorn WP, et al: Hibernating myocardium: an incomplete adaptation to ischemia. *Circulation* 1997; 96: 2920-2931.

- 48) Sinusas AJ, Bergin JD, Edwards NC, et al: Redistribution of ^{99m}Tc -sestamibi and ^{201}Tl in the presence of a severe coronary artery stenosis. *Circulation* 1997; 89: 2332–2341.
- 49) Udelson JE, Coleman PS, Metherall J, et al: Predicting recovery of severe regional ventricular function. Comparison of resting scintigraphy with ^{201}Tl and ^{99m}Tc -sestamibi. *Circulation* 1994; 89: 2552–2561.
- 50) Bonow RO: Clinical value of combined assessment of perfusion and function for the evaluation of myocardial viability. In: Germano G, Berman DS, editors. *Clinical Gated Cardiac SPECT*. Armonk (NY); Furuta Publishing Company, Inc, 1999: P307–324.
- 51) Christian TF, Gitter MJ, Miller TD, et al: Prospective identification of myocardial stunning using technetium-99m sestamibi-based measurements of infarct size. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1633–1640.
- 52) 今井嘉門: 1. 心筋バイアピリテイ評価 . 臨床編第 8 章心筋 心筋バイアピリテイ, 予後評価における心電図同期心筋 SPECT . 心電図同期心筋 SPECT 法 その基礎と臨床応用 . 中田智明, 中嶋憲一編, 東京; メジカルセンス, 2000: P154–157.
- 53) 今井嘉門, 中嶋崇智, 後藤さやか, 他: 運動負荷 1 時間後に認める左室機能障害: ^{99m}Tc -心筋血流製剤心拍同期 SPECT による検討 . 核医学 1999; 37: 199–207.
- 54) Bavelaar-Croon CD, America YG, Atsma DE, et al: Comparison of left ventricular function at rest and post-stress in patients with myocardial infarction: Evaluation with gated SPECT. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 10–18.
- 55) Wahba FF, Bavelaar-Croon CD, Baur LH, et al: Detection of residual wall motion after sustained myocardial infarction by gated ^{99m}Tc -tetrofosmin SPECT: a comparison with echocardiography. *Nucl Med Commun* 2001; 22: 175–182.
- 56) Levine MG, McGill CC, Ahlberg AW, et al: Functional assessment of electrocardiographic single-photon emission computed tomography improves the ability of technetium-99m sestamibi myocardial perfusion imaging to predict myocardial viability in patients undergoing revascularization. *Am J Cardiol* 1999; 83: 1–5.
- 57) Gunning MG, Anagnostopoulos C, Davies G, et al: Simultaneous assessment of myocardial viability and function for the detection of hibernating myocardium using ECG-gated ^{99m}Tc -tetrofosmin emission tomography: a comparison with ^{201}Tl emission tomography combined with cine magnetic resonance imaging. *Nucl Med Commun* 1999; 20: 209–214.
- 58) Leoncini M, Marcucci G, Sciagra R, et al: Nitrate-enhanced gated technetium 99m sestamibi SPECT for evaluating regional wall motion at baseline and during low-dose dobutamine infusion in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction: comparison with two-dimensional echocardiography. *J Nucl Cardiol* 2000; 7: 426–431.
- 59) Yamagishi H, Akioka K, Hirata K, et al: Dobutamine stress electrocardiography-gated Tc-99m tetrofosmin SPECT for detection of viable but dysfunctional myocardium. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 58–67.
- 60) Danias PG, Ahlberg AW, Clark BA, et al: Combined assessment of myocardial perfusion and left ventricular function with exercise technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography can differentiate between ischemic and nonischemic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1998; 82: 1253–1258.
- 61) DePuey EG, Ghesani M, Schwartz M, et al: Comparative performance of gated perfusion SPECT wall thickening, delayed thallium uptake, and F-18 fluorodeoxyglucose SPECT in detecting myocardial viability. *J Nucl Cardiol* 1999; 6: 418–428.
- 62) Nakata T, Kobayashi H, Miyamoto K, et al: The correlation between myocardial perfusion and function regionally assessed by quantitative gated sestamibi tomography in acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31 Suppl: 440A.
- 63) 鳥羽正浩, 石田良雄, 福地一樹, 他: 急性心筋梗塞の経過観察における Tc-99m-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: 219–227.
- 64) 中田智明: 2. 予後・リスク評価 . 臨床編第 8 章心筋 心筋バイアピリテイ, 予後評価における心電図同期心筋 SPECT . 心電図同期心筋 SPECT 法 その基礎と臨床応用 . 中田智明, 中嶋憲一編 . 東京; メジカルセンス, 2000: P158–164.
- 65) Gibbons RJ, Chatterjee K, Daley J, et al: ACC/AHA/ACP-ASIM guidelines for the management of patients with chronic stable angina: Executive summary and recommendations: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Management of Patients with Chronic Stable Angina). *Circulation* 1999; 99: 2829–2848.
- 66) Serruys PW, Simoons ML, Suryapranata H, et al: Preservation of global and regional left ventricular function after early thrombolysis in acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1986; 7: 729–742.
- 67) Pasternak RC, Braunwald E, Sobel BE, et al: Risk stratification following myocardial infarction. Chap 39. Acute myocardial infarction, In *Heart Disease* ed by Braunwald E, Saunders Company, 1992: 1267–1273.
- 68) Nakata T, Noto T, Uno K, et al: Quantification of area

- and percentage of infarcted myocardium by single photon emission computed tomography with thallium-201: A comparison with serial serum CK-MB measurements. *Ann Nucl Med* 1989; 3: 1-8.
- 69) Cerqueira MD, Maynard C, Ritchie JL, et al: Long-term survival in 618 patients from the Western Washington Streptokinase in Myocardial Infarction trials. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 1452-1459.
- 70) Miller TD, Christian TF, Hopfenspirger MR, et al: Infarct size after acute myocardial infarction measured by quantitative tomographic ^{99m}Tc sestamibi imaging predicts subsequent mortality. *Circulation* 1995; 92: 334-341.
- 71) Iskandrian A, Chae SC, Heo J, et al: Independent and incremental prognostic value of exercise single-photon emission computed tomographic (SPECT) thallium imaging in coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 665-670.
- 72) Brown KA: Prognostic value of thallium-201 perfusion imaging: A diagnostic tool comes of age. *Circulation* 1991; 83: 363-381.
- 73) Hachamovitch R, Berman DS, Kiat H, et al: Exercise myocardial perfusion SPECT in patients without known coronary artery disease. Incremental prognostic value and use in risk stratification. *Circulation* 1996; 93: 905-914.
- 74) Bateman TM, O'Keefe JH Jr, Dong VM, et al: Coronary angiographic rates after stress single-photon emission computed tomographic scintigraphy. *J Nucl Cardiol* 1995; 2: 217-223.
- 75) Nallamothu N, Pancholy SB, Lee KR, et al: Impact of exercise single-photon emission computed tomographic thallium imaging on patient management and outcome. *J Nucl Cardiol* 1995; 2: 334-338.
- 76) Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, et al: Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998; 97: 535-543.
- 77) Williams DO, Braunwald E, Knatterud G, et al: One-year results of the thrombolysis in myocardial infarction investigation (TIMI) phase II trial. *Circulation* 1992; 85: 533-542.
- 78) Boden WE, O'Rourke RA, Crawford MH, et al: Outcomes in patients with acute non-Q-wave myocardial infarction randomly assigned to an invasive as compared with a conservative management strategy. Veterans Affairs Non-Q-Wave Infarction Strategies in Hospital (VANQWISH) trial. *N Engl J Med* 1998; 338: 1785-1792.
- 79) Wexler LF, Blaustein AS, Lavori PW, et al: Non-Q-wave myocardial infarction following thrombolytic therapy: a comparison of outcomes in patients randomly assigned to invasive or conservative post-infarct assessment strategies in the Veterans Affairs Non-Q-Wave Infarction Strategies in Hospital (VANQWISH) trial. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 19-25.
- 80) Mahmarian JJ, Mahmarian AC, Marks GF, et al: Role of adenosine thallium-201 tomography for defining long-term risk in patients after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1333-1340.
- 81) Dakik HA, Mahmarian JJ, Kimball KT, et al: Prognostic value of exercise ²⁰¹Tl tomography in patients treated with thrombolytic therapy during acute myocardial infarction. *Circulation* 1996; 94: 2735-2742.
- 82) Kroll D, Farah W, McKendall GR, et al: Prognostic value of gated Tc-99 sestamibi SPECT after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2001; 87: 381-386.
- 83) Gibson RS, Watson, DD, Craddock GB, et al: Prediction of cardiac events after uncomplicated myocardial infarction: a prospective study comparing pre-discharge exercise thallium-201 scintigraphy and coronary angiography. *Circulation* 1983; 68: 321-336.
- 84) Leppo JA, O'Brien J, Rothendler JA, et al: Dipyridamole-thallium-201 scintigraphy in the prediction of future cardiac events after acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 1984; 310: 1014-1018.
- 85) Brown KA, Heller GV, Landin RS, et al: Early dipyridamole ^{99m}Tc-sestamibi single-photon emission computed tomographic imaging 2 to 4 days after acute myocardial infarction predicts in-hospital and post-discharge cardiac events. Comparison with submaximal exercise imaging. *Circulation* 1999; 100: 2060-2066.
- 86) Patterson RE: Cost-effectiveness analysis in diagnosis of cardiac disease: Overview of its rationale and method. *J Nucl Cardiol* 1996; 3: 334-341.
- 87) Kuntz KM, Fleischmann KE, Hunink MGM, et al: Cost-effectiveness of diagnostic strategies for patients with chest pain. *Ann Intern Med* 1999; 130: 709-718.
- 88) Landenheim ML, Kotler TS, Pollock BH, et al: Incremental prognostic power of clinical history, exercise electrocardiography and myocardial perfusion scintigraphy in suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1987; 59: 270-277.
- 89) Brown KA: Management of unstable angina: the role of noninvasive risk stratification. *J Nucl Cardiol* 1997; 4: S164-168.
- 90) Gaber AM, Solomon NA: Cost-effectiveness of alternative test strategies for the diagnosis of coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1999; 130: 719-728.
- 91) 小須田茂, 市原清志, 樺山幸彦, 他: 胸痛患者における運動負荷 ²⁰¹Tl 心筋 SPECT の費用効果分

- 析 (第一報) . 核医学 1999; 36: 715–723.
- 92) Choi JY, Lee KH, Kim SJ, et al: Gating provides improved accuracy for differentiating artifacts from true lesions in equivocal fixed defects on technetium 99m tetrofosmin perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1998; 5: 395–401.
- 93) Taillefer R, DePuey EG, Udelson JE, et al: Comparative diagnostic accuracy of Tl-201 and Tc-99m sestamibi SPECT imaging (perfusion and ECG gated SPECT) in detecting coronary artery disease in women. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 66–77.
- 94) 桑原洋一: 心電図同期心筋 SPECT と費用対効果他法との比較を含めて “心電図同期心筋 SPECT 法”. 中田智明, 中嶋憲一編, メジカルセンス, 2000: 180–185.
- 95) DePuey EG. Major advances in single-photon emission computed tomography perfusion imaging. *Cardiology in Review* 2000; 8: 40–48.