

《ノート》

多結晶型ガンマカメラ SIM-400 による RI 心機能解析

—臨床応用—

Clinical Application of Newly Developed Multicrystal Gamma Camera
(SIM-400) for Radionuclide Cardiac Study

汲田伸一郎^{*,**} 西村 恒彦^{*} 下永田 剛^{*} 植原 敏勇^{*}
岡 尚嗣^{*} 与小田一郎^{*}

Shin-ichiro KUMITA^{*,**}, Tsunehiko NISHIMURA^{*}, Tsuyoshi SHIMONAGATA^{*},
Toshiisa UEHARA^{*}, Hisashi OKA^{*} and Ichiro YOKOTA^{*}

^{*}Department of Radiology, National Cardiovascular Center, Osaka

^{**}Department of Radiology, Nippon Medical School, Tokyo

I. はじめに

従来より核医学分野における心機能解析には、単結晶型ガンマカメラ (Anger カメラ) により ^{99m}Tc-RBC (またはアルブミン) を用いた平衡時ゲート法が主として行われており、観察方向は左心室と右心室の分離可能な左前斜位方向に限定されている。また同法のデータ解析には数百心拍以上の加算が必要であるため、検査に要する時間も長く、不整脈を有する症例では正確な心電図との同期が容易でなかった。一方、多結晶型ガンマカメラ (オートフルオロスコープ; system 77) は計数率特性が優れており、^{99m}Tc 標識製剤を用いたファーストパス法にて右前斜位方向や前後方向での精度のよい心機能局所指標を得ることができる¹⁻³⁾。本研究では、本邦に初めて導入された米

国シンチコア社製多結晶型ガンマカメラ SIM-400⁴⁾ を用いて解析された心機能の測定精度ならびに臨床応用につき検討を行った。

II. 方 法

1. SIM-400 による心機能測定

各種心疾患症例 28 例に SIM-400 を用いたファーストパスを施行した。ファーストパス法はテクネチウム標識薬剤 555 MBq (15 mCi) を右肘静脈より急速静注し、生理的食塩水 20 ml を 4~5 ml/sec でフラッシュした。ファーストパス時に高いボーラス性を保持するため、テクネチウム標識薬剤の比放射能は約 1,110 MBq (30 mCi)/ml とし、被験者をガンマカメラに密着させた座位、正面より 25 msec のフレームモードにて約 25 秒間のデータ収集を行った。データ解析にはアップル社製マッキントッシュ II を使用し、左心室の 5~7 心拍を積算し、左室駆出分画 (LVEF)、左室拡張末期容量 (LVEDV; Area-length法) を算出した。ま

* 国立循環器病センター放射線診療部

** 現; 日本医科大学放射線科

受付: 3年2月28日

最終稿受付: 3年7月19日

別刷請求先: 東京都文京区千駄木 1-1-5 (☎ 113)

日本医科大学附属病院放射線科

汲田 伸一郎

Key words: Multicrystal gamma camera, First-pass radionuclide cardioangiography, ^{99m}Tc-MIBI, ^{99m}Tc-pyrophosphate scintigraphy.

対象の28例中25例にて *in vivo* 標識 ^{99m}Tc -RBC を用いた心拍同期心プールシンチグラフィ (MUGA; 左前斜位), 15例にてパイプレン使用の心臓カテーテル造影検査 (LVG) を施行し, ファーストパス法 (SIM-400) より算出した心機能解析値との比較検討を行った。

2. SIM-400 による心機能解析の再現性

(LVEF による評価)

各種心疾患 10 例に前述したごとく SIM-400 を用いたファーストパス法を施行し, LVEF を算出した。検者間変動の評価として 2 名の放射線科医が解析した LVEF 値を比較 (Interobserver correlation), 検者内変動評価として同一の放射線科医が日を改めて解析した LVEF 値の比較を行った (Intraobserver correlation)。

3. SIM-400 の臨床応用

1) ^{99m}Tc -MIBI による心筋灌流, 心機能同時評価

虚血性心疾患 10 例 (労作性狭心症 8 例, 心筋梗塞 2 例) に対し, 座位自転車エルゴメータを用いた symptom limited の運動負荷を行い, 最大負荷時に ^{99m}Tc -Methoxyisobutyl isonitrile (MIBI) 555 MBq (15 mCi) を投与し, 同時に SIM-400 を用いたファーストパスデータ収集 (正面像) を行った。3 時間後に島津社製対向型ガンマカメラ (LFOV) を用い, 1 ステップ 45 秒で 10° ごとに 18 ステップ ($\times 2$) の計 36 方向にて SPECT 収集を施行した。ファーストパスデータより LVEF を算出, SPECT 短軸像より心筋灌流欠損 (低下) 域の定量的指標として既報のごとく severity score を算出し⁵⁾, 両者を対比させることにより心機能, 心筋灌流の比較検討を行った。

2) ^{99m}Tc -ピロリン酸投与による心筋梗塞部心機能評価

対象は急性心筋梗塞を疑われたが, 心電図, 心エコーにて明らかな梗塞領域を同定し得ず, 心筋梗塞巣を陽性描出させる ^{99m}Tc -ピロリン酸 (PYP) 心筋シンチグラフィ⁶⁾ を施行した 6 例 (61.5 \pm 13.7 歳) である。ストレッチャー上 (臥位) の被験者に対し正面, 左前斜位 45 度より, それぞ

れ ^{99m}Tc -PYP 296 MBq (8 mCi), 555 MBq (15 mCi) の投与にて連続 2 回のファーストパスデータ収集 (SIM-400) を行った。投与 3 時間後に ^{99m}Tc -PYP 心筋シンチグラフィを行い, 視覚的に陽性描出部 (急性梗塞部) を判定, SIM-400 にて同部位の局所左室駆出分画 (Regional EF) を算出した。なお対象 6 例の胸痛発作より検査までの期間は平均 4.3 \pm 1.3 日 (3~6 日; 不明 2 例), peak-CPK は 1,743.0 \pm 1,784.4 (343~5,200) IU/l であった。

III. 結果

SIM-400 の心機能測定精度および再現性

SIM-400 にて算出した LVEF (=x) は, MUGA にて算出した LVEF (=y) との比較では回帰直線 $y=0.88x+4.49$, 相関係数 $R=0.95$ ($n=25$), LVG にて算出した LVEF (=y) との比較でも $y=0.93x+2.98$, $R=0.89$ ($n=15$) と良好な相関を示した⁴⁾。また SIM-400 にて算出した LVEDV (=x) と LVG にて求めた LVEDV (=y) との比較でも $y=1.17x-13.44$, $R=0.73$ ($n=15$) と比較的良好な相関が得られた (Fig. 1)。つぎに LVEF 解析値をもとに行った再現性評価であるが, 2 名の検者が処

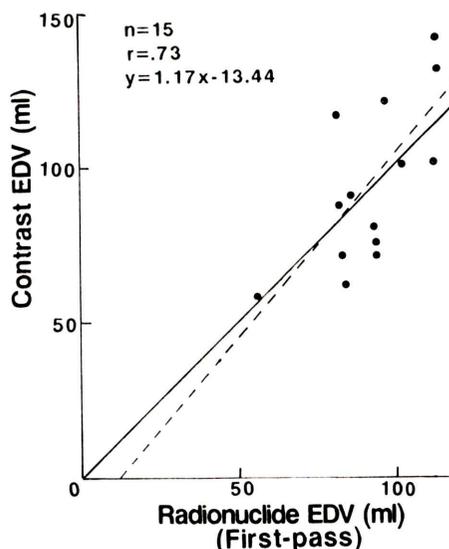


Fig. 1 Comparison of LVEDV calculated from radio-nuclide and contrast ventriculography.

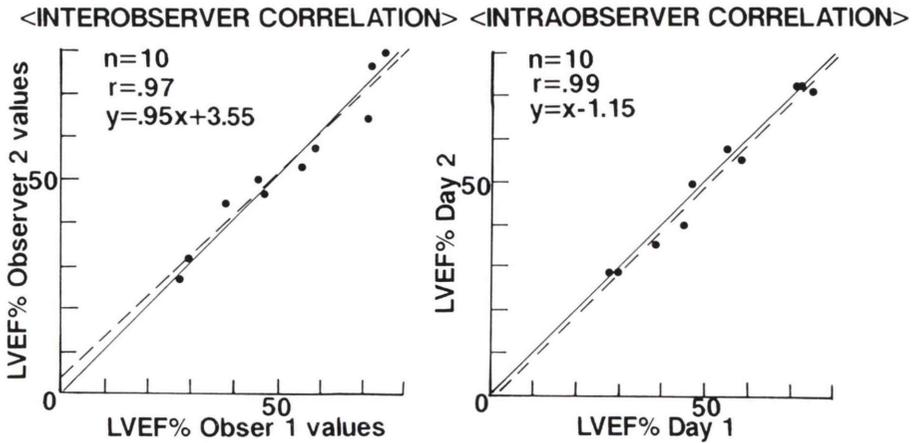


Fig. 2 Reproducibility of measurements of LVEF from first-pass radionuclide ventriculography.

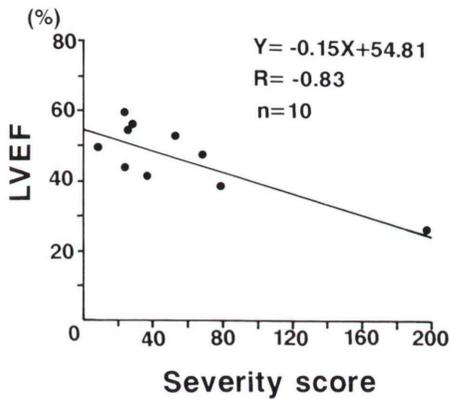


Fig. 3 Simple correlation of severity score from SPECT image and LVEF obtained from first-pass radionuclide ventriculography with ^{99m}Tc -MIBI at exercise.

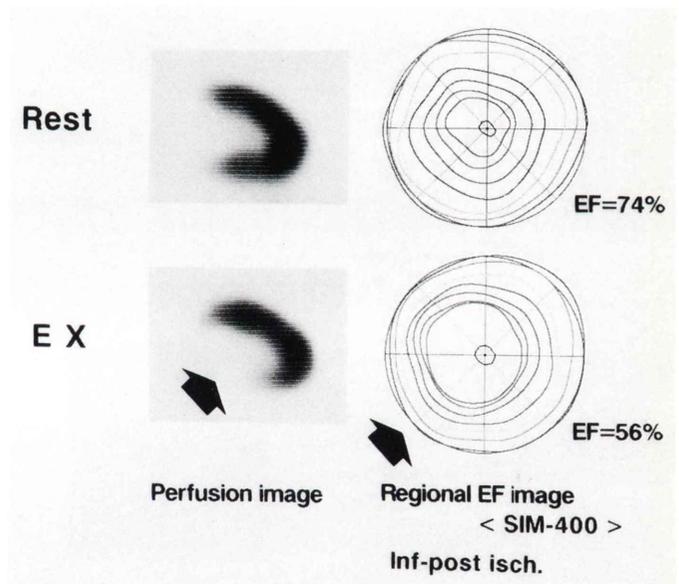


Fig. 4 Simultaneous assessment of myocardial perfusion and left ventricular function with ^{99m}Tc -MIBI; patient with effort angina pectoris (RCA+LCX). Regional EF image shows hypokinesis in myocardial perfusion defect area (inferoposterior wall) at exercise study.

No.	Case	Age/Sex	Peak-CPK (IU/l)	Days from the onset	Tc-99m-PYP scinti		FPRA(SIM-400)	
					(A N T)	(LA045)	LVEF(%)	R-EF (XR-EF)
1	N.Y	43/M	1689	3 days			56.0	47.0 (92.7)
2	N.Y	62/M	748	3 days			75.7	(-)
3	N.S	79/M	—	—			42.6	40.9 (89.5)
4	T.K	77/M	735	6 days			55.0	47.2 (86.3)
5	O.H	46/M	5200	5 days			55.6	40.3 (83.3)
6	S.I	62/F	343	—			64.7	(-)

Fig. 5 ^{99m}Tc-pyrophosphate scintigraphic findings and left ventricular function by SIM-400.

■; hot activity region, —; unknown
 FPRA=first-pass radionuclide cardioangiography
 R-EF=regional LVEF of hot activity area

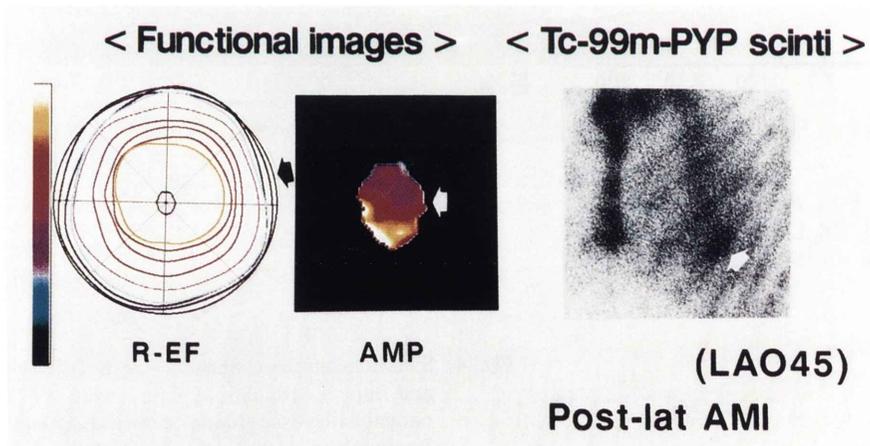


Fig. 6 ^{99m}Tc-pyrophosphate scintigraphy with left ventricular functional images by SIM-400; patients with posterolateral acute myocardial infarction.

Functional images show slight hypokinesia in hot activity area (posterolateral wall) by Tc-99m-PYP scintigraphy.

R-EF=regional LVEF image, AMP=amplitude image

理した LVEF 値の比較では $y=0.95x+3.55$, $R=0.97$ ($n=10$), 同一検者が処理した 2 度の LVEF 値の比較でも $y=x-1.55$, $R=0.99$ ($n=10$) と非常に良好な相関が得られ, 優れた再現性が示された (Fig. 2).

^{99m}Tc-MIBI による心筋灌流, 心機能同時評価

運動負荷時の心筋 SPECT より算出した severity score (=x) と最大負荷時の LVEF (=y) との比較では回帰直線 $y=-0.15x+54.81$, 相関係数 $R=-0.83$ ($n=10$) と良好な逆相関が得られた (Fig. 3).

【症例呈示】

74歳, 女性. 右冠動脈, 左回旋枝に有意狭窄を有する労作性狭心症例である. 安静時に ^{99m}Tc-MIBI 555 MBq (15 mCi) を投与し, 同時に SIM-400 によりファーストパスデータを収集 (正面像), 投与後 3 時間にて心筋 SPECT 収集を行った. 後日, 運動負荷時に ^{99m}Tc-MIBI 555 MBq (15 mCi) を投与し, 同様にファーストパス (SIM-400), SPECT 収集を行った. 安静時の心筋イメージには明らかな灌流欠損域はみられず, SIM-400 にて算出した LVEF は 74%, Regional EF イメージにおいても asynergy は認められない. これに対し, 運動負荷時の心筋イメージでは下後壁に灌流欠損を認め, LVEF も 56% と低下. Regional EF も下後壁にて 43.1% と有意な低下を認めた (Fig. 4).

^{99m}Tc-PYP 投与による心筋梗塞部心機能評価

^{99m}Tc-PYP シンチグラフィを施行した 6 例のうち, 3 時間後像にて有意な (梗塞部) 陽性描出を 4 例に認めた (PYP +). SIM-400 にて算出した LVEF は, 全 6 例では 58.3 ± 11.1 (%) と正常範囲内であり, (PYP +) 4 例でも 52.3 ± 6.5 (%) と軽度の低下のみであった. しかし PYP 心筋シンチグラフィにて陽性描出がみられた領域の Regional EF は 43.9 ± 3.8 (%) と有意な低下を示し, 対側 (健常側) 壁の Regional EF に対する比率 (%Regional EF) は 91.0 ± 6.3 (%) であった (Fig. 5).

【症例呈示】

43歳, 男性, 胸痛発作後 3 日目. max-CPK は

1,689 と上昇したが, 心電図, 心エコーにて梗塞部位を同定できなかった. ^{99m}Tc-PYP 投与によるファーストパス法 (SIM-400) にて左前斜位 45 度より解析した LVEF は 56% と正常域であったが, Regional EF は後側壁にて 47% と軽度に低下, Amplitude image でも同部位の function 低下を示唆した. 投与後 3 時間にて撮像した ^{99m}Tc-PYP 心筋 image でも後側壁に陽性描出を認め (Fig. 6), 後日施行した ²⁰¹Tl 心筋シンチグラフィでも同部位に灌流欠損域を認めた.

IV. 考 察

多結晶型ガンマカメラ (オートフルオロスコープ) は 1962 年 Bender, Blau によって考案された装置であり, Baird Atomic 社より System 77 として市販されている. 多数のクリスタルより構成された多結晶型ガンマカメラは, dead time が短く, 最高計数率が高いため, テクネチウム製剤のポーラス注入によるファーストパス法に適しており, 本邦においても system 77 を用いたファーストパス法による心機能解析の報告が散見される^{7,8)}. 本研究にて, 著者らが使用した SIM-400 と従来機種 (system 77) との相違点として軽量化, 据置型から可動型への改良, 計数率特性の上昇などが挙げられるが⁹⁾, 臨床とくによく有用なのはソフトウェアパッケージの改良である. マッキントッシュ II を用い, 左室容量曲線に基づく左室収縮期・拡張期指標, 左室容積, 心拍出量のほかに, Phase image, Amplitude image 等がおよそ 5 分間の処理にて解析できる. また新たに Background 処理機構も備わったため, first injection の影響が軽減され, テクネチウム複数回投与による心機能解析が可能になった⁹⁾. 従来より核医学的手法を用いた運動負荷時心機能解析としてアンガー型カメラを用いた負荷心プールシンチグラフィが行われている. しかし従来法では 1 stage あたり 2~3 分間のデータ収集が必要であるため, 得られたデータはその時間域の平均に過ぎず, 体動などの要素も加わるため, 解析値の信頼性の低下は否定できない. また携帯型 RI 心機能測定装置

(VEST)も経時的心機能評価に用いられているが、通常使用されている sampling interval は 50 msec と比較的長く、心拍数増加に伴う時間分解能の追従低下が生じる¹⁰⁾。さらに VEST は局所の心機能評価ができないという欠点を有する。これに対し、SIM-400 の sampling interval は最短 10 msec に設定でき、データ収集も約25秒間である。また Background 処理機構も備わったため、安静時、運動負荷時さらには負荷後の信頼性の高い局所心機能指標を得ることが可能である。本研究で行った SIM-400 の心機能測定精度評価においても LVEF 解析値は MUGA, LVG により算出した LVEF と高い相関を示し、再現性に関しても優れた結果が得られた。つぎに SIM-400 にて算出した LVEDV であるが、LVG にて算出したそれとは $R=0.73$ と比較的良好的な相関が得られたものの、ややばらつきが目立つ (Fig. 2)。SIM-400 による心室容量算出は Area-length 法を用いており、本検討では正面像よりの解析を行ったため、正確な左室長軸長とは異なり容量を過小評価する例も存在する。また逆に左室とカメラ間の距離の要素が加わるため、心横位などの左室形態、被験者の体厚等により、とくに心基部近傍の散乱領域(イメージのぼけ)を心室として認識し、若干過大評価する症例の存在も考えられ、心室容量に関しては、撮像方向、被験者の体格などによる補正が必要と思われる。臨床応用に関しては、新しい心筋血流トレーサである $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ あるいは $^{99m}\text{Tc-Teboroxime}$ (SQ-30217) を用いた心機能、心筋灌流同時評価が秀逸である^{11,12)}。本研究にて行った LVEF (心機能) と severity score (心筋灌流低下度) の比較では $R=-0.83$ と良好な逆相関が得られ、心筋灌流低下部位の機能低下が示された。本検討においては対象の10例中8例が狭心症例であったため運動負荷時のみの評価を行ったが、慢性期の心筋梗塞例に限れば安静時、運動負荷時ともに良好な逆相関が得られると思われる。また急性期心筋梗塞に対する SIM-400 を用いた同時評価法は、心筋灌流と心機能の discrepancy (例えば well perfused asynergy の状態) を捉えることが可

能であり、stunned myocardium などの診断、経過観察に有用であると考ええる。また $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ は $^{201}\text{TlCl}$ と異なり、有意な経時的 washout は示さないとされ¹³⁾、冠動脈疾患の検出においては washout rate などの情報はなく、視覚的心筋血流情報のみ限定される。このため washout rate に代わる補助的指標としての心機能評価の重要性は増す。植原らも、運動負荷 $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ 心筋シンチグラフィにおける冠動脈疾患とくに多枝障害例の検出に、SIM-400 を用いた心機能解析の有用性を報告している¹⁴⁾。つぎに $^{99m}\text{Tc-PYP}$ シンチグラフィに関してであるが、林田らはアンガー型カメラを用いたファーストパス法を併用し、その心機能評価の有用性を述べている¹⁵⁾。 $^{99m}\text{Tc-PYP}$ スキャンは急性期の心筋梗塞部検出に用いられているが、PYP シンチの有効期間は限られており(発症後3日～約10日目)、血流が極端に低下している梗塞巣には陽性描出がないため、梗塞部の障害程度を必ずしも摂取度が反映しない¹⁶⁾。それゆえ同時に行う心機能評価は有用であり、SIM-400 を用いれば2～3方向よりの良好な心機能イメージを得ることができる。

今後新しい心筋製剤の開発などにより、心臓核医学検査法も多岐にわたることが予測され、多結晶型ガンマカメラ SIM-400 を用いた心機能解析は広く臨床応用が可能であると思われる。

謝辞：多結晶型ガンマカメラ SIM-400 を提供していただいた株式会社日商メディ・サイエンスに深謝いたします。

文 献

- 1) Scholz PM, Rerych SK, Moran JF, et al: Quantitative radionuclide angiocardiology. *Cathet Cardiovasc Diagn* 6: 265-283, 1980
- 2) Schad N, Nickel O: Assessment of ventricular function with first-pass angiocardiology. *Cardiovasc Radiol* 2: 149-160, 1979
- 3) Dymond DS, Elliott A, Stone D, et al: Factors that affect the reproducibility of measurements of left ventricular function from first-pass radionuclide ventriculograms. *Circulation* 65: 311-322, 1982
- 4) 西村恒彦, 汲田伸一郎, 下永田剛, 他: 新しい多結

- 晶型ガンマカメラ (SIM-400) を用いた心機能解析.
映像情報 **22**: 1209-1216, 1990
- 5) 片淵哲朗, 西村恒彦, 植原敏勇, 他: ^{201}Tl 心筋 SPECT 展開図表示を用いた冠動脈支配領域の定量的解析法と画像表示法の開発 (第 1 報)——基礎的検討——. 核医学 **27**: 569-577, 1990
 - 6) Parkey RW, Bonte FJ, Meyer SL, et al: A new method for radionuclide imaging of acute myocardial infarction in humans. *Circulation* **50**: 540-546, 1974
 - 7) 鈴木 豊, 池井勝美: ラジオアイソトープによる動態検査法. 呼と循 **24**: 693, 1976
 - 8) 二谷立介, 瀬戸 光, 山西潤一, 他: 多結晶型ガンマカメラを使用した第 1 回循環時法による左室位相解析——統計精度および再現性の検討——. 核医学 **20**: 1155-1162, 1983
 - 9) 岡 尚嗣, 西村恒彦, 汲田伸一郎, 他: 多結晶型ガンマカメラ (SIM-400) による RI 心機能検査——心動態ファントムを用いた検討——. 核医学 **28**: 1193-1198, 1991
 - 10) 汲田伸一郎, 西村恒彦, 林田孝平, 他: 携帯型 RI 心機能測定装置 (VEST) における時間分解能の補正——拍動型心臓ファントムを用いた検討——. 核医学 **27**: 809-814, 1990
 - 11) Meyer JV, Mena I, Narahara KA: Simultaneous assessment of left ventricular wall motion and myocardial perfusion with technetium-99m-methoxy isobutyl isonitrile at stress and rest in patients with angina: Comparison with thallium-201 SPECT. *J Nucl Med* **31**: 457-463, 1990
 - 12) Baillet GY, Mena IG, Kuperus JH, et al: Simultaneous technetium-99m MIBI angiography and myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* **30**: 38-44, 1989
 - 13) Wackers FJT, Berman DS, Maddahi J, et al: Technetium-99m hexakis 2-methoxyisobutyl isonitrile: Human biodistribution, dosimetry, safety, and preliminary comparison to thallium-201 for myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* **30**: 301-311, 1989
 - 14) 植原敏勇, 西村恒彦, 汲田伸一郎, 他: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI を用いた運動負荷心筋シンチグラフィによる冠動脈病変診断 (核医学投稿中)
 - 15) 林田孝平, 西村恒彦, 植原敏勇, 他: ファーストパス法を併用した $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ピロリン酸心筋シンチグラフィによる急性心筋梗塞巣の検出と心機能評価. 核医学 **21**: 1569-1577, 1984
 - 16) Berman DS, Mason DT: *Clinical Nuclear Cardiology*. Grune and Stratton, 1981