Topics

心電図同期心筋SPECTの臨床応用と今後の展開

日本医科大学放射線科

汲田伸一郎・隈崎達夫

はじめに

心電図同期心筋シンチグラフィは、心筋血流情報に加え、同時左室機能評価が可能な有用な検査手法である。同法は ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤の使用開始により広く臨床応用が行われるようになり、またワークステーションなど処理装置の高速化に伴い一般診療検査として定着化しつつある。本稿では、心電図同期心筋シンチグラフィを用いた左室機能解析方法とその臨床応用につき、今後の展開を踏まえ記載を行う。

1. 心電図同期心筋シンチグラフィにおけるデータ収集および機能解析

^{99m}Tc 標識心筋血流製剤の臨床使用が開始された段階では、撮像機器は単検出器型ガンマカメラが主流であり、心電図同期心筋シンチグラフィに関する検討もplanarデータを用いたものが主体であった¹⁻³⁾。その後、3検出器型ガンマカメラなどの高速SPECT(single photon emission computed tomography)装置の臨床使用が開始され、また処理装置の発達も相まって鮮明な心電図同期心筋SPECTイメージを日常検査時間内に撮像することも可能となった。1993年、著者らは心電図同期心筋SPECTにおける拡張末期および収縮末期短軸像にcircumferential profile analysisを施行し、極座標上の対応する各ピクセルにおける左室収縮に伴うカウント上昇率を算出した⁴⁾。この機能解析mapにより算出した%Wall thickeningは、カテーテル左室造影検査より求めた左室駆出率(LVEF, %)と良好な相関を認め($r=0.85$, $p<0.01$, $n=17$)、精度の高い同時左室機能評価が確認できた。しかしながら算出される%Wall thickeningは左室機能解析値としては一般的なものではない。また、その演算式%Wall thickening=(収縮末期count-拡張末期count) $\times$ 100/拡張末期countの性質上、解析値は拡張末期countに依存する。すなわち梗塞部の心筋血流低下が著しく低い領域では算出値の過大評価が生じるという問題点も存在する⁵⁾。

現在、心電図同期SPECTデータを用いた左室機能解析ソフトウェアのうち、最も汎用されているものはGermanoらが考案したQGSプログラムである^{6,7)}。左

室容量および左室収縮能を自動解析するプログラムであるが、はじめにSPECTデータにthreshold法に基づく三次元的な二値化を行い、左室を一つの集合体として認識させる。つぎに集合体の中心点より三次元的に放射状直線を引き、circumferential profile analysisにおけるmax pixelをもって心筋部の中心点を設定し、これをつなぎ合わせることで左室の骨格を作成する。ついで左室内腔中心点と各心筋中心点とを結ぶ直線上のカウントを計測する。ガウス関数近似したのちのカウント正規分布において、各心筋中心点より内外にむけて標準偏差の65%値点を認識させ、それぞれ心内膜面、心外膜面として自動抽出を行う。これらの操作を心電図同期心筋SPECTの各R-R分割データに対し行うことにより、心拍動に伴う左室容積変化をとらえることが可能となる。これによりLVEF、左室容量の算出はもとより、各時相のデータを三次元的なシネモードで表示することができ、あらゆる角度から局所収縮能評価をおこなうことが可能となる(Fig. 1)。また、このプログラムのひとつの特徴として優れた左室辺縁の自動抽出が挙げられる。梗塞部の心筋血流低下が著しく、ほぼ欠損像を呈するような症例においても、楕円近似および左室内腔中点の逐次位置補正により、ある程度の対応が可能である。

著者らは各種心疾患33例に ^{99m}Tc -tetrofosmin 555-740 MBqを投与したのち、R-R 16分割の心電図同期心筋SPECTデータ収集を行い、QGSプログラムを用いLVEF(%)の算出を行ったところ、心プールシンチグラフィ・マルチゲート法により得られたLVEFとの比較において、相関係数 $r=0.91$ ($p<0.01$)と極めて良好な相関が示された⁸⁾。また心疾患50例を対象とした左室カテーテル造影検査との比較においても、算出されたLVEF(%)は $r=0.82$ ($p<0.001$)と良好な相関を認め(Fig. 2)、左室拡張末期容積(LVEDV, ml)および収縮末期容積(LVESV, ml)の比較に関してもそれぞれ $r=0.76$ ($p<0.001$)、 $r=0.81$ ($p<0.001$)と良好な相関が示された⁹⁾(Fig. 3)。

以上、記載したように心電図同期心筋SPECTデータを用い、QGSプログラムにより解析された左室機能値

Fig. 1 心電図同期心筋SPECTデータよりQGSプログラムを用いて作成した左室機能イメージ(左前斜位および左側面像).
ソリッド面は収縮末期の心内膜面を表し、内側のワイア面は拡張末期の心内膜面を示す。

および左室容量値は、他検査より算出されたそれらと良好な相関を示し、精度の高いデータ解析であると証明されたわけだが、本プログラムのもう一つの重要な利点として、処理および解析の自動化が挙げられる。用手的な処理過程を極力排除しているため、その解析データは客観性および再現性に富むものとなる。心疾患の経過観察はいうに及ばず、日常診療における心疾患の診断に際しては、解析精度に加えた再現性が重要な因子であると考えられる。

2. 心電図同期心筋SPECTの臨床応用

2-1 虚血性心疾患の診断

心疾患症例の診断に際し、心電図同期心筋SPECTデータより心筋血流イメージとともに左室機能情報が得られるということは、臨床的に極めて意義の高いものである。心筋梗塞症例であれば梗塞部生存能(viability)評価に際して局所の心筋血流情報に局所収縮能情報が加わることとなる(Fig. 4)。梗塞部の血流低下が高度であっても、壁厚増加を含めた局所収縮がわずかでも認められれば、その梗塞領域にはviabilityが残存していると診断することができる。また梗塞の存在診断に際し、梗塞部血流低下が軽微であるような症例においても、その補助診断として心電図同期SPECTの局所収縮能評価が威力を発揮する。心筋障害を来した場合、心筋血流低下に先んじて代謝障害や機能障害が発生する。そのため心筋血流低下が確信できないような心筋部において収縮能異常が認められた場合には、真の陽性所見と判定できる。また逆に、アーチファクトによる偽陽性の除外診断にも有用である。RI心筋イメージにおいては、横隔膜のattenuationによる下後壁の偽的集積低下例や、とくに女性例において

Fig. 2 左室カテーテル造影法および心電図同期心筋SPECTより算出した左室駆出率の比較。

(汲田伸一郎, 他: 心電図同期心筋シンチグラフィを用いた心筋血流、心機能評価—負荷時機能解析を含めた臨床応用—. 進歩する心臓研究, 20, 56-61, 2000より引用)

は乳房による前壁側の偽的集積低下例に少なからず遭遇する。このような場合、集積低下があるにもかかわらず同部の収縮が保たれていれば、偽的集積低下すなわち陰性所見であると判定することができる(Fig. 5)。核医学分野においては外部線源を用いた吸収補正法などアーチファクト除去を目的とした種々の検討¹⁰⁾が行われているものの、現段階ではいくつかの問題点が存在し¹¹⁾確立された方法とはいえない。ここで心電図同期心筋SPECTは複雑な検査手法を必要とせず同時収縮能評価を行うのみで、それら偽的集積低下例を除外することができ、臨床診断においてspecificityの向上が得られる¹²⁾。

心筋梗塞例に対する治療として経皮的冠血管再建術(PTCA)やステント留置術が行われるが、それら再灌流療法の効果判定および経過観察にも心電図同期SPECTが用いられる。梗塞領域に良好な再灌流が得られても一定の期間は梗塞部収縮低下が残存するといった心筋血流と局所機能の乖離を生じることがあり、気絶心筋(stunned myocardium)と称される。このような状態を一度の検査で把握できることとなる¹³⁾(Fig. 6)。

2-2 心筋梗塞の経過観察

心筋梗塞症例の予後規定因子である梗塞範囲評価、左室機能(LVEF)算出を行うことによるリスク評価も行い得る。心筋梗塞後の長期予後を規定する因子として梗塞範囲、左室機能に加え左室容積も重要である。梗塞発症後3日目頃までの急性期には、梗塞心筋が引

Fig. 3 左室カテーテル造影法および心電図同期心筋SPECTより算出した左室容量の比較。
(汲田伸一郎, 他: 心電図同期心筋シンチグラフィを用いた心筋血流, 心機能評価—負荷時機能解析を含めた臨床応用—, 進歩する心臓研究, 20, 56-61, 2000より引用)

Fig. 4 前壁および下壁梗塞症例における心電図同期心筋SPECT.
前壁心筋梗塞部の心筋血流は欠損像を呈し, 機能イメージでも無収縮を示す。これに対し, 下壁梗塞部には残存心筋血流および収縮能が認められ, 梗塞部のviability残存が評価できる。
(汲田伸一郎, 他: 西村恒彦 編: 心拍同期心筋SPECT. SPECT機能画像一定量化の基礎と臨床—, pp. 138-143, メジカルビュー, 東京, 1998より引用)

き伸ばされ非薄化し梗塞部位が伸展することにより左室拡大が生じることが知られている。また急性期以後には非梗塞部心筋が遠心性肥大を生じることにより左室容積が増大してくる。これらの左室拡大過程は左室リモデリングとよばれ, 心拍出量を維持するための代償機転と考えられている。しかしながら, この左室拡大の進行により難治性の心不全が生じたり, 生命予後を悪化させるなどの現象が明らかになってきている。心電図同期心筋SPECTは, 心筋梗塞部の範囲の同定と

Fig. 5 心電図同期心筋SPECTを用いた乳房アテニュエーションの除外。
女性症例における心筋血流イメージでは前壁側の高度集積低下を認めるが, 同時機能評価にて同部の収縮能は良好に保たれているため, 偽集積低下であると判定できる。

ともに左室容量の測定を非侵襲的に経時的に行うことができるため, このような心筋梗塞後の左室リモデリング評価には最適である。また, 近年, 左室リモデリングを抑制する治療薬としてアンギオテンシン変換酵素阻害薬(ACEI)が注目されるようになったが, 経時的な薬効評価の面からも心電図同期SPECTの有用性が高いものと考ええる。

2-3 非虚血性心疾患の鑑別診断

虚血性心疾患以外の拡張型心筋症などの診断にも心電図同期SPECTはよい適応となる。拡張型心筋症で

Fig. 6 心筋梗塞(前壁中隔)再灌流療法後例における心電図同期(2核種同時)心筋SPECTデータ収集。

(a) 心筋血流イメージ(Tc-99m)では正常集積を呈しているのに対し、BMIPP心筋脂肪酸代謝イメージ(I-123)では前壁中隔部の高度集積低下が残存している。

(b) 左室機能イメージでも前壁および前壁中隔の高度収縮低下がとらえられている。

Fig. 7 拡張型心筋症における心電図同期心筋シンチグラフィ。

心筋血流イメージでは明らかな集積低下を認めないのに対し、左室機能イメージにより著明な左室容量増大(LVEDV; 290ml)、びまん性の高度収縮低下(LVEF; 28%)が把握できる。

SA=短軸像, LA=長軸像

は、著明に増大した左室容量、びまん性の収縮低下および著明な左室機能低下が認められる。拡張型心筋症では、高度の左室機能障害を呈するにもかかわらず血流欠損範囲は狭く、一般的には心筋の線維化を来している領域にのみ生じる。Fig. 7に拡張型心筋症の心電図同期SPECT像を示すが、心筋血流イメージにて明らかな集積低下域を認めず、左室機能イメージにてびまん性の収縮低下および著明な左室容量拡大がとらえられている。これに対し、拡張型心筋症と同様の左室機能および左室形態を呈しているにもかかわらず、冠動脈支配域に一致するような欠損像(集積低下像)が認

められるならば、虚血性心筋症を疑うこととなり冠動脈造影による確認が必要となる。また血流欠損が大きくとも冠動脈支配域に一致しない場合には、心サルコイドシスなどの二次性心筋疾患を考慮しなければならない(Fig. 8)。

3. 心電図同期心筋SPECTの新しいデータ収集法の試み

3-1 心電図同期心筋SPECT短時間データ収集

前述したように心電図同期心筋SPECTデータよりQGSプログラムを用い解析された左室機能値および容量算出値は他のモダリティと高い整合性を有し信頼性の高いものであるが、果たしてその収集データ時間を短縮しても解析値の精度が保てるのかといった興味もたれるところである。SPECTデータ収集時間の短縮が可能であるならば、状態が不安定な症例に対してのSPECT検査の安全性が増し、また緊急検査に対しても絶大な威力を発揮する。^{99m}Tc-tetrofosminはコールドキットを用い即座に標識ができるため急性冠不全症例に対し、緊急の検査を行うことが可能となる。これにより梗塞部位の同定はもとより再灌流療法決定のための核医学情報を提供できるものと考ええる。

著者らは、心疾患症例25例を対象として通常のルーチン検査としての心電図同期心筋SPECTデータ収集(15分間)および短時間データ収集(3分間)を連続して施行し、それぞれのデータよりQGSプログラムを用いLVEF(%)およびLVEDV(ml)の算出を行った。3分間のデータ収集には角度可変式の2検出器型ガンマカメラ(Vertex, ADAC)の検出器(低エネルギー汎用型コリメータ装着)を90度L字型に設定し、1方向12秒、6度ごと15方向(×2)の180度データ(RAO 45度~LPO 45

Fig. 8 心サルコイドーシスのシンチグラム.

- (a) 心電図同期SPECTにおける心筋血流イメージにて高位側壁の欠損像を認め、機能イメージでも同部の収縮低下がとらえられている。
 (b) ガリウムシンチグラフィにおいて、肺門、縦隔リンパ節への中程度集積亢進および心筋部への異常集積が確認できる。

Fig. 9 心電図同期心筋SPECT 15分および3分データ収集を用い算出した左室駆出率、左室拡張末期容積の比較。

(Kumita S, et al.: Rapid data acquisition protocol in ECG-gated myocardial perfusion SPECT with Tc-99m-tetrofosmin. Ann Nucl Med, 12, 71-75, 1998より引用)

度)を収集、matrixは64×64、R-R間は16分割とした。結果、算出されたLVEF(%), LVEDV(ml)の比較ではそれぞれ相関係数 $r=0.980$ ($p<0.01$), $r=0.983$ ($p<0.01$)と極めて良好な相関が認められた¹⁴⁾(Fig.9)。さらに3分間収集データの各16分割データを合成して作成した(非心拍同期)心筋血流SPECTイメージの画質も比較的良好であり、臨床使用には十分耐え得るものと考えられた¹⁴⁾。

本検討で確認した3分間というデータ収集時間であるが、当然のことながらSPECTデータ収集装置の性能

あるいは検出器の数などにより妥当な収集時間は異なってくる。しかしながら、心電図同期データのR-R分割数を8~10に減ずることや感度の高いコリメータを使用するなどの手法により、いずれの装置でもある程度の時間短縮は可能と考える。

3-2 運動負荷時心電図同期心筋SPECT

核医学分野における運動負荷時の虚血評価としては、心筋血流トレーサを用いた負荷時および安静時(²⁰¹TlCIでは再分布)像の比較が汎用されている。一

Fig. 10 心筋梗塞症例(前壁)におけるドブタミン負荷時の左室機能解析。

安静時像では前壁に高度収縮低下を認めるのに対し、ドブタミン負荷(12 $\mu\text{g/kg/min}$)により同部の収縮増強がみられる。さらに高用量の負荷(16 $\mu\text{g/kg/min}$)を行うと梗塞部の再収縮低下がみられ、同部の虚血の残存が把握できる。

方、心筋血流分布ではなく左室機能像より負荷時の虚血をとらえようとする手法も試みられている。これは安静時および運動負荷時の左室機能、局所収縮能を比較するもので、負荷時に有意なLVEFの上昇が得られない(あるいは低下する)ことや負荷時に局所収縮能異常が出現(増悪)することなどにより虚血の診断を行うものである。核医学的手法においては運動負荷心プールシンチグラフィが代表されるものであるが、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBCまたは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSADを投与したのち、通常は両心室の明瞭な分離が得られる左前斜位にて安静および運動負荷時のマルチゲートイメージの撮像を行う。同法は1 stage当たり3~5分のデータ収集時間を要し、通常、撮像方向はplanar 1方向のみに限定される。

さて心電図同期心筋SPECTの運動負荷時検査への応用であるが、被検者の運動持続時間を考慮すると前述したような短時間データ収集が必要となる。また運動負荷と同時にSPECTイメージを撮像するため、著者らはガンマカメラテーブルに脱着可能な自転車式エルゴメータ(ExometerTM)を使用した。被検者をbreast bandでガンマカメラベッドに固定し、挙上した両上肢でgrip barを握らせることにより極力motion artifactの軽減に努めた。さらには収集データに対しx, y軸方向のmotion artifact補正ソフトウェア(AMCプログラム)を併用した。健常男性8例を対象に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin 555~740 MBqを投与したのち、安静時および75W, 125W負荷時に3分間の心電図同期SPECTデータ収集を行い、QGSプログラムを用いLVEF(%)の算出を行った。心拍数は66.0 $\pm$ 5.2から100.4 $\pm$ 9.4(bpm)まで上昇($p<0.01$)、LVEF算出値においても56.1 $\pm$ 6.0から67.0 $\pm$ 4.3(%)までの上昇がとらえられ、負荷時の左室

機能上昇の把握が可能であった¹⁵⁾。著者らは既に同法の虚血性心疾患症例への応用も行っているが¹⁶⁾、ルーチン化のためには、さらなるmotion artifact補正の改良が必須と考える。

一方、心電図同期心筋SPECTの運動負荷検査への応用の一つとして、運動負荷後のSPECTデータ収集も試みられている。これは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤を用いた負荷心筋シンチグラフィにおける一手法であり、まず安静時に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi(またはtetrofosmin)を投与したのち心電図同期心筋SPECTにより心筋血流および左室機能データを得る。ついでエルゴメータあるいはトレッドミルによる運動負荷を施行し、最大負荷時に再度 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤の投与を行う。そののち心電図同期心筋SPECTデータ収集を行うことにより、最大負荷時の心筋血流情報と負荷後の左室機能情報が得られることとなる。重症な心筋虚血領域では負荷後においても負荷時虚血に伴う機能障害が遷延するため(いわゆるpost ischemic stunning)、これをとらえようとする手法である。理論的には、最大負荷時から撮像開始までの時間が短いほど、負荷時機能障害を反映するイメージを得やすい。しかしながら極端に時間短縮を試みた場合は、安定した心筋分布や肝胆道系からの洗い出しが得られていない症例も存在し、また負荷後の一過性左室機能上昇(いわゆるオーバーシュート現象)の影響を受ける可能性もあるため注意が必要である。

3-3 薬剤負荷時心電図同期心筋SPECT

薬剤負荷時の左室機能評価としては、心エコー法を用いたドブタミン負荷時の機能解析が汎用されている。ドブタミン負荷はドブタミンの持つ β_1 刺激による陽性変時作用、陽性変力作用により心筋収縮力の増強と心拍数の増加をもたらす。この作用により心筋酸素需要を増大させ、罹患冠動脈領域の虚血に伴う壁運動異常を誘発させる。心筋梗塞症例の低用量ドブタミン負荷において心筋梗塞部の壁運動異常に改善を認める場合には梗塞部にviabilityが残存すると判定され、実際、血行再建術後の梗塞部収縮能改善をよく反映する臨床結果が得られている。ここで心エコー法の代わりに心電図同期SPECTを用いたドブタミン負荷時の左室機能解析を考えた場合、コスト的にはSPECT検査が高価である。しかしながら、エコー法に比し客観性、再現性にて勝り、また同時に心筋血流情報が得られるという絶対的利点を有する^{17, 18)}。

著者らは、虚血性心疾患症例を対象として、低用量~高用量ドブタミン負荷時の経時的な左室機能解析を施行しており、罹患冠動脈領域における虚血評価を行っている^{16, 19, 20)}(Fig. 10)。

薬剤負荷に関しては、ドブタミンに限らず種々の薬剤に応用可能である。ただSPECTデータ収集時間内の薬効のある程度の定常状態に保つことが可能で被検者の安全性が確認できる薬剤に限定される。この条件を満たせば、各プロトコルにより種々の薬剤における客観的な効果判定も可能である²⁰⁾。

おわりに

心電図同期心筋SPECTは、一度の検査で客観的な心筋血流、左室機能情報が得られる優れた検査手法である。これまでも虚血性心疾患をはじめとする各種心疾患症例における診断、経過観察などに用いられてお

り、その蓄積データより臨床的有用性が確立されている。今後のさらなるデータ収集法、解析法の工夫、改善により幅広く臨床応用法が広がっていくものと期待される。

謝 辞

稿を終えるにあたり、心臓核医学データの収集および解析に際し多大な技術的協力を賜った日本医科大学放射線科技師室の小菅 豊、上森真里子、尾科隆司、中村克己、桜井 実、齊藤晴美諸氏に深謝いたします。

参考文献

- Marcassa C, Marzullo P, Parodi O, et al.: A New method for noninvasive quantitation of segmental myocardial wall thickening using technetium-99m 2-methoxy-isobutyl-isonitrile scintigraphy —Results in normal subjects. *J Nucl Med*, 31, 173-177, (1990).
- Najm YC, Timmis AD, Maisey MN, et al.: The evaluation of ventricular function using gated myocardial imaging with Tc-99m MIBI. *Eur Heart J*, 10, 142-148, (1989).
- 汲田伸一郎, 西村恒彦, 植原敏勇, 他: 99mTc-MIBIを用いた心機能評価—GATED PLANAR IMAGEによる検討. *核医学*, 28, 591-597, (1991).
- 汲田伸一郎, 隈崎達夫: ^{99m}Tc-MIBI心拍同期心筋シンチグラフィを用いた心機能解析mapの開発—三検出器型ガンマカメラシステムによる臨床応用—. *核医学*, 31, 43-52, (1994).
- 汲田伸一郎, 中條秀信, 隈崎達夫: 西村恒彦 編: 心拍同期心筋SPECT. PECT機能画像一定量化の基礎と臨床—, pp. 138-143, メジカルビュー社, 東京, (1998).
- Germano G, Kavanagh P, Su HT, et al.: Automatic reorientation of three-dimensional transaxial myocardial perfusion SPECT images. *J Nucl Med*, 36, 1107-1114, (1995).
- Germano G, Kiat H, Kavanagh P, et al.: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*, 36, 2138-2147, (1995).
- 汲田伸一郎, 趙 圭一, 水村 直, 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*, 34, 237-242, (1997).
- 汲田伸一郎, 趙 圭一, 中條秀信, 他: 心電図同期心筋シンチグラフィを用いた心筋血流, 心機能評価—負荷時機能解析を含めた臨床応用—. *進歩する心臓研究*, 20, 56-61, (2000).
- Cho K, Kumita S, Okada S, et al.: Development of respiratory gated myocardial SPECT system. *J Nucl Cardiol*, 6, 20-28, (1999).
- 木島鉄仁, 汲田伸一郎, 水村 直, 他: トランスミッション・エミッションデータ同時収集法による吸収補正の有用性と問題点. *核医学*, 34, 167-176, (1997).
- DePuey EG and Rozanski A: Using gated technetium-99m-sestamibi SPECT to characterize fixed myocardial defects as infarct or artifact. *J Nucl Med*, 36, 952-955, (1995).
- Kumita S, Cho K, Nakajo H, et al.: Simultaneous assessment of Tc-99m-sestamibi and I-123-BMIPP myocardial distribution in patients with myocardial infarction: evaluation of left ventricular function with ECG-gated myocardial SPECT. *Ann Nucl Med*, 15, 453-459, (2001).
- 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*, 12, 71-75, (1998).
- Kumita S, Cho K, Mizumura S, et al.: Left ventricular function at rest and during bicycle exercise in normal subjects: Assessment by ECG-gated myocardial perfusion SPET with Tc-99m-tetrofosmin. *Nucl Med Commun*, 20, 427-432, (1999).
- 汲田伸一郎, 佐野純子: 西村恒彦, Germano G 編: 心電図同期心筋SPECT短時間収集データを用いた運動・薬剤負荷時の左室機能解析. 心電図同期心筋SPECTの理論と実際—心疾患の診療における役割—, pp. 97-103, 南江堂, 東京, (2001).
- 汲田伸一郎, 水村 直, 木島鉄仁, 他: 心筋梗塞巣における低用量ドブタミン負荷時の機能解析: ^{99m}Tc-MIBI心拍同期心筋シンチグラフィを用いた局所収縮能評価. *核医学*, 32, 75-79, (1995).
- Everaert H, Vanhove C, and Franken PR: Low-dose dobutamine-gated single-photon emission tomography: Comparison with stress echocardiography. *Eur J Nucl Med*, 27, 413-418, (2000).
- 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*, 8, 152-157, (2001).
- 汲田伸一郎, 佐野純子, 桜井 薫: 中田智明, 中嶋憲一 編: 薬剤負荷時心電図同期心筋SPECT法. 心電図同期心筋SPECT法—その基礎と臨床応用—, pp. 69-73, メジカルセンス社, 東京, (2000).