虚血性心疾患診断における運動負荷²⁰¹Tl心筋single photon emission computed tomography (SPECT) の有用性と限界

三重大学医学部第一内科 (主任 竹沢英郎教授)

二神 康夫

USEFULNESS AND LIMITATION OF STRESS ²⁰¹Tl MYOCARDIAL SINGLE PHOTON EMISSION COMPUTED TOMOGRAPHY (SPECT) FOR DIAGNOSIS OF ISCHEMIC HEART DISEASE

Yasuo FUTAGAMI, MD

The First Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Mie University, Tsu
(Director: Prof. Hideo Takezawa)

概要 運動負荷²⁰¹Tl心筋SPECTの虚血性心疾患 (IHD) 診断における有用性と限界について、IHD 123例、対照15例を対象に検討した。SPECTはplanar法に比べIHD診断率 (96% : 89%, $p < 0.01$)、個々の罹患冠動脈の検出率 (左前下行枝84% : 68%, $p < 0.005$, 左回旋枝60% : 47%, NS, 右冠動脈88% : 69%, $p < 0.01$)、多枝病変 (左前下行枝+左回旋枝and/or右冠動脈) 検出率 (53% : 31%, $p < 0.025$)、三枝病変検出率 (60% : 13%, $p < 0.005$) を有意に向上させ、さらに、中隔と側壁のなす角度の心尖部へ向かつての開大と、広範な前壁側の欠損および内腔拡大所見により心室瘤の検出も可能とした (sensitivity 94%, specificity 84%)。一方診断精度は梗塞例に比べ狭心症例で、一枝病変に比べ多枝病変で、狭窄の高度なものに比べ軽度なもので、後下壁梗塞、前壁+後下壁梗塞に比べ前壁梗塞で低下した。梗塞部位での一過性虚血 (前壁梗塞36%, 後下壁梗塞24%) と心室瘤 (前壁梗塞21%, 後下壁梗塞0) の存在は、梗塞例での多枝病変検出を困難とする因子と考えられた。以上より、運動負荷²⁰¹Tl心筋SPECTはIHDの検出、個々の罹患冠動脈の検出、多枝病変の検出 (特に後下壁梗塞、前壁+後下壁梗塞)、三枝病変の検出、心室瘤の検出に有用な非侵襲的検査法であるが、前壁梗塞例、狭心症例における多枝病変検出には限界があると考えられた。

I. 緒 言

従来、RI画像は光子数が乏しく、解像度の劣るあいまいな画像であると言われていた。しかし、種々の断層法の開発、特に回転型 γ -カメラを用いたsingle photon emission computed tomography (SPECT) の出現により、前後の重なりをさけ、コントラストを向上させ、鮮明で客観性の高い画像描出が可能となつた。

我々も、虚血性心疾患 (IHD) 診断¹⁾²⁾や特発性

心筋症診断³⁾における²⁰¹Tl心筋SPECTの有用性について検討を重ねてきたが、今回IHD診断における本法の有用性と限界、および診断精度に影響をおよぼす諸因子について検討したので報告する。

II. 対 象

対象は、選択的冠動脈造影および左室造影を施行した患者138例で、男127例、女11例、平均年齢54.9才である。対象の内訳はTable 1で示しているように、発作後1~3カ月の心筋梗塞 (MI) 93例、MIの既往のない労作性狭心症 (EA) 30例およ

Table 1. Materials

	No.	Male	Female	Age	(mean)
Myocardial infarction	93	87	6	31-69	(55.1)
Effort angina	30	26	4	41-67	(56.2)
Control	15	14	1	38-61	(51.3)
Total	138	127	11	31-69	(54.9)

び冠動脈造影，左室造影で異常の認められない対照15例である。

全例運動負荷²⁰¹Tl心筋シンチグラフィ（負荷心筋シンチ）検査前後34日以内に観血的検査を施行し，この間に狭心痛の増強や左心不全症状は認められていない。

MIの診断は，臨床症状，血清酵素の上昇，心電図変化によりおこない，MI例，EA例はともに主要冠動脈の一枝以上に有意な器質的狭窄性病変（75%以上）を有するものである。

対照例は大部分が非特異的胸痛を訴えるNCA例であるが，運動負荷試験異常精査の1例が含まれている。

III. 方 法

運動負荷方法

既報¹⁾のごとく，坐位自転車エルゴメーターを用い，50Wより開始し，3分毎に25Wずつ負荷量を増す多段階運動負荷を行ない，症状出現時（胸痛，下肢疲労，呼吸困難など）²⁰¹Tl約2.5mCiを急速静注し，さらに1分間の運動を同レベルあるいは10～25W負荷量を減らして続行した。

運動負荷前，負荷中は1分毎，²⁰¹Tl静注時，負荷終了直前，直後および負荷後1分毎に3～8分まで心電図および血圧を記録した。

運動負荷終了後3分の時点で，胸痛が持続している例，あるいは3mm以上のST segment (ST)の低下している例では，危険防止のためisosorbide dinitrate 5mgを舌下投与した。

負荷心電図は電極をMason-Likarの方法をmodifyした位置に置き，I，II，III，aVR，aVL，aVF，V₂，V₅，V₆の9誘導を記録した。

核医学装置およびデータの収集

本研究に用いた装置は，有効視野35cmの回転型

大口径ガンマカメラ2台を対向に装着した東芝製GCA70A-S型SPECT装置とGMS-90データ処理装置である。コリメーターは低エネルギー汎用型を用い，データ収集条件として，中心を80keVに合わせ，ウインド幅を30%とした。

心筋シンチ負荷像（stress image）は，²⁰¹Tl静注10分後よりまずSPECTデータを収集し，引き続きplanar像（PL）を前面，左前斜位45°，左側面の3方向より撮像した。又静注3時間後より再分布像（delayed image）を同様の方法で得た。

SPECTデータは，カメラの回転方式を連続回転とし，1投影データ収集角度4°で，360°方向より，64×64マトリックスに収集した。2台の対向型カメラは，胸郭の周りをそれぞれ180°回転させることにより360°をカバーし，計90の投影データが得られ，収集時間は6分である。一投影データの全カウント数は一般に3～7万カウント（最大で約10万カウント）である。

PLは，画面全体で25～30万カウント（心臓全体で10～12万カウント）を収集した。

SPECTの画像再構成

画像再構成は，Shepp & Loganのフィルターを用いたコンボリューション法で行ない，スライス厚5.4mm又は10.8mmで体軸横断層像（transaxial section: TA）を得，この像を基に体軸矢状（sagittal section: SA）および冠状断層像（coronal section: CO）を再構成した。画像再構成時間は，スライス厚5.4mmの場合，TAで約6分，SA，COを合わせて約2分の計約8分であり，スライス厚を10.8mmにすることにより，約4分で再構成できる。以前はスライス厚5.4mmで処理していたが，現在10.8mmを用いている。

心筋シンチの読影

画像の読影はSPECT，PLともに視覚的評価法により行ない，二人の医師の合議により判定した。Fig 1にSPECTおよびPL画像における心筋各分節と支配冠動脈との関係を示す。前中隔，前壁，前側壁は左前下行枝（LAD），後側壁は左回旋枝（LCX），下壁は右冠動脈（RCA）支配として罹患枝を推定した。後壁はLCX又はRCA支配とし，ま

Fig 1. Schematic representation.

Abbreviations: A=anterior, S=septal, L=lateral, P=posterior, I=inferior, Ap=apical, Ap/I=apical and/or inferior, PS/I=posterosseptal and/or inferior, LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery, LAO=left anterior oblique.

たPLにおける心尖部and/or下壁 (Ap/I) はLADまたはRCA支配としたが、これらの部位の欠損像では罹患枝の決定は行なわなかつた。

三枝病変の判定は、各支配領域にそれぞれ欠損、小欠損、集積低下が認められたとき行ない、circumferential profile法やwash out法などの定量評価は行なわなかつた。

負荷心電図の判定基準

運動によるST低下では、安静時STレベルと比べ、J点から0.08秒時点でのST低下が水平または下行型では0.1mV以上、J型では0.15mV以上を有

意とした。

運動によるST上昇は、J点で測定し、安静時STレベルと比べ0.1mV以上上昇し、0.04秒時点でも持続して上昇の認められるものを有意とした。

ただし、aVR, aVLの変化は除外して判定した。

冠動脈造影、左室造影の方法と判定

Judkins法を用い、冠動脈造影は左右冠動脈をそれぞれ2方向以上から、左室造影は右前斜位30°、左前斜位45~60°の2方向より35mmシネ撮影した。

冠動脈病変の読影はAHA分類に従い、3名の心臓専門医により行ない、内径75%以上の狭窄性病変を有意とした。

ただし、罹患冠動脈数算定には、梗塞責任病変となつている対角枝はLAD、後側壁枝はLCX病変に加えた。又左主幹部病変は、50%以上の狭窄を有意とし、LAD+LCXの2枝病変とした。

梗塞責任冠動脈の決定は、冠動脈造影所見、左室造影所見を対比し、又心電図所見を参考にして行なつた。

統計処理

統計処理は次式を用いて行なつた。

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$\text{Overall accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP}$$

$$\text{Predictive accuracy} = \frac{TP}{TP + FP}$$

(TP: true positive, TN: true negative, FP: false positive, FN: false negative)

有意差検定には、McNemar testまたは χ^2 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

IV. 結 果

(1) IHDの検出

Table 2にIHDの存在診断精度を示す

SensitivityはSPECT対PLで、MI例100%:95%, EA例83%:70%, 全体で96%:89% ($p < 0.01$)と、SPECTはPLに比べIHD診断のsensitivityを有意に向上させた。又、SPECT, PLと

Table 2. Detection of ischemic heart disease.

Abbreviations: MI=myocardial infarction, EA=effort angina, Symptom=chest pain or discomfort at stress test.

No.	sensitivity			specificity
	MI 93	EA 30	Total 123	Control 15
SPECT	100% $\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 83%			87%
Planar	95% $\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 70%			93%
Stress ECG	63%			73%
Symptom	63%			80%

Table 3. Detection of individual coronary arterial lesions in patients with ischemic heart disease by stress TI-201 myocardial scintigraphy (n=123).

Abbreviations: LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery, MI=myocardial infarction, EA=effort angina.

		sensitivity			specificity			overall accuracy		
		No.	SPECT	Planar	No.	SPECT	Planar	No.	SPECT	Planar
LAD	MI	75	87%	$\rightarrow$ p<0.01 $\rightarrow$ 71%	18	89%	78%	93	87%	$\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 72%
	EA	26	77%	62%	4	75%	100%	30	77%	67%
	AII	101	84%	$\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 68%	22	86%	82%	123	84%	$\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 71%
LCX	MI	44	68%	50%	49	90%	94%	93	80%	73%
	EA	16	38%	38%	14	93%	93%	30	63%	63%
	AII	60	60%	47%	63	90%	94%	123	76%	71%
RCA	MI	52	90%	$\rightarrow$ p<0.05 $\rightarrow$ 75%	41	80%	68%	93	86%	$\rightarrow$ p<0.01 $\rightarrow$ 72%
				$\rightarrow$ p<0.05 $\rightarrow$			$\rightarrow$ p<0.05 $\rightarrow$			
	EA	7	71%	29%	23	96%	96%	30	90%	80%
	AII	59	88%	$\rightarrow$ p<0.01 $\rightarrow$ 69%	64	86%	78%	123	87%	$\rightarrow$ p<0.005 $\rightarrow$ 74%

もにEA例に比べMI例で有意にsensitivityが向上した (p<0.005). 一方, EA診断における負荷心電図のsensitivityは63%(ST低下18例, ST上昇1例), 臨床症状出現(胸痛又は胸部不快感)は63%であった.

SpecificityはSPECT対PLで87%:93%と有意差は認めなかった.

SPECTで偽陽性となった2例は, いずれも下壁の集積低下をIHD所見と誤読した例であった.

(2) 個々の罹患冠動脈の推定

Table 3に心筋シンチ負荷像のsegmental analysisにより, 75%以上の狭窄性病変を有する罹患

冠動脈を推定した結果を示す.

LAD, LCX, RCA病変検出のsensitivityは, SPECT対PLでそれぞれMI例87%:71% (p<0.01), 68%:50%(NS), 90%:75%(p<0.05), EA例77%:62%(NS), 38%:38%(NS), 71%:29%(NS)とPLに比べSPECTで優れた結果が得られ, 特にSPECTはMI例におけるLADとRCA病変検出のsensitivityを有意に向上させた. Specificityに関しては, SPECTとPLの間に有意差は認めなかった.

MI例とEA例での罹患冠動脈推定成績の違いに関しては, SPECTはMI例で全体的にsensitivity

Table 4. Correlation between SCA findings and stress TI-201 myocardial scintigraphic findings.

Abbreviations: SCA=selective coronary arteriography, LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery, MI=myocardial infarction, EA=effort angina, * = $p < 0.025$

Scintigraphic findings (defect site)		SCA findings									
		Normal 15	LAD disease			LCX and/or RCA disease			LAD+ LCX and/or RCA disease		
			MI 29	EA 10	AII 39	MI 18	EA 4	AII 22	MI 46	EA 16	AII 62
No defect	SPECT	87%	0	20%	5%	0	0	0	0	19%	5%
	Planar	93%	3%	20%	8%	17%	50%	23%	2%	31%	10%
LAD region	SPECT	0	90%	80%	87%	0	0	0	20%	44%	26%
	Planar	0	76%	80%	77%	0	0	0	26%	25%	26%
LCX and/or RCA region	SPECT	13%	3%	0	3%	89%	75%	86%	20%	6%	16%
	Planar	7%	3%	0	3%	61%	50%	59%	39%	19%	34%
LAD+ LCX and/or RCA regions	SPECT	0	7%	0	5%	11%	25%	14%	61%	31%	53%
	Planar	0	17%	0	13%	22%	0	18%	33%	25%	31%

Table 5. Detection of three vessel disease by stress TI-201 scintigraphy.

Abbreviations: MI=myocardial infarction, EA=effort angina.

No.	sensitivity			specificity			predictive accuracy		
	MI 27	EA 3	AII 30	MI 66	EA 27	AII 93	MI	EA	AII
SPECT	63%	33%	60%	95%	96%	96%	85%	50%	82%
	$p < 0.005$		$p < 0.005$						
Planar	11%	33%	13%	97%	100%	98%	60%	100%	67%

の向上が認められたが、有意差は認めなかった。一方PLでは、MI例においてRCA病変検出のsensitivityは有意に向上したが、specificityは有意に低下した。

(3) 多枝病変および三枝病変の検出

(a) 選択的冠動脈造影所見と心筋シンチ所見との対比

対象者138例を、選択的冠動脈造影所見より、正常群 (n=15), LAD病変群 (n=39), LCX and/or RCA病変群 (n=22) およびLAD+LCX and/or RCA病変群 (n=62) の4群に分類して、負荷心筋シンチ所見と対比した結果をTable 4に示す。

MI例におけるLAD病変の検出およびLCX and/or RCA病変の検出、すなわち梗塞責任冠動脈の検出においては、SPECT, PLともにすぐれた

成績が得られた。一方LAD+LCX and/or RCAの多枝病変正診率は、SPECT対PLで、MI例61% : 33% ($p < 0.01$), EA例31% : 25% (NS) と低値を示した。しかし、多枝病変 (LAD+LCX and/or RCA) 検出のpredictive accuracyは、SPECT対PLでMI例88% (28/32) : 100% (15/15), EA例83% (5/6) : 100% (4/4), 全体で87% : 100% と良好な成績が得られた。

(b) 三枝病変の検出

前述のLAD+LCX and/or RCA病変例62例中、二枝病変例は32例、三枝病変例は30例であったが、特に予後不良と考えられている三枝病変の検出率について検討した結果をTable 5に示す。三枝病変検出のsensitivityはSPECT対PLで60% : 13% ($p < 0.005$) であり、SPECTはPLに比べ有意にsensitivityを向上させた。specificityおよび

Table 6. Sensitivity for the detection of affected vessel, responsible for the infarction (LAD+LCX and/or RCA disease: n=46)

Abbreviations: LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery, A-MI=anterior myocardial infarction, PI-MI=postero-inferior myocardial infarction, +=detected, -=not detected.

	SPECT Planar	+	+	-	-	sensitivity	
		+	-	+	-	SPECT	Planar
A-MI (n=14)	LAD	14	0	0	0	100%	100%
	LCX or RCA	3	2	1	8	36%	29%
PI-MI (n=26)	LAD	5	13	1	7	69%	23%
	LCX or RCA	25	1	0	0	100%	96%
A+PI-MI (n=6)	LAD	6	0	0	0	100%	100%
	LCX or RCA	6	0	0	0	100%	100%

Table 7. Correlation between infarct site and reversible defect pattern in patients with previous myocardial infarction. (LAD+LCX and/or RCA disease without anterior+postero-inferior infarction: n=40)

Abbreviations: MI=myocardial infarction, LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery.

Anterior MI (n=14)	Reversible defect(+)	10(71%)	LAD region	5(36%)
	Reversible defect(-)	4(29%)	LCX and/or RCA region	5(36%)
Postero-inferior MI (n=26)	Reversible defect(+)	20(77%)	Ventricular aneurysm	3(21%)
			Poor delayed image	1(7%)
	Reversible defect(-)	6(23%)	LAD region	14(54%)
			LCX and/or RCA region	6(24%)
			Permanent defect in LAD region with permanent postero-inferior defect	4(15%)
			Only postero-inferior permanent defect	1(4%)
			Poor delayed image	1(4%)

predictive accuracyに関しては有意差は認めなかつた。

(c) 梗塞部位と多枝病変の検出

MI例のうち、LAD+LCX and/or RCA病変46例を、前壁梗塞群(A群:n=14)、後下壁梗塞群(PI群:n=26)およびA+PI群(n=6)の3群に分類して梗塞部位が多枝病変検出におよぼす影響を検討した(Table 6)。

前壁梗塞はLAD、後下壁梗塞はLCXまたはRCA病変でおこるとしたとき、SPECT、PLともに梗塞責任冠動脈の推定では、sensitivityは100%に近く両者間に有意差は認めなかつた。一方A群における後下壁病変(LCXまたはRCA)検出の

sensitivityは、SPECT 36%、PL 29%と非常に低かつた。PI群における前壁病変(LAD)の検出では、SPECT 69%、PL 23%($p<0.005$)とSPECTで有意な向上が認められた。

(d) 梗塞部位別のreversible defect pattern

前述したように、SPECTにおいてもA群における後下壁病変の検出率は36%と低く、この原因を明らかにするため、梗塞部位別にreversible defect patternを検討した結果をTable 7に示す

Reversible defectの出現頻度はA群71%、PI群77%と大差は認められなかつた。しかし、A群ではreversible defectの認められた10例中5例がLAD領域すなわち梗塞部と同一冠動脈支配領域であ

Table 8. Detection of ventricular aneurysm in patients with anterior myocardial infarction (n=48).

Abbreviations: LVG=left ventriculography, A(3)=akinesis in more than 3 segments, D(1)=dyskinesis in one segment, D(2)=dyskinesis in more than 2 segments (include ventricular aneurysm), positive =aneurysmal findings by SPECT, negative=no aneurysmal findings by SPECT, (aneurysmal findings by SPECT=widening of the angle composed between septal and lateral walls toward apex in transaxial images & large left ventricular cavity).

		LVG findings						Sensitivity	Specificity	Predictive accuracy
		No.	Others	A(3)	D(1)	D(2)				
Stress ECG	ST↑(+)	28	2	5	7	14	88%	56%	50%	
	ST↑(-)	20	9	4	5	2				
SPECT	Positive	20	1	2	2	15	94%	84%	75%	
	Negative	28	10	7	10	1				

り、多枝病変の検出ができたのは残り5例のみであった。又、reversible defectの認められなかつた4例中3例は広範な前壁側の欠損を伴う心室瘤例であった。一方、PI群でreversible defectの認められた20例中14例はLAD領域で、多枝病変と診断できた。さらに、reversible defectの認められなかつた6例中4例は、左室造影および心電図所見より考えて梗塞部とは違うと考えられた前壁側に持続的集積低下が認められ、LAD病変が指摘できた例であった。

(4) SPECTによる心室瘤の検出

今回の検討では、心室瘤 [=D(2)] は前壁梗塞例に限られていたため、前壁梗塞例のみを対象とし、左室造影所見により、2 segments以上に dyskinesisを有する(心室瘤を含む)D(2)、1 segmentに dyskinesisを有するD(1)、3 segments以上に akinesisを有するA(3)およびそれ以外の4つに分類して、SPECT所見と負荷心電図での運動によるST上昇と対比検討した (Table 8)。

Fig 2に示すように、体軸横断々層像において、中隔と側壁のなす角度の心尖部へ向かつての開大および広範な前壁側の欠損と内腔の拡大をSPECTでの心室瘤 [=D(2)] 所見とした。

Table 8で示すように、ST上昇はA(3)、D(1)、D(2)の高度壁運動異常例で出現率が高いが、D(2)のみに限った心室瘤の検出では、sensitivityは88%と高いものの、specificity 56%, predictive

Fig 2. Comparison of SPECT images in anterior infarction with and without ventricular aneurysm. Extensive anterior defect, marked left ventricular dilatation and the angle composed between septal and lateral walls toward apex in transaxial images are characteristic findings in cases with ventricular aneurysm (including the patients with dyskinesis in more than 2 segments).

accuracy 50%と低値であった。一方、SPECTによる心室瘤の検出ではsensitivity 94%, specificity 84%, predictive accuracy 75%と良好な成績が得られた。

(5) 症例呈示

症例1. 38才, 男, 正常者。

Fig 3に正常者の3断層, 全スライス(1スライス=5.4mm)を示す。明らかな灌流欠損は認められないが、前壁側に比べ下壁側ではやや集積低下所見が認められる。

症例2. 68才, 男, 下壁梗塞(三枝病変)

Fig 3. Normal SPECT images from case 1, a 38 year-old male.

No perfusion defect is recognized but inferior perfusion is decreased compared with anterior perfusion.

Fig 4. SPECT images from case 2, a 68 year-old male with inferior infarction.

In delayed images, perfusion defects in inferior wall are depicted and additional perfusion defects in anterior and posterior-posterolateral walls are recognized in stress images indicated by arrows. These findings are compatible with diagnosis of inferior infarction with stress-induced ischemia in anterior and posterior-posterolateral wall caused by three vessel disease.

Abbreviations: TA=transaxial, SA=sagittal, CO=coronal.

Fig 4に本例のSPECTを示す。Stress imageで下壁の欠損および前壁、後側壁の集積低下が明らかである。delayed imageでは、前壁、後側壁は正常となっているが、下壁の欠損は持続している。選択的冠動脈造影で、LAD 75%, LCX 90%, RCA 99%の狭窄が認められた。本例はSPECTにより正しく三枝病変が診断できた例である。

症例3. 56才, 男, 広範前壁梗塞(三枝病変)

Fig 5に本例のSPECT所見を示す。stress imageで、前壁中隔の欠損に加え、下壁の欠損および後側壁～後壁の集積低下が明らかである。delayed imageでは、下壁の集積はかなり改善しているが、前壁、中隔は欠損が持続し、後側壁は集積低下のままである。又、左室内腔の著明な拡大が認められ、左心機能の低下が疑われる。左室造影より計算した駆出率は20%であつた。

梗塞部の欠損像に加え、他部位での著明な集積低下の認められる例(三枝病変の一部)では、本例のように劣化画像が得られることがある。

V. 考 案

IHD患者における ^{201}Tl 心筋シンチの有用性を考える場合、MI患者においては一般に診断そのものが問題になることは少なく、心筋シンチに期待することは、

Fig 5. SPECT images from case 3, a 56 year-old male with extensive anterior infarction.

In delayed images, extensive anterior defect are depicted and additional perfusion defects in inferior wall are recognized in stress images. Posterolateral perfusion is also decreased in both stress and delayed images and left ventricular cavity is large, however, signs for aneurysm were not seen. These findings are compatible with diagnosis of extensive anterior infarction caused by three vessel disease. Large left ventricular cavity suggests poor left ventricular function (EF=0.20).

In patients with three vessel disease, poor SPECT images are sometimes obtained.

Abbreviations: TA=transaxial, SA=sagittal, CO=coronal.

(1) 梗塞巣の視覚的描出および梗塞部位、大きさの評価

(2) 残存心筋と一過性虚血部位の検出

(3) 多枝病変の検出

などである。一方、EA、非特異的胸痛を訴える患者および心電図異常が認められる患者などにおいては、(1) IHDが存在するかどうか、(2) 存在すれば、どの冠動脈の病変か、又一枝病変か、多枝病変か、などが問題となる。

さらに上記所見を用い、同一患者における治療前後の比較(冠拡張剤などの薬物の効果判定、A-C bypass術後の評価など)や、PTCR施行例と非施行例における比較検討などにも応用されている。

IHDの診断率

MI例では、IHD診断のsensitivityはSPECTで100%、PLで95%と良好な成績が得られている。PLで虚血(梗塞)巣の検出できなかった5例中4

例は下壁梗塞(RCA一枝病変3例、三枝病変1例)であり、PLは特に下壁病変の検出が悪い。

MIの既往がなく、IHDが疑われた患者における診断精度は、負荷心電図に比べ負荷心筋シンチ(PL)でやや優れた成績が報告⁴⁾⁵⁾されている(負荷心電図対PLでsensitivity 65~74%・76~87%, specificity 70~84%:89~92%)。

今回の検討におけるPL、負荷心電図の成績も従来の報告と同様であったが、SPECTはPLに比べやや優れた結果が得られている。したがって、SPECTは、MI例、EA例ともにsensitivityが少しずつ上昇しており、IHD全体では推計学的に有意に診断率を向上させている(96%:89%, $p < 0.01$)。

一方、MIとEAでの診断率の差では、SPECT、PLともにMI例で有意にsensitivityの向上が認められている($p < 0.005$)。

Massieらは、病変検出のsensitivityはMI例で94%、EA例で84%と報告⁶⁾しており、梗塞を伴わないIHDの診断率は、梗塞を伴った場合よりも低下すると考えられる。このことは、MI例においては必ず虚血（あるいは梗塞）部位が存在するのに対し、EA例では検査時虚血が誘発されていない可能性もあり当然の結果と考えられる。又、小さな虚血巣は検出できないというMuellerらの報告⁷⁾からも推測できることである。

いずれにしても、SPECTはPLに比べIHDの診断率を有意に向上させるものであり、梗塞の合併の有無は診断率に影響を与える大きな因子の一つである。

個々の罹患冠動脈の推定

Lenaersらの報告⁸⁾以来、心筋シンチのsegmental analysisにより罹患冠動脈を推定する試みが数多くなされ、病変検出のsensitivityは、従来のPLにおいて、LAD、LCX、RCAの順に、視覚的評価法⁶⁾⁹⁾¹⁰⁾でそれぞれ56~78%、21~45%、50~73%、半定量的評価法⁸⁾で84%、49%、79%、定量的評価法¹⁰⁾¹¹⁾で80~95%、63~85%、75~94%と報告されている。一方、SPECTにおいては、それぞれ76~90%、63~69%、83~93%とPLの定量的評価とほぼ同等の成績が得られている¹⁾²⁾¹²⁾¹³⁾

今回の検討においても、以前報告¹²⁾した成績とほぼ同等の結果が得られ、SPECTはPLに比べ、MI例およびIHD全体におけるLAD、RCA病変検出のsensitivityを有意に向上させている（ $p < 0.005$, $p < 0.01$ ）。MI例におけるLADのsensitivityの有意な向上は、PLでの多枝病変例におけるsensitivityの低下に起因し、RCAのsensitivityの有意な向上は、一枝病変、多枝病変例ともにSPECTがPLより少しづつ優れた成績を示したためであり、又SPECTにおいても、多枝病変例で罹患冠動脈検出のsensitivityが低下する傾向にあることは既に報告²⁾した。

一方、MIの合併の有無による罹患冠動脈検出成績の違いについての検討では、SPECTはMI例でLAD、LCX、RCA全体でsensitivityが高い傾向にあるが、統計学的有意差は認められない。しかし、

PLにおいては、RCA病変検出のsensitivityは、EA例と比べMI例で有意に高いものの、specificityは有意に低下している。

以上より、罹患冠動脈検出成績に影響を与える因子として、患者が一枝病変か多枝病変か、MIを合併しているかしていないかが、重要な因子である。

さらに、今回の成績には示していないが、Rigoらの報告⁹⁾でもみられるように、当然の結果として冠動脈の狭窄の程度の強いものほど検出率はよくなってくる。

多枝病変、三枝病変の検出

心筋シンチを用い、IHD患者が一枝病変か多枝病変かを推定する場合、PLにおいてMcKillopらは、IHD診断に関しては有用であるが、多枝病変検出は困難と報告¹⁴⁾しており、又Bergerらは視覚的評価法で39%、定量的評価法で78%に多枝病変検出が可能であつたと報告¹⁵⁾している。

一方、冠動脈分布のvariationのため、LCX病変とRCA病変を明確に鑑別することは難かしく、特にLCXの一枝病変かLCX+RCAの二枝病変かの鑑別は困難である²⁾。後側壁の欠損はLCX病変が存在することを示し、下壁のみの欠損はRCA病変例に多いが、後側壁+下壁の欠損は、LCX病変単独あるいはLCX+RCA病変のいずれでもおこりえる²⁾。したがって、心筋シンチより罹患冠動脈を推定し、多枝病変を検出する場合、LAD病変群、LCX and/or RCA病変群、LAD+LCX and/or RCA病変群の3群に分類して検討する方が、単に一枝病変、多枝病変に分類して検討するより妥当と考えられ、さらにLAD病変の有無が治療方針や予後に重大な影響をおよぼすことより、より臨床的と思われる。一方、特に予後不良である三枝病変の検出がどの程度できるかということも検討しなければならない。

我々の成績では、SPECTによるLAD+LCX and/or RCA病変検出のsensitivityは53%であり、三枝病変検出は60%であつた。これはPLのそれぞれ31%、13%に比べ有意にsensitivityを向上させるものであるが、BergerらのPLの定量評価によ

る多枝病変検出率78%に比べいくぶん低い値となっている。この原因については明らかでないが、彼らの報告には、個々の罹患冠動脈診断におけるspecificityの記載がなく、又LAD+LCXあるいはLAD+RCA病変をLCX+RCA病変の二枝病変とする場合や、LCX+RCA病変をLAD+LCXまたはLAD+RCA病変、さらには三枝病変と誤読し、多枝病変正診例に含んでいる可能性があり、より綿密な検討が必要と思われる。

多枝病変、三枝病変の検出率がPLに比べSPECTで有意に向上した原因としては次の事が考えられる。すなわち、(1) SPECTは断層表示により、前後の重なりをさけ、比較的細かな病変が認識できる。(2) PLでは、心筋全体で一定カウント数になるまでデータを集収し、収集に要する時間的關係を問題にしていないのに対し、SPECTでは一定時間内(我々は6分)にデータを収集している。などである。

三枝病変例においても、心筋全体が全く均一な血流低下をおこしているとは考えにくく、ある一部は正常血流に近い部分が存在し、相対表示においても判定可能である。一方、梗塞部の欠損像に加え心筋全体としての²⁰¹Tl集積低下のある例(三枝病変例の一部: Fig 5)では、カウント数の不足のため画像の劣化を来し、SPECTの弱点となる。しかし、劣化画像も三枝病変の一つの特徴と思われる。

梗塞部位の多枝病変検出におよぼす影響

Rigoらは、MI患者の検討で、PI-MIに伴うLAD病変の検出は69%と比較的良好であるが、A-MIに伴うLCX and/or RCA病変の検出は8%と不良であつたと報告⁹⁾している。我々の検討では、PI-MIに伴うLAD病変の検出はSPECT 69%, PL 23% ($p<0.005$)であり、A-MIに伴うLCX and/or RCA病変の検出はSPECT 36%, PL 29%であつた。このSPECTの成績はRigoらの成績と類似しているが、PLにおけるPI-MIでのLAD病変検出には大きな違いがある。この原因はLAD病変の判定方法の違い、すなわちRigoらが前面像での心尖部(我々はApical and/or Inferiorと表現)の欠損

をLAD病変としているのに対し、我々はこの部位の欠損では罹患枝を決定しなかつたためと考えられる。彼らも指摘しているように、心尖部の欠損をLAD病変に含めた場合、sensitivityは上昇するが(65%→78%) specificityは低下する(100%→72%)。

我々の検討でも同様の結果であり²⁾、しかも、心尖部の欠損をLAD病変に含めずに検討した場合のsensitivityの低下は、多枝病変例でのLAD病変検出率の低下が主因である。

心尖部、すなわち左室造影上のsegment 3は、一般にLAD支配領域であり、この部の壁運動異常はLAD病変でおこると考えてもよいが、心筋シンチPLにおいては前後の重なりがあり、後下壁梗塞例においても下壁の欠損の延長として心尖部集積低下所見が認められる場合があり、さらに正常例でも灌流欠損として認められることがあるため、必ずしもLAD病変のための集積低下とは言い難い。

前壁梗塞例の場合、心尖部のみに欠損が限局して判定が困難となることは少ないが、運動負荷時の一過性虚血は冠動脈末梢側である心尖部に先に出現する可能性があり、sensitivityは向上する。しかし、前述したようにspecificityが低下し、特に多枝病変かどうかを判定しなければならない例で、前壁、中隔などに欠損がなく、心尖部のみの欠損を示す例が多く、specificityが著しく低下してくると思われる。

以上をまとめると、LAD病変の場合、心尖部に欠損が出現することが多いが、心尖部の欠損はLAD病変がなくても出現するということである。したがって、心尖部の読影に関しては特に慎重に検討しなければならない。

一方、PLにおいても梗塞部位の検出は非常に良好であり、対象中にA+PI MI例が多くなれば、多枝病変正診率が増加する(Table 4, 6)。

MI患者における一過性虚血と多枝病変の検出

多枝病変の検出は、負荷像で2枝以上の冠動脈支配領域に欠損像が存在することによりなされ、一般にはpermanent defectは梗塞、reversible defectは一過性虚血と考えられている。この

reversible defectの出現頻度はA-MI 71%, PI-MI 77%と大差はないが、前述したようにSPECTにおいても、A-MIに伴うLCX and/or RCA病変検出率は悪い。Table 7からも明らかなように、多枝病変の検出ができない原因として、

1) 梗塞領域の一過性虚血の出現、2) 心室瘤の存在、

などが考えられ、LADの支配領域が広いため、A-MIではこれらの頻度が高くなり、多枝病変検出率が低下する。

一方、Leppoら¹⁶⁾、Bergerら¹⁷⁾の報告でもみられるように、再分布像又は安静時画像にみられる欠損は必ずしもMIを示す所見とは限らず、持続的な高度の虚血でも出現する。

我々の症例においても、PI-MI例で再分布が検出できなかった6例中4例は、心電図、左室造影より梗塞部とは異なると考えられた前壁側にも持続欠損が存在し、負荷心電図では3mm以上の著明なST低下が認められた。これらのうち2例にLADへのAC bypassが施行され、前壁側の著明なperfusionの改善を認めている¹⁸⁾ すなわち、3時間後のdelayed imageでは、再分布が検出できなかったものと考えられる。

SPECTによる心室瘤の検出

Weizenbergらは、心筋シンチPLによる心室瘤検出について報告¹⁹⁾しており、その特徴所見として、1) 大きな灌流欠損、2) 右心室のとりこみ増強、3) 肺野バックグラウンドの増強、4) 心筋輪郭の異常、をあげている。

我々のSPECT所見としては、1) 前壁側の広範な欠損と左室内腔の著明な拡大、2) 中隔と側壁のなす角度の心尖部へ向かつての開大、であり、概ねWeizenbergらの報告と一致する。しかし、心室瘤は、本来MIによつてもたらされる形態的異常であり、彼らの述べている(2)(3)の所見は血行動態の異常を示す所見であり、心室瘤に特異的とは言い難く、直接所見は(1)(4)の所見と思われる。

一方MI後の負荷心電図におけるST上昇は従来の報告²⁰⁾でも認められるように、心室瘤をはじめ

高度壁運動異常の検出に有用な情報をもたらすしかし、A(3)、D(1)、D(2)(=心室瘤)の鑑別はST上昇のみからは困難である(Table 8)。SPECTにおいては、D(2)の検出はsensitivity 94%、specificity 84%と、良好な成績が得られ、心室瘤の診断も可能である。

VI. 結 論

運動負荷²⁰¹Tl心筋SPECTのIHD診断における有用性と限界について検討した。

SPECTはPLに比べIHD診断率、個々の罹患冠動脈の検出率、多枝病変検出率、三枝病変検出率を有意に向上させ、さらに心室瘤の検出も可能とした。

一方診断精度は、梗塞の合併の有無、罹患冠動脈数、狭窄の程度、梗塞部位により影響を受け、梗塞部位での一過性虚血と心室瘤の存在は、梗塞例での多枝病変検出を困難とする因子と考えられた。

以上より、運動負荷²⁰¹Tl心筋SPECTはIHDの検出、個々の罹患冠動脈の検出、多枝病変の検出(特に後下壁梗塞、前壁+後下壁梗塞)、三枝病変の検出、心室瘤の検出に有用な非侵襲的検査法であるが、前壁梗塞例、狭心症例における多枝病変検出には限界があると考えられた。

文 献

- 1) 二神康夫、他：心筋シンチグラムのEmission CT法、虚血性心疾患における検討。心臓 15：856, 1983.
- 2) 二神康夫、他：心筋梗塞患者の多枝病変検出における運動負荷²⁰¹Tl心筋single photon emission computed tomographyの有用性と限界。核医学 20：1339, 1983.
- 3) 竹沢英郎、他：²⁰¹Tl心筋gated SPECTによる肥大型心筋症の壁厚及び左室心筋重量算出の試み。厚生省特定疾患特発性心筋症調査研究班、昭和57年度研究報告集、1983, p178.
- 4) Ritchie JL, et al: Myocardial imaging with thallium-201 at rest and during exercise. Comparison with coronary arteriography and resting and stress electrocardiography. Circulation 56: 66, 1977.
- 5) Melin JA, et al: Diagnostic value of exercise electrocardiography and thallium myocardial scintigraphy in patients without previous

- myocardial infarction: A bayesian approach. *Circulation* 63: 1019, 1981.
- 6) Massie BM, et al: Correlation of thallium-201 scintigrams with coronary anatomy: Factors affecting region sensitivity. *Amer J Cardiol* 44: 616, 1979.
 - 7) Mueller TM, et al: Limitations of thallium-201 myocardial perfusion scintigrams. *Circulation* 54: 640, 1976.
 - 8) Lenaers A, et al: Segmental analysis of Tl-201 myocardial scintigraphy. *J Nucl Med* 18: 509, 1977.
 - 9) Rigo P, et al: Stress thallium-201 myocardial scintigraphy for the detection of individual coronary arterial lesions in patients with and without previous myocardial infarction. *Amer J Cardiol* 48: 715, 1979.
 - 10) Maddahi J, et al: Improved noninvasive assesment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of thallium-201. *Circulation* 64: 924, 1981.
 - 11) Wainwright RJ, et al: Segmental quantitative analysis of digital thallium-201 myocardial scintigrams in diagnosis of coronary artery disease: Comparison with rest and exercise electrocardiography and coronary arteriography. *Brit Heart J* 46: 478, 1981.
 - 12) 竹田 寛, 他: ガンマカメラ回転型Emission Computed Tomographyによる ^{201}Tl 負荷心筋断層像—Segmental analysisによる冠動脈狭窄性病変の検出率—. *核医学* 20: 53, 1983.
 - 13) 王木長良, 他: 回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用. 一第6報: 運動負荷時・再分布時のタリウム心筋ECTの検討—. *核医学* 20: 1299, 1983.
 - 14) Mckillop JH, et al: Can the extent of coronary artery disease be predicted from thallium-201 myocardial images? *J Nucl Med* 20: 715, 1979.
 - 15) Berger BC, et al: Quantitative thallium-201 exercise scintigraphy for detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* 22: 585, 1981.
 - 16) Leppo J, et al: Thallium-201 myocardial scintigraphy in patients with triple-vessel disease and ischemic exercise tests. *Circulation* 59: 714, 1979.
 - 17) Berger BC, et al: Redistribution of thallium at rest in patients with stable and unstable angina and the effect of coronary artery bypass surgery. *Circulation* 60: 1114, 1979.
 - 18) 二神康夫, 他: 心筋梗塞後患者における運動負荷心電図ST変化の臨床的意義— ^{201}Tl 心筋single photon emission computed tomographyによる検討—. *核医学* 21: 241, 1984.
 - 19) Weizenberg A, et al: Scintigraphic detection of ventricular aneurysm with thallium-201. *J Nucl Med* 24: 34, 1983.
 - 20) Sriwattanakomen S, et al: ST segment elevation during exercise electrocardiographic and arteriographic correlation in 38 patients. *Amer J Cardiol* 45: 762, 1972.