

《ノート》

 ^{201}Tl を用いた心筋スキャンMyocardial Scan Using $^{201}\text{TlCl}$

佐々木康人* 山本 光祥* 星 賢二* 柏田 和子*
 染谷 一彦* 杉山 捷** 藤井 正道** 板垣 勝義***
 榊 徳市***

Yasuhito SASAKI*, Mitsuyoshi YAMAMOTO*, Kenji HOSHI*, Kazuko KASHIWADA*,
 Kazuhiko SOMEYA*, Chikashi SUGIYAMA**, Masamichi FUJII**,
 Katsuyoshi ITAGAKI*** and Tokuichi SAKAKI***

*The Third Department of Internal Medicine,

**Department of Radiology

***Clinical Nuclear Medicine

はじめに

心筋スキャン (myocardial scanning) の試みは1960年代の始めより行われている。Carrら^{1)~3)}は1962年 ^{86}Rb を用い、次いで ^{131}Cs を用いて心筋梗塞部を欠損 (cold area) として描出しようことを明らかにした。一方 ^{203}Hg -chlormerodrin を用いると梗塞部に放射能が集積し、hot area として描出うることが報告された⁴⁾。 ^{131}Cs による心筋スキャンはわが国においても一時期多く行われたが^{5)~7)}、その物理的性質故に十分満足すべきイメージが得られなかった。近年、梗塞部位を hot に描出する放射性医薬品として、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pylophosphate (PYP), Tetracycline, glucoheptonate などが、cold に描出するものとして、 ^{43}K , ^{129}Cs , ^{81}Rb , ^{201}Tl などが導入され、心筋スキャンの臨床的意義が改めて注目されている。われわれは最近

$^{201}\text{TlCl}$ (第一 RI 研究所提供) による心筋スキャンを行う機会を得たので、その臨床的有用性を報告する。

方法

1. $^{201}\text{TlCl}$ の臓器分布

ウィスター系雄ラットを用い、ペントバルビタール麻酔下で大腿静脈より $^{201}\text{TlCl}$ ($40 \mu\text{Ci/ml}$) 0.1 ml を注入。10分, 30分, 60分後に脱血により屠殺した。心, 肺, 肝, 脾, 膵, 胃, 腎各臓器をとりだし、重量を測定後、試験管に入れて、ウェル型カウンタで放射能を測定した。また、尾および屠殺時採取した血液 1 ml 中の放射能も同様に測定した。測定結果は注入量に対する百分率で表示した。注入量は総注入量から尾に残存した計数率を差し引いて得た。全血液量は、体重の 7.8% と推定した。用いたラットは各時間 2 匹ずつ、計 6 匹である。

2. 心筋スキャンと血中クリアランス曲線

心筋スキャンは $^{201}\text{TlCl}$ 2 mCi を仰臥位で肘静脈より注入し、8分後より γ カメラによる撮影を

* 聖マリアンナ医科大学第三内科

** 聖マリアンナ医科大学放射線科

*** 聖マリアンナ医科大学放射線部核医学

受付: 52年5月10日

最終稿受付: 52年10月17日

別刷請求先: 川崎市高津区菅生 2095 (☎213)

聖マリアンナ医科大学第三内科

佐々木 康 人

Key words: $^{201}\text{TlCl}$, Myocardial scan, Myocardial infarction, Left ventricular hypertrophy

開始した。使用した装置はサール社製Pho- γ IIIHP, または東芝 102S 型 γ -カメラで、いずれも高分解能、低エネルギー用コリメータを使用。フォートピークは Hg の X 線 (69-83 KeV) を用い、ウィンド幅20%で撮影した。撮影は前面、左前斜位45度、左側面より行い、正常対照ではこれに左前斜位30度、60度および右前斜位30度を加えた。各面 5×10^5 カウント集積を原則としたが、時間の関係で $3 \sim 4 \times 10^5$ カウントしか集積できなかった場合もある。

撮影時のデータはミニコンピュータ、シンチパック 200 に集録し、再生画像上の左室壁(W)中心部心腔(C)肺野のバックグラウンド(L)に関心領域(ROI)を設定し、それぞれの計数を取得、C/W, L/W を算出した。

正常者の1例では運動負荷後に再検し、安静時のスキャンと比較した。また、 $^{201}\text{TlCl}$ 静注直後より静脈血を経時的に採取し、その放射能をウェル型シンチレーションカウンターで測定、血中クリアランス曲線を得た。

対 象

対象としたのは正常志願者1名、当院入院または外来患者40症例である。スキャンを行った回数は、同一人に2回検査を行ったもの4例を含めて合計45回である。患者は心電図上種々の程度のSTT変化が認められ、虚血性心疾患が疑われた場合に心筋スキャンを行った。原疾患による分類は急性心筋梗塞4、陳旧性心筋梗塞8、冠不全10、冠不全以外の器質的心疾患13、その他の疾患5例である(Table 1)。

結 果

1. $^{201}\text{TlCl}$ の臓器分布

ラットにおける $^{201}\text{TlCl}$ の臓器分布を Fig. 1 に示す。心には10分後に投与量の4.14%が集積し、30分後に4.42%と最高に達した後、60分後には2.73%と減少した。臓器全体として集積率の多いのは、腎、肝で、前者は心の10倍、後者は心の7倍に達した。腎、肝、脾への集積率は時間と共に

Table 1 Materials

	No. of Patients (Case No.)	No. of Scan
Normal Control	1 (1)	2
M. I. acute	4 (2- 5)	5
old	8 (6-13)	9
Coronary Insuff.	10 (13-23)	10
Other Heart Dis. (incl. H. T. H. D.)	13 (24-36)	14
Other Disorders	5 (37-41)	5
Total	41	45

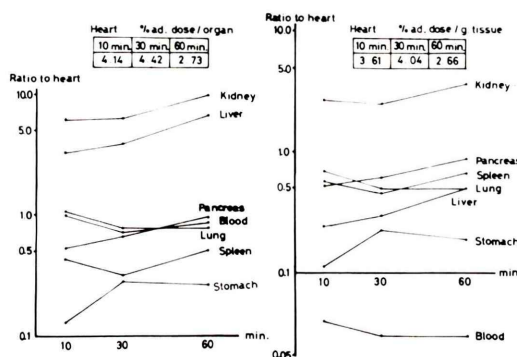


Fig. 1 Organ distribution of $^{201}\text{TlCl}$ in rats.

増加した。脾、血液、肺への分布は心とほぼ同等であった。組織1g当たりの集積率は、腎が最も大で最高10.13%/g(30分)であった。心がそれにつき、最高4.04%(30分)、他の臓器は心より低く、血中集積率は時間と共に漸減した。

2. 正常心筋スキャンと血中クリアランス

Fig. 2 上段は正常対照安静時の心筋スキャンである。左室心筋のみが卵形に描出され、中心部に放射能の少ない部分があり、ドーナツ状にみえる。中心部は左室心腔を示していると考えられる。この放射能集積減少部は左前斜位45度で最も大きく、心腔の大きさを最も良く反映していると考えられる。前面像では左室下壁と前壁側壁が心尖部と心基部を結ぶ2つの弧を形成し、心基部に近づく放射能は漸減する。また心尖部でも放射能集積がやや少ない。左前斜位45度では中隔と後壁側壁が、左前斜位60度および左側面では後壁がよく描出される(Fig. 3)。左室心筋の右下方に肝への放射能集積がみられ、右斜位像ではこの放射能集積と重な

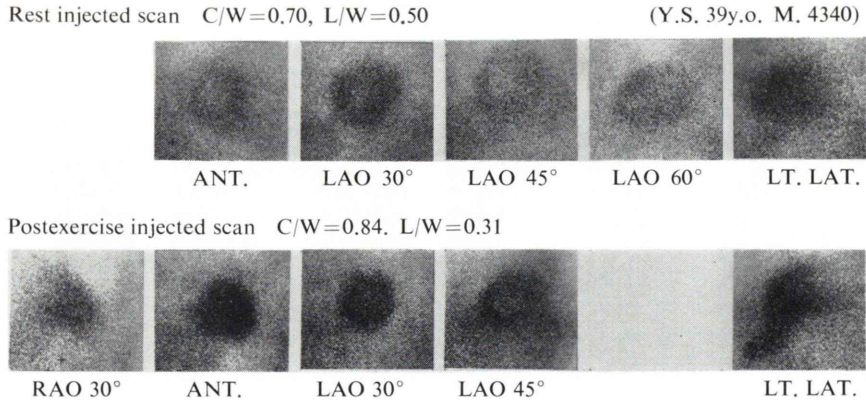


Fig. 2 ²⁰¹Tl myocardial images in a normal subjects.

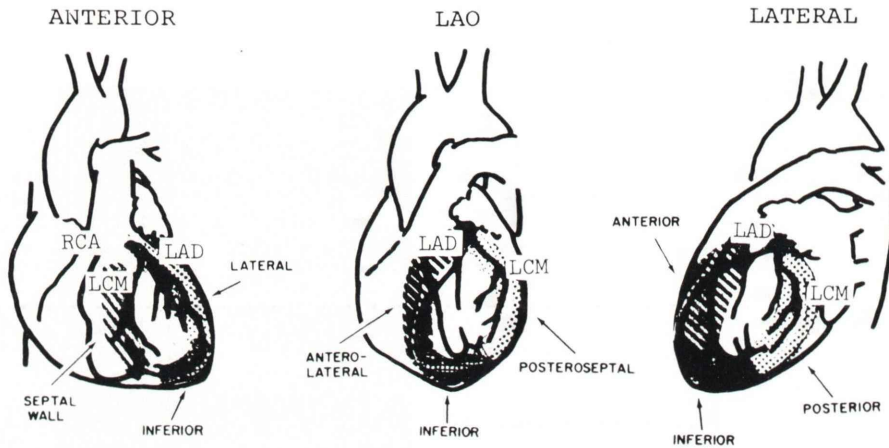


Fig. 3 Schematic illustration of myocardial imaging with ²⁰¹Tl showing left ventricular myocardium seen in each position.

って、左室下部の輪郭が判別しにくい。左前面斜位45度～左側面にかけて、左室下部左方から真下に認められる放射能集積は脾へのものと考えられる。

運動負荷直後の正常心筋スキャンを Fig. 2 下段に示す。安静時に比し、肺、肝、脾などの心筋外放射能集積がやや減少し、左室心筋の描出がより明瞭となった。また心筋内放射能分布が安静時より均等となり、中心部の欠損が不明瞭となった。C/W, L/W は安静時の 0.70, 0.50 に対し、0.84, 0.31 と前者が増加し、後者が減少した。

正常者における安静時と運動負荷後の血中クリ

アランス曲線は2相性を示し、 $T_{1/2}$ は第1相はそれぞれ 4.8, 5.0 分、第2相は共に 131 分であった。

3. 左室肥大の心筋スキャン

慢性糸球体腎炎による尿毒症で血液透析を行っていた患者(症例31)の心筋スキャンを Fig. 4 に示す。胸部レ線上心陰影は著明に拡大(心肺係数 0.73)し、心電図は左室肥大を示した。心筋スキャンは3方向とも左室面積が明らかに増大し、左室内放射能分布は均等で、中央部欠損を認めなかった。前面像、左前斜位像で左室に接して内側下部にみられる軽度の放射能集積増加は、右室が描出されたものと考えられる。

C.H, 40y.o. M, Uremia (25377) Hypertrophic L.V.

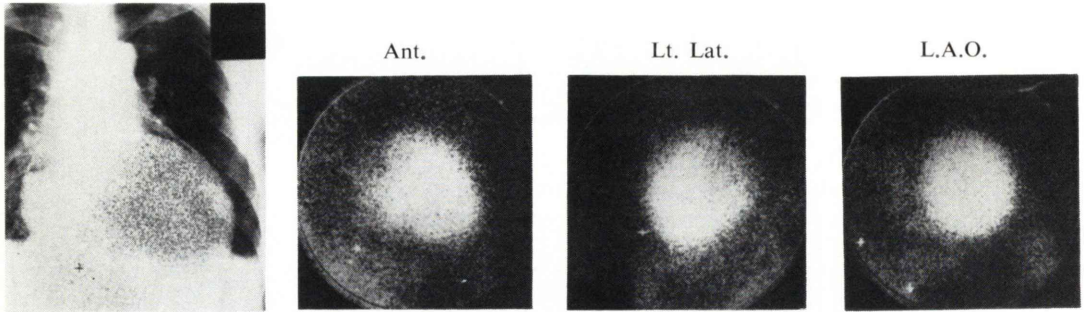


Fig. 4 ²⁰¹Tl myocardial imaging showing hypertrophic left ventricle in a patient with uremia.

Y. O. 69y.o. (38265) Acute Myocardial Infarction

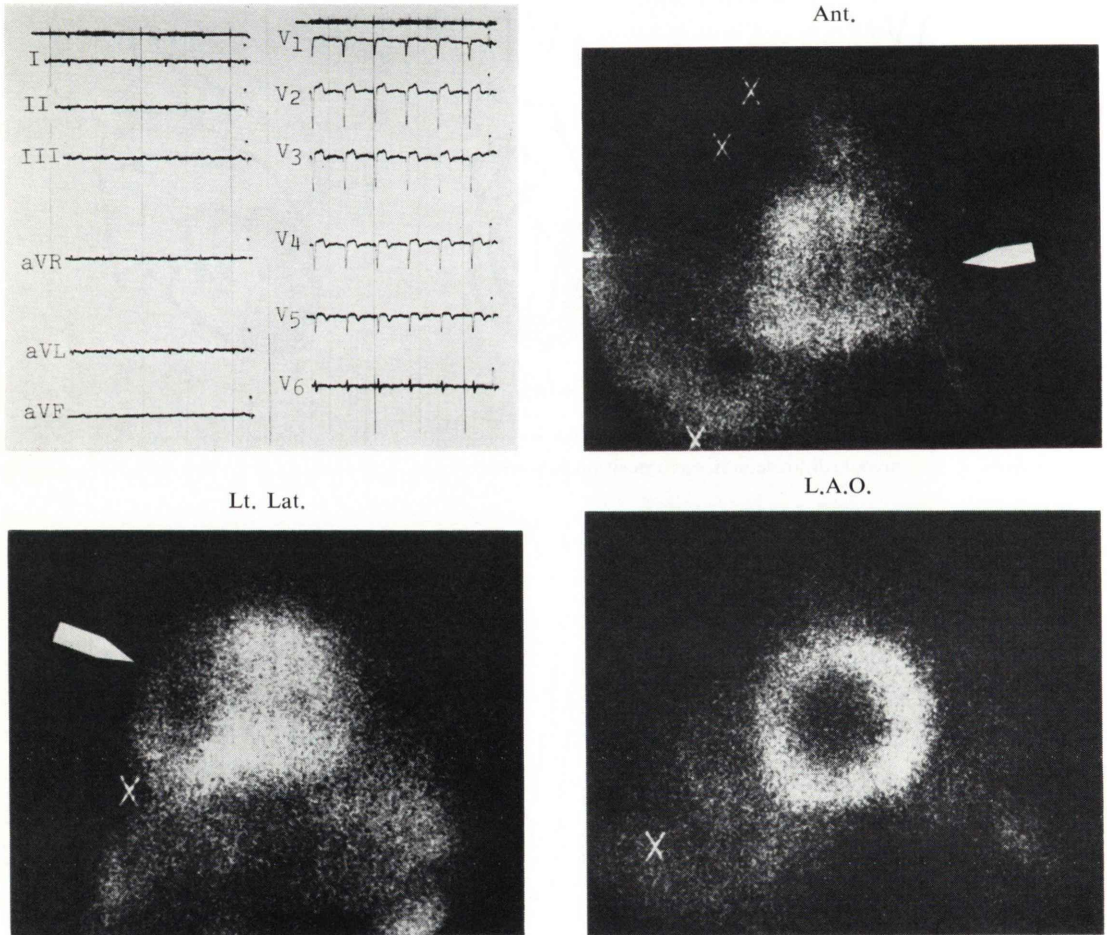


Fig. 5 ²⁰¹Tl myocardial images in a patient with acute antero-lateral myocardial infarction

4. 心筋梗塞の心筋スキャン

(1) 前壁および側壁梗塞

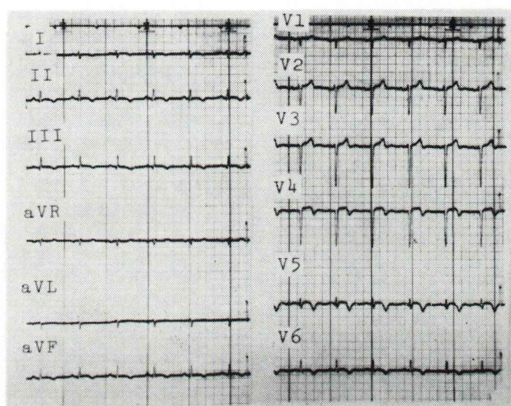
69歳の男性 (症例2) : 胸痛発作を起こし, 臨床経過, 心電図所見, 酵素の変動より急性前壁, 側壁梗塞と診断した. 発作1カ月後に行った心筋スキャン (Fig. 5) では前面像で左中下部外側縁に放射能集積欠損を認め, 左側面像では前方中部外側縁に明らかな欠損がみられた. 左前斜位像では中心部欠損が拡大すると共に明瞭となった.

65歳の男性 (症例7) : 心電図上 V₂, V₃ の r 波が低く, V₄ は QS パターンを示し, V₄~V₆ の T 波

が逆転し, 陳旧性前壁側壁梗塞と診断された. 心筋スキャン (Fig. 6) では, 前面像で左側下部外側縁から心尖部にかけて広範な欠損を示し, 左前斜位では心尖部を中心に大きな左室壁の欠損がみられた. 中心部の欠損は拡大し, 顕著であった.

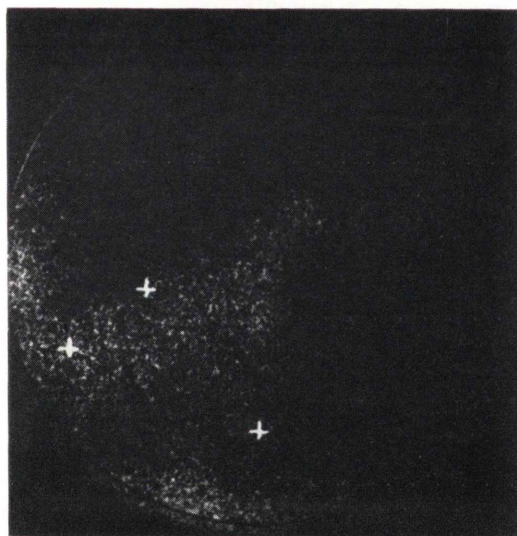
(2) 下壁梗塞

76歳男性 (症例8) : 陳旧性心筋梗塞で, 心電図所見は II, III, aVF に q 波を認め, 下壁梗塞であった. 心筋スキャン (Fig. 7) では前面像では心尖部から左下部内側縁にかけて放射能集積が減少, 側面像で心尖部から下縁にかけての放射能集積減



Ant.

L.A.O.



T. H. 65y.o. M. (14815) Old Myocardial Infarction

Fig. 6 ²⁰¹Tl myocardial scan in a patient with old antero-lateral myocardial infarction.

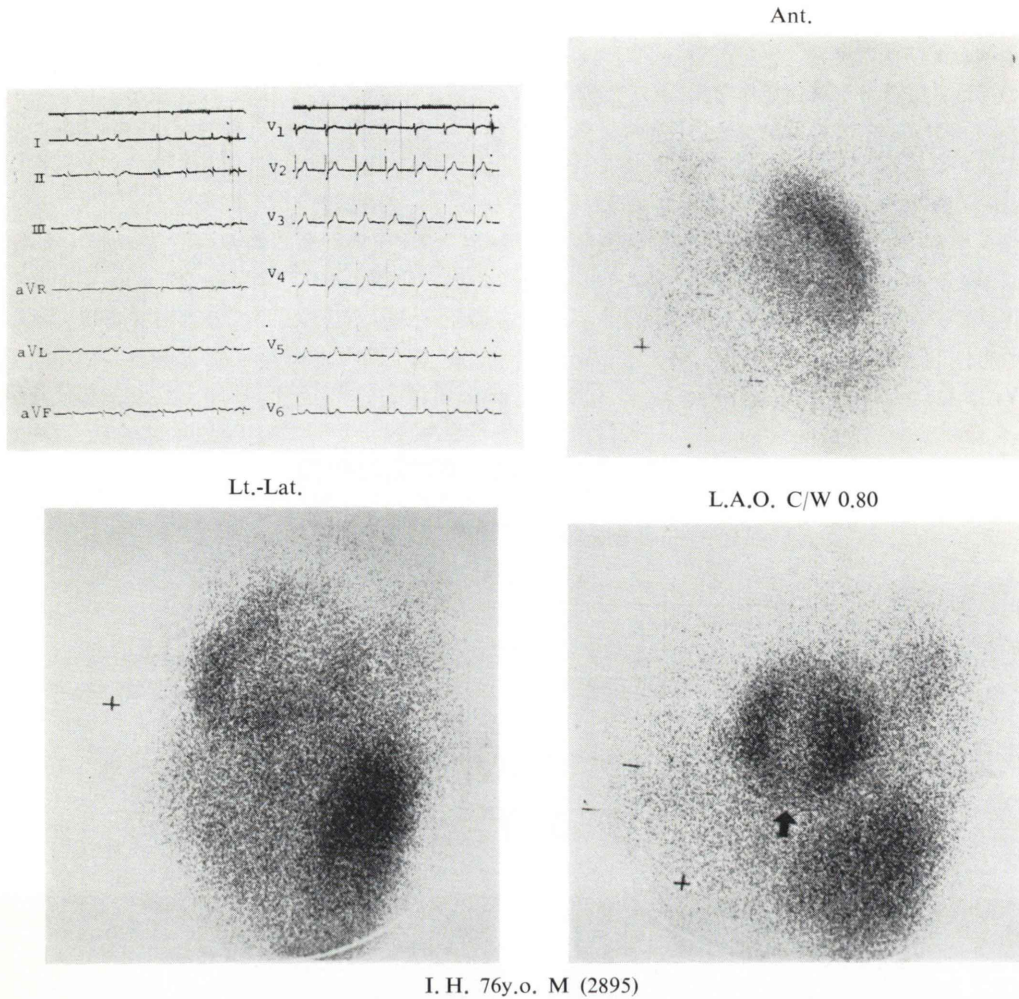


Fig. 7 ^{201}Tl myocardial imaging in a patient with old inferior myocardial infarction.

少をみとめた。左前斜位像でも心尖部に欠損がみられた。

(3) 純後壁梗塞

74歳の男性(症例3):胸痛発作を起こして入院, GOT, CPK, LDH, HBD, 血沈の変動は心筋梗塞に合致し, 心電図は V_1 の R 波がしだいに増高し R/S 比が漸増した (Table 2)。これらの所見より急性純後壁梗塞と診断した。発作17日後の心筋スキャン (Fig. 8) では, 前面像, 左前斜位共正常な放射能分布を示したが, 左側面像で後部下縁に小欠損を認めた。発作28日後に再検した結果もほぼ同様の所見であった。

Table 2 Course of blood enzymes and ECG in the case shown in Fig. 8.

	12/28	12/29	1/2	1/6	1/17
Symp. chest pain	-	-	-	-	-
GOT	51	200	51	20	17
GPT	47	47	47	25	11
CPK		576	49	23	39
LDH	587	680			265
HBD		310	240	185	90
ESR ^{1h}		105 ^{mm}			54 ^{mm}
CRP		+++		+	
ECG V_1	R/S=0.4 	R/S=0.7 	R/S=1.0 	R/S=1.5 	R/S=1.5

M.Y. 74yo. male

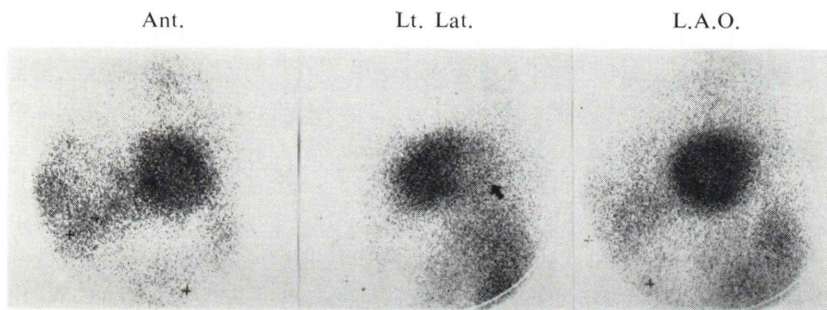
5. 全症例のまとめ

全症例の心筋スキャンの結果をまとめて Table 3 に示す。急性心筋梗塞 4 症例全例で左室壁の放射能の集積欠損を認め、心筋梗塞陽性スキャンと判定した。陳旧性心筋梗塞 8 例中 4 例は壁欠損を認め陽性と判定された。2 症例では中心部欠損が拡大し心筋梗塞を疑わしめたが、明らかな壁の欠損は認められなかった。いずれも心電図上は前壁梗塞であった。1 症例では左前斜位で著明な中心部欠損を示し、心筋梗塞を疑ったが、再検したスキャンでは正常と判定された。心電図上は V₁ から V₃ にかけて r 波が減高し、前壁梗塞が強く示唆された。1 症例は心電図上陳旧性前壁中隔梗塞であったが、心筋スキャンは正常であった。したがって、陳旧性心筋梗塞 8 例のスキャン結果は疑い 2 例を含めて陽性 6 (7 スキャン)、陰性 2 であ

った。

心筋梗塞以外の 28 例中 8 例が左室肥大と判定された。他の症例はすべて正常心筋スキャンと解釈された。正常と判定した心筋スキャンにおける中心部放射能集積減少の程度はさまざまで、ほぼ均等な分布を示すものもあった。

左前斜位像における C/W は正常と判定した心筋スキャンの中でもかなりのばらつきがみられた。心筋梗塞群では 0.79 ± 0.06 (m ± S.D.) であり、他の心疾患群の 0.85 ± 0.07 とのみ P < 0.10 で有意の差をみたが、その他の群との有意差は認められなかった。しかし、前壁梗塞(症例 5, 9, 10)では 0.66~0.77 と低い傾向がみられた。L/S 比は各群間で有意差はみられなかったが、正常対照では運動負荷後の値は安静時に比し減少した。



M. Y. 74y.o. M. (36877)

Fig. 8 ²⁰¹Tl myocardial imaging in a patient with pure posterior acute myocardial infarction.

Table 3 Summary of the results

	No. of Scan	Scan Interpretation			C/W	L/W
		P	N	H		
Normal	2	0	2	0	0.70 0.84	0.50 at rest 0.31 at stress
M.I.	14	12	2	0	0.79 ± 0.06	0.29 ± 0.06
A.M.I.	5	5	0	0		
O.M.I.	9	7	2	0		
Coron. Insuff.	10	0	8	2	0.81 ± 0.07	0.27 ± 0.04
Other Heart Dis.	14	0	8	6	0.85 ± 0.07	0.25 ± 0.05
Other disorders	5	0	5	0	0.77 ± 0.11	0.33 ± 0.07

P: positive for M.I.
N: normal
H: hypertrophic L.V.

C: L.V. Cavity
W: L.V. wall
L: Lung

考案

放射性 Tl の臨床応用の可能性を報告したのは Kawana ら⁸⁾が最初である。彼らは ¹⁹⁹Tl を用い、K との類似性を利用して心筋スキャンへまた腎、腫瘍スキャンへの応用の可能性を示唆した。その後、Brookhaven National Laboratory のグループが ²⁰³Tl (P, 3n) ²⁰¹Pb の反応でできた ²⁰¹Pb (T_{1/2} 9.4 時間) の崩壊産物 ²⁰¹Tl の医学利用を可能にした^{9),10)}。

²⁰¹Tl は半減期 73.5 時間の核種で、内部電子捕獲により崩壊し、135 KeV (2%), 168 KeV (8%) の γ 線と Hg の特性 X 線 69~80 KeV (93%) を放出する。⁴³K (372, 396 KeV), ¹²⁹Cs (372 KeV) の γ 線に比し、低エネルギーであり γ -カメラでのイメージングに適している。低エネルギー用高分解能コリメータを使用できるため、より解像力の良いイメージが期待できる。

Tl は周期率表 IIIA に属し、生物体内で K と類似の行動をとると考えられる。動物実験による臓器分布は山羊では心に最高 3.7% (注射25分後)、肝に最高 15.4% (25分)、腎 3.5% (25分) と報告されている¹⁰⁾。マウスでは注射 2 分後に心への集積が最高となり 2.9%、腎への集積は 10.57% (5分後)、肝 4.82% (5分後) である¹¹⁾。われわれのラットでの実験結果は、心へ最高 4.42% (30分後)、肝、最高 18.8% (60分後)、腎 11.8% (30分後) とほぼ似た値を示した。⁴³K, ¹²⁹Cs, ⁸¹Rb に比し、²⁰¹Tl の心への集積率はすぐれている^{11),12)}。血中クリアランスはイスで第 1 相の T_{1/2} 2.9 分であり、⁴³K (2.0分)、⁸¹Rb (2.2分) よりやや遅く、¹²⁹Cs (9.0分) より速いと報告されている¹²⁾。われわれの正常者での第 1 相 T_{1/2} は 5 分であった。これらのデータに基づいて被曝線量が算出されているが、全身 0.07~0.24 rads/mCi, 心 0.17~0.32, 腎 0.52~0.39, 肝 0.15~0.17, 辜丸 0.25~0.30 と報告されている^{10),13)}。被曝線量としては ⁴³K より少なく、¹²⁹Cs よりやや多い。

⁴³K, ²⁰¹Tl の心筋内分布は標識 microspheres, 電磁流量計で測定した局所心筋血流量と平行して

変動するため^{14),15)}、⁴³K, ²⁰¹Tl による心筋イメージは心筋局所血流量の分布を示すと考えられている。Cook ら¹⁶⁾は健康者13名に安静および運動負荷心筋スキャンを行い、運動負荷による心筋への ²⁰¹Tl 集積が増加し、心筋がより明確に描出され、左室内放射能分布がより均等となり、中心部欠損が不明確となることを示した。また W/L 比が安静時の 2.5 ± 0.3 から運動負荷により 3.4 ± 0.7 へ増加することを報告している。さらに安静時に認められなかった小欠損が運動負荷により明らかになることも報告されている。われわれは、正常者1名であるが、運動負荷により C/W 比が増加し、L/W 比が減少するのを見た。適切な運動負荷による心筋スキャンの有用性は現在検討中である。

急性心筋梗塞部位を ²⁰¹Tl スキャンが的確に検出し、ECG 所見とよく一致する¹⁷⁾ことは、われわれの示した症例でも明らかであり、第23回米国核医学会、第16回日本核医学会総会での多数の論文にも報告されている。梗塞部位の確実な診断には心筋壁の欠損を確認する必要がある。この目的には多面スキャンが重要である。われわれの症例に示したように、特に左前斜位で中心部欠損が拡大し、明瞭になる場合は、梗塞を示唆する一つの所見であると考えられる。C/W 比の測定がこの所見の指標として用いられるか否かを検討したが、正常スキャンでのばらつきが大きく、一方梗塞例が少ないため、梗塞群に有意の差は認められなかった。しかしなお症例を重ねて検討する必要があると考えている。

梗塞部位を hot area として描出する ^{99m}Tc PYP と ²⁰¹Tl との比較も数多くなされているが¹⁸⁾ ²⁰¹Tl の得失をあげると、発作直後から梗塞部位を描出する点が発作数時間後に陽性となる ^{99m}Tc PYP よりすぐれた点であり、陳旧性心筋梗塞と鑑別できない点が Tl の欠点である。梗塞の検出感度は Tl の方がややよいと報告されている。従って急性心筋梗塞の疑いがあれば、直ちに ²⁰¹Tl でスキャンを行い、欠損が証明されれば後に ^{99m}Tc PYP で再検し、急性梗塞の広がりを確認するのが適切

な方法と考えられる。しかしいずれにしても、心筋梗塞の急性期に心筋スキャンを実施するためには、ベッドサイドでの検査が必要である。この意味で、米国で普及しつつあるポータブル、または可動型γカメラの利用が望まれる。

心筋スキャンは冠不全の判定にも有用とされている。運動負荷 ²⁰¹Tl スキャンは70%以上の冠動脈狭窄がある場合に高率に欠損を生じ、冠動脈撮影の結果とよく相関することが報告されている。したがって、冠不全の予後の判定、手術適応の決定に当たって、患者の負担の少ない、非観血的スクリーニング検査としての意義が高いと考えられる。

おわりに

正常者1, 心筋梗塞12例を含む41例に ²⁰¹Tl による心筋スキャンを施行した。その結果に基づき、心筋梗塞部位の診断、左室肥大の診断に本法が有用であることを示した。文献の考察を加え、²⁰¹Tl 心筋スキャンの臨床的意義を論じた。

文 献

- 1) Carr EA Jr, Beirwaltes WH, Wegst AV et al: Myocardial scanning with rubidium-86 J Nucl Med 3: 76- , 1962
- 2) Carr EA Jr, Beirwaltes WH, Patno ME et al: The detection of experimental myocardial infarcts by photoscanning. Am Heart J 64: 650-660, 1962
- 3) Carr EA Jr, Cleason G, Show J et al: The direct diagnosis of myocardial infarction by photoscanning after administration of Cesium-131. Am Heart J 68: 627-636, 1964
- 4) Gorten RJ, Hardy LB, McCraw BH et al: The selective uptake of ²⁰³Hg-chlormerodrin in experimentally produced myocardial infarcts. Am Heart J 72: 71-78, 1966,
- 5) 上田英雄, 町田喜久雄, 佐々木康人, 他: 心臓スキャン法, 医学のあゆみ 62: 103-110, 1967
- 6) 上田英雄, 春見建一, 坂本二哉, 他: 心筋梗塞の補助診断法, 内科 21: 435-456, 1968
- 7) 佐々木康人: シンチグラムの読み方, 心臓スキャン, 内科 30: 295-298, 1972
- 8) Kawana M, Krizek H, Porter J et al: Use of ²⁰¹Tl as a potassium analog in scanning. J Nucl Med 11: 333- , 1970
- 9) Lebowitz E, Green MW, Fairchild R, et al: Thallium-201 for medical use. I J Nucl Med 16: 151-155, 1975
- 10) Bradley-Moore PR, Lebowitz E, Greene MW et al: Thallium-201 for medical use. II: biological behavior. J Nucl Med 16: 156-160, 1975
- 11) Strauss HW, Harrison K, Langan JK, et al: Thallium-201 for myocardial imaging. Relation of Thallium-201 to regional myocardial perfusion. Circulation 51: 641-645, 1975
- 12) Nishiyama H, Sodd VJ, Adolph RJ et al: Intercomparison of myocardial imaging agents: ²⁰¹Tl, ¹²⁹Cs, ⁴³K, and ⁸¹Rb. J Nucl Med 17: 880-889, 1976
- 13) Feller PA and Sodd VJ: Dosimetry of four heart-imaging radionuclides: ⁴³K, ⁸¹Rb, ¹²⁹Cs, and ²⁰¹Tl. J Nucl Med 16: 1070-1075, 1975
- 14) Prokop EK, Strauss HW, Show J et al: Comparison of regional myocardial perfusion determined by ionic potassium-43 to that determined by microspheres. Circulation 50: 978-984, 1974
- 15) Buja LM, Parkey RW, Stokely EM et al: Pathophysiology of technetium-99m stannous pyrophosphate and Thallium-201 scintigraphy of acute anterior myocardial infarcts in dogs. J Clin Invest 57: 1508-1522, 1976
- 16) Cook DJ, Bailey I, Strauss HW, et al: Thallium-201 for myocardial imaging: appearance of the normal heart. J Nucl Med 17: 583-589, 1976
- 17) Wackers FJ Th, Schoot JB, Sokale EB et al: Noninvasive visualization of acute myocardial infarction in man with Thallium-201. British Heart J 37: 741-744, 1975
- 18) Parkey RW, Bonte FJ, Stokely EM et al: Acute myocardial infarction imaged with ^{99m}Tc-stannous pyrophosphate and ²⁰¹Tl: A clinical evaluation. J Nucl Med 17: 771-779, 1976