

《原 著》

回転型ガンマカメラによる ^{201}Tl 心筋断層像：特に7ピンホールコリメータによる断層法との比較検討

—(第2報) 臨床的検討—

玉木 長良* 向井 孝夫* 石井 靖* 米倉 義晴*
 山本 和高* 湊 小太郎* 藤田 透* 鳥塚 莞爾*
 田巻 俊一** 神原 啓文** 河合 忠一**

要旨 正常人17例, 心筋梗塞23例の計40例に, 従来の ^{201}Tl シンチグラム (PLAN) の直後に7ピンホールコリメータによる断層像 (7P) と回転型ガンマカメラによるエミッション CT 像 (SPECT) を作成し, 臨床的有用性を比較検討した. 心筋梗塞診断の sensitivity は PLAN (74%) に比べ 7P (91%), SPECT (96%) とともに向上したが, 7P では5例に false positive 例がみられ, specificity は低下した. (PLAN: 94%, 7P: 71%, SPECT: 88%). 従って accuracy は 7P (83%) では PLAN (83%) と変らなかったが, SPECT (93%) では明らかな改善がみられた.

SPCET は22分の撮像時間で, 横断, 前額, 矢状のそれぞれ多層断層像が得られ, 病巣部を接線方向にみる最適断層面で評価できる点で有用であった. しかし, SPECT による心拍同期断層像では, 心プール像で40分, 心筋像で60分 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -赤血球 20 mCi, ^{201}Tl 2 mCi 投与下でいずれも R-R 間隔6等分) と撮像時間が長く, 今後機器や核種の工夫による改善が望まれた.

I. はじめに

Kirch らにより提唱された7ピンホールコリメータを用いた ^{201}Tl 心筋断層像は¹⁾, 簡便に心筋断層像が得られるという利点から著しく普及するようになり, その臨床的有用性が認められている²⁻⁴⁾. しかし, 限られた角度からのデータ収集のため, その心筋断層像の精度についての問題点を述べた報告も散見されるようになった^{5,6)}.

我々は, G.E. 社の回転型ガンマカメラを用いて, 各種臓器のエミッション CT 像を作成し, その有用性を報告してきた⁷⁻⁹⁾. 前回は, このシス

テムを用いた ^{201}Tl 心筋断層法の基礎検討をファントムを用いて行ない, 7ピンホールコリメータによる断層法と比較し, 両者の特徴を述べたが, 今回は SPECT 像の臨床例を紹介すると共に, 両断層法の臨床的評価を比較検討したので報告する.

II. 対象ならびに方法

昭和55年2月から12月までに本院にて ^{201}Tl 多方向のシンチグラム, 7ピンホールコリメータによる心筋断層像, 及び回転型ガンマカメラによる心筋断層像のすべてを施行した, 正常人17例, 心筋梗塞23例, 計40例につき検討した. 正常人は, 甲状腺疾患を有し ^{201}Tl 甲状腺シンチの直後に心筋像を得た例か, 不定愁訴として胸痛を訴え, ^{201}Tl シンチを施行した例で, いずれも心電図などの諸検査にて異常がなく, また心疾患の既往のない例を選んだ. 一方心筋梗塞例は, 臨床症状,

*京都大学医学部放射線核医学科

** 同 第3内科

受付: 56年1月19日

最終稿受付: 56年1月19日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 (☎606)

京大病院放射線核医学科

玉木 長良

心電図、酵素所見などから心筋梗塞の診断の確定した例を選んだ。なお、 ^{201}Tl シンチグラムは心筋梗塞発症の3週間から6年後に実施された。

^{201}Tl 2 mCi を安静時に投与後、超高分解能平行コリメータを装着したシンチカメラ(日立 Gamma View)にて正面、左前斜位(LAO) 30°, 45°, 60°及び左側面より25~30万カウント収集して通常のシンチグラムを得た。撮像には約20分を要した。

その直後より7ピンホールコリメータによる心筋断層像を得るため、シンチカメラ(Searle LFOV)に7-pinhole collimatorを装着し、LAO45°よりoriginal dataを収集し、心筋短軸断層像を得た。また、症例によってRAO 30°からの長軸断層像も加えた。この際、心筋像が7つのコリメータの視野の中央にくるようにし、かつ視野内におさまる範囲でコリメータを胸廓に近づけた。通常の場合、LAOではコリメータから胸廓まで約8 cm、RAOでは1~3 cmであった。ピンホール径は5.5 mmを使用し、75万カウントを収集、撮像時間は10分であった。再構成にはオンラインで接続したコンピュータ(DEC, PDP 11/60)を用い、コリメータから10 cmから25 cmまで10スライスを得た⁴⁾。

さらに、回転型ガンマカメラ(G.E. Maxi 400-T)の台に被検者を移し、カメラを22分間で胸廓のまわりを一回転させて64方向からデータ収集し、エミッションCT像を得た。再構成には上記コンピュータを利用し、重畳積分法を用いSorensonの方法にてガンマ線吸収補正を行なった⁷⁻⁹⁾。一回のデータ収集から、心臓の横断面、前額面、矢状面のそれぞれ多層断層像が得られた。各断層像のスライス厚は12 mmで、平均15~20万カウントが集められた。データ収集はLAO45°の位置から行ない、得られた前額面、矢状面が心臓の短軸断面、長軸断面を表わすようにした(Fig. 1)。なお一部の症例については、カウント収集時に心電図と同期させて、心拍同期断層像を作成した。すなわち、一方向30~60秒かけて32方向からデータを収集し、R-Rを6等分して断層像を再構

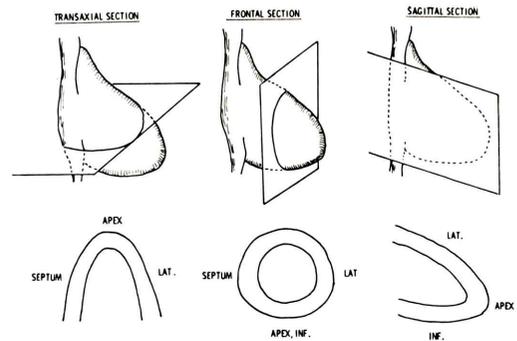


Fig. 1 Transaxial, frontal, and sagittal sections of SPECT myocardial imaging. Since data collection starts from left anterior oblique projection, the frontal and sagittal tomograms correspond to cross and longitudinal sections of cardiac axis, respectively.

成した。また ^{99m}Tc in vivo 標識赤血球による心プールの心拍同期断層像も同様の方法で作成した。

シンチグラムの判定には、3人の医師が合議の上で欠損の有無の判定を行なった。なおエミッションCT像では、3方向の多層断層像をすべて読影し、2方向以上の断面で欠損の認められるものを異常とした。

III. 結 果

Fig. 2に正常人の回転型ガンマカメラによるエミッションCT像(SPECT像)を示す。横断断層像は下から見上げた像で、上から下へ順に4スライス、前額断層像は前からみた像で、前(心尖部)から後(心基部)へ4スライス、矢状断層像は右からみた像で、右(心室中隔壁)から左(左室側壁)へ4スライスを表わす。これらの断層像を得るための撮像時間は、 Tl 2 mCi 投与下で22分、再構成には約3分を要した。横断断層像で心尖部がやや薄く描出されているが、左室心筋全体に Tl が均等に分布しているのがわかる。

Fig. 3に正常人におけるSPECTを用いた心電図同期心筋横断断層像及び心プール横断断層像(それぞれ拡張末期、収縮末期の像)を示す。撮像時間は、心拍同期心筋断層像で約60分(^{201}Tl

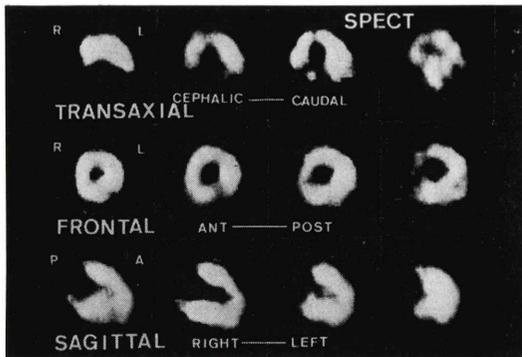


Fig. 2 SPECT images of a normal subject. Transaxial sections proceed from the cephalic to the caudal region, frontal sections proceed from the apical to the basal region, and sagittal sections proceed from the septal to the lateral region. Homogenous distribution of the activity in the myocardium is shown.

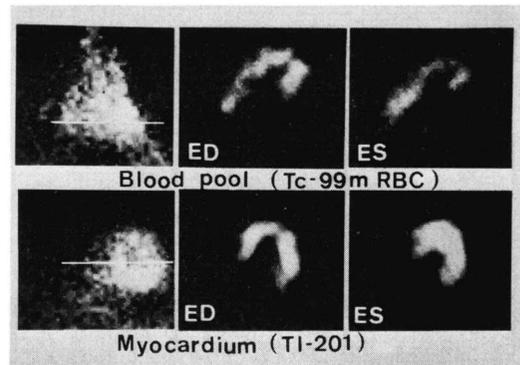


Fig. 3 ECG gated ^{99m}Tc-blood pool tomograms and ²⁰¹Tl-myocardial tomograms of a normal subject. (transaxial sections at end-diastole and end-systole) The data collection requires 40 min for gated blood pool tomography and 60 min for myocardial tomography.

Table 1 Results in 40 cases in various thallium imaging method

	TP	FN	TN	FP	sensitivity	specificity	accuracy
PLAN	17	6	16	1	17/23 (74%)	16/17 (94%)	33/40 (83%)
7P	21	2	12	5	21/23 (91%)	12/17 (71%)	33/40 (83%)
SPECT	22	1	15	2	22/23 (96%)	15/17 (88%)	37/40 (93%)

TP: true positive, FN: false negative, TN: true negative, FP: false positive
 PLAN: planar imaging, 7P: seven-pin-hole tomography,
 SPECT: single-photon emission computed tomography using rotating camera

2 mCi 投与), 心拍同期心プール断層像で約 40 分 (^{99m}Tc 20 mCi 投与) であった。なお, Tl 4 mCi 投与で前者は 30 分まで撮像時間の短縮が可能であった。心拍同期心筋断層像では, 拡張末期に心尖部は同期しない断層像 (Fig. 2) と同じく薄く描出されており, 本現象が心尖部の動きの低下によるものではなく, 解剖学的に壁が薄いことによることが明らかとなった。

次に, 17例の正常群と23例の心筋梗塞群の従来の心筋シンチグラム (PLAN), 7ピンホールコリメータによる断層像 (7P), SPECT の各種イメージの成績を Table 1 に示す。有病正診率 (sensitivity) は PLAN で 74% であったが, 7P では 91%, SPECT で 96% と高く, 断層像を得ることにより病巣の検出能は明らかに向上した。他方, 無病正診率 (specificity) は PLAN で 94%, SPECT で

88% と高い成績を示したが, 7P では false positive が 5 例にみられたため, 71% と他に比べ低い成績を示した。従って診断の精度 (accuracy) は, PLAN で 83% であり, 7P では 83% で有意な向上はみられなかった。一方, SPECT では 93% と明らかに PLAN や 7P に比べ, 診断の精度の向上がみられた。

いくつかの症例を供覧する。

[症例 1] 68歳. 女性. 下壁梗塞 (Fig. 4)

心筋梗塞発症の 4 週間後に ²⁰¹Tl 心筋シンチグラフィを施行した。心電図では II, III, aVf に異常 Q 波を認め, 下壁梗塞が示唆された。PLAN では LAO 45°, 60° 及び左側面像で小さな欠損が認められた。7P では下壁の欠損がより明瞭に描出されている。一方 SPECT においては, 横断断層像の場合, 欠損を正面から見上げるため, 下壁

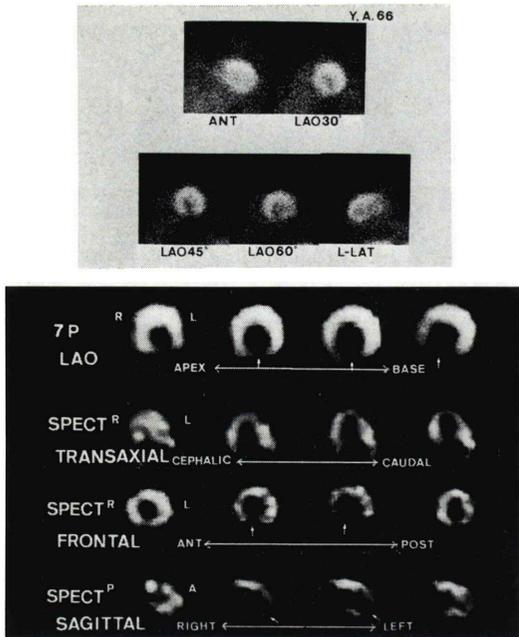


Fig. 4 Planar, 7P and SPECT images in a case with inferior infarction (case No. 1). Planar images show small perfusion defect in the inferior wall. 7P tomogram and SPECT (especially in the frontal and sagittal sections) show the defect more clearly.

部に activity の低下した部位があるが明らかな欠損とは断定しにくい。前額断層像及び矢状断層像では欠損を接線方向にみるため、容易に欠損を描出できた。

[症例2] 69歳. 女性. 前壁梗塞 (Fig. 5)

胸痛発作が3週間前にあり、心電図上前壁梗塞と診断された。PLAN では前面像でわずかに心尖部の activity の低下とみるが、肺野の集積が著しく、明らかな欠損は認められない。7P における LAO からの短軸断層像では、欠損は明らかでないが、RAO からの長軸断層像を追加すると、矢印の如く心尖部に明瞭な欠損がみられる。短軸断層像で欠損の描出が困難であったのは、欠損を正面にみていたためと考えられた。SPECT 像では、横断断層像で最も的確に欠損をとらえているが、他の断層面でも描出は可能である。

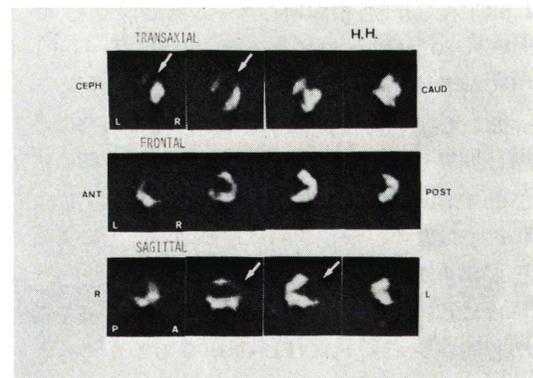
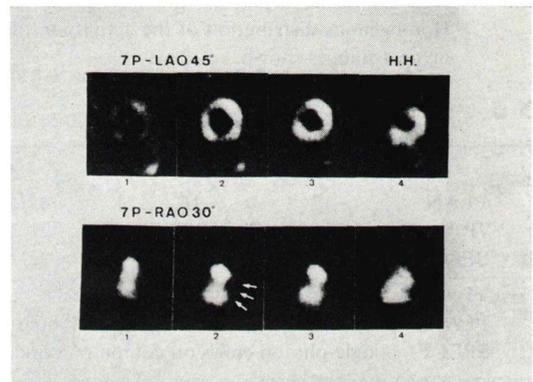
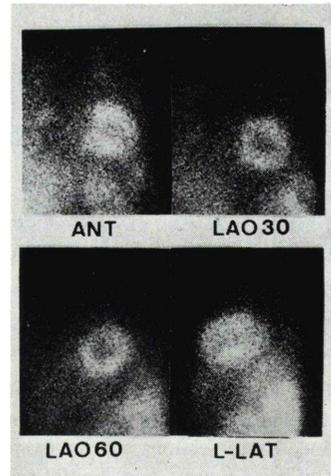


Fig. 5 Planar, 7P and SPECT images in a case with anterior infarction (case No. 2). Perfusion defect, which can hardly be seen in planar images or 7P tomography in LAO projection, is clearly visualized in 7P tomography in RAO projection and SPECT.

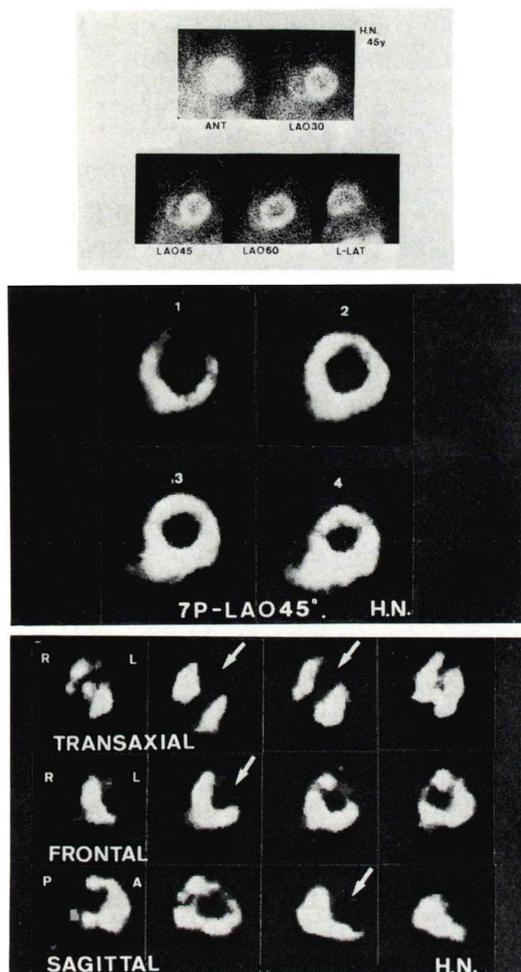


Fig. 6 Planar, 7P and SPECT images in a case with high lateral infarction. (case No. 3) Perfusion defect, which can not be seen in the planar images, is clearly seen in 7P tomography and SPECT.

〔症例 3〕 45歳. 男性. 側壁梗塞 (Fig. 6)

胸痛発作があり酵素の上昇を認め、典型的な急性心筋梗塞の経過をたどった症例である。発作 1 ヶ月後の心電図では、aVL に Q 波を認めた他に異常は認められなかった。PLAN では右室が軽度描出されている他、特に心筋梗塞を示唆する所見はみられない。7P による短軸断層像では、高位側壁にわずかな欠損が認められる。さらに SPECT 像では、横断断層像で矢印の如く心尖部

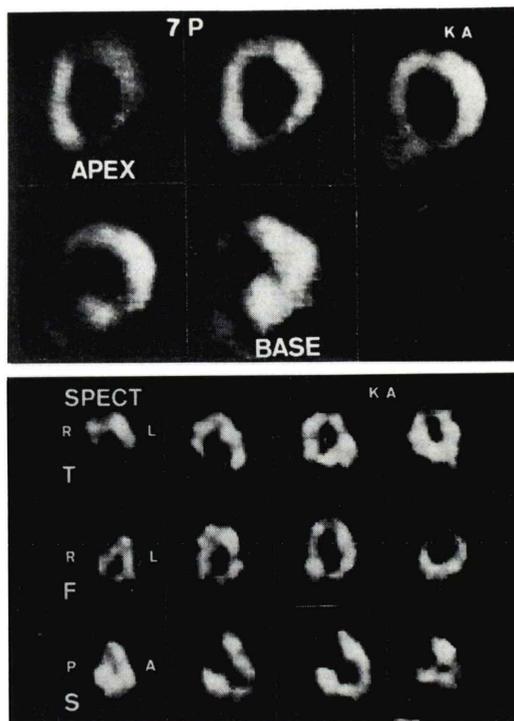


Fig. 7 7P and SPECT images in a case without evidence of myocardial infarction (case No. 4). Perfusion defect is falsely visualized in 7P tomography.

から側壁にかけての欠損が明らかである。また前額断層像、矢状断層像でも矢印に示したように欠損が認められる。本症例は以上の断層シンチグラムの結果、本来心電図などでは診断の困難といわれる、高位側壁の心筋梗塞と考えられた。

〔症例 4〕 34歳. 女性. 甲状腺機能亢進症 (Fig. 7)

上記疾患のため ^{201}Tl 甲状腺シンチグラムを施行し、その直後より心筋の PLAN, 7P, SPECT 像を作成した。本例は動悸の他には自覚症状はなく、心電図や酵素の異常は認められず、正常人群に属する。7P 像では側後壁にかけて activity の低下した部位がみられ、心筋梗塞が示唆される。しかし SPECT では、どの 3 つの断層面とも ^{201}Tl はほぼ均等に分布しており、心筋梗塞は除外できる。7P 像の所見は false positive であると判断された。

IV. 考案

^{201}Tl 心筋シンチグラフィは、非侵襲的に心筋血流分布を観察できる方法として、幅広く利用されているが^{11,12)}、従来の二次元画像では、健常部心筋や肺や肝などの周囲臓器との重なりのため、十分に評価しえない場合がある。特に心筋梗塞例においては、半数以上に肺うっ血によると思われる肺野への TI の集積増加がみられ¹³⁾、梗塞部の判定を困難にする。今回検討した、7ピンホールコリメータによる心筋断層像(7P)や、回転型ガンマカメラによるエミッション CT 像(SPECT)は、二次元画像上での重なり合いを除去できるため臨床的有用性が期待される。我々は第1報で、欠損の検出能や再構成された断層像の信頼度につき報告した¹⁰⁾。その基礎データがどのような形で臨床成績に反映するかが、今回我々の意図する所である。

まず欠損の検出能については、病巣を接線方向にみる必要性を強調したが、臨床例でもその実験成績を忠実に反映していた。すなわち、下壁梗塞では症例1に示したように、SPECTの横断断層像では欠損の検出が困難であり、欠損を接線にみる前額断層像、矢状断層像が有用であった。近年、多田ら^{14,15)}が Tomoscanner を用いた心筋横断断層像を検討し、下壁梗塞の成績がやや低下すると報告しているが、我々の横断断層像における成績もそれを裏付けている。一方心尖部の欠損は、症例2に示したように左室短軸断層像では診断困難である。これは限られた方向での限られた像をあえて集約加工して断層表示する場合、円筒状の画像集約を強いる必要があるが、そのため心尖部は開口した形で画像再構成されることになる⁶⁾からである。さらには7P像にイメージの波及の問題^{5,10)}があるため、心尖部の小さな欠損に限らず、前壁の大きな欠損も正面から撮像すればほとんど描出されない場合も生じる⁴⁾。我々はこの点で、症例により RAO からの長軸断層像を追加しているが、腹部臓器や右室の activity と重なる欠点もあり、さらには再構成上で意図的に円筒状の像を作ろう

とする傾向のある⁶⁾ことを考慮すると、LAO ほどのいい画質は期待できない。この点で SPECT では、心尖部を含め前壁の欠損の同定には、これを接線方向に観察できる横断断層像が有用であった。いずれにせよ、一方向からの断層像だけでは、左室の病巣のすべてをカバーすることは困難であると考えられる。この点、我々の用いた SPCET は、3方向からの断層像が得られ有利である。特にわれわれはファントム実験の成績¹⁰⁾を生かして、SPCET 像の読影の際に2方向以上の断層像で欠損が認められた場合を異常とし、診断の精度の向上を計った。

臨床例40例の成績では、7Pでは sensitivity の向上がみられたが、specificity の低下のため、accuracy は PLAN と変わらない成績にとどまったのに対し、SPECT では sensitivity, specificity 共に高い成績が得られ、最も良い accuracy が得られ、本法の有用性が裏付けられた。7P像では、限られた角度からのデータ収集であるのに加えて、ピンホールに由来する像のゆがみのため、artifact を作りやすく、false positive 例を生じる結果になったのではないかと考えられる。この点で SPECT は、360°データ収集であり、精度の高い断層像が得られ、真の意味での三次元的な ^{201}Tl 分布を描出できる。従って臨床成績でも最良の結果が得られたものと思われる。

7Pの利点は安価で簡便に断層像が作れることにある。位置決めがやや困難であり、撮像に多少の時間をとられるが、おおむね SPECT の半分で済む。従って心拍同期画像の作成も比較的短時間で可能である⁴⁾。さらには、ポータブルガンマカメラにも装着可能であるから CCU などの重症患者にも適用できる利点がある。このように、臨床面での7Pの応用範囲はまだ広いといえる。他方、SPECT は撮像時間が22分で十分臨床的利用はできる。しかし、心拍同期画像を得るとなると時間がかかりすぎる。今後、機器の改良や新しい放射性医薬品の開発が切に望まれる所である。

なお、現在、ガンマカメラを180°回転させ断層像を作成する方法を検討中であるが、本法は画

質を劣化させることなく撮像時間の短縮ができ、今後有用となりうると考えられる。

V. 結 語

正常人17例, 心筋梗塞例23例, 計40例に従来の ^{201}Tl シンチ (PLAN) に加え, 7ピンホールコリメータによる断層像 (7P) と回転型ガンマカメラによるエミッションCT像 (SPECT) を作成して臨床的有用性を検討し, 次の結論を得た。

1) SPECT 像は, 撮像時間22分 ($\text{Tl } 2 \text{ mCi}$ 投与下) で, 心筋全体をカバーする横断, 前額, 矢状の各多層断層像が得られた。

2) ファントム実験と同様, 臨床例でも欠損部を接線方向にみる断層像が最も優れていた。

3) 心筋梗塞の診断率は, PLAN (sensitivity 74%, specificity 94%, accuracy 83%), 7P で各々 91%, 71%, 83%, SPECT で 96%, 88%, 93% であり, SPECT がいずれも優れていた。

4) SPECT による心拍同期断層法では, 心プール像に40分, 心筋像に60分 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -赤血球 20 mCi, $^{201}\text{Tl } 2 \text{ mCi}$ 投与下で各々 R-R 6 等分) と長時間を要するため, まだ一般的でなく今後の改良が望まれる。

本論文の一部は第45回日本循環器学会総会 (1981年東京) にて発表した。

文 献

- 1) Vogel RA, Kirch D, LeFree M, et al: A new method of multiplanar emission tomography using a seven-pinhole and an Anger scintillation camera. *J Nucl Med* **19**: 648-654, 1978
- 2) Vogel RA, Kirch D, LeFree M, et al: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy: results of standard and multi-pinhole tomographic techniques. *Am J Cardiol* **43**: 787-793, 1979
- 3) Green A, Alderson P, Berman D, et al: A multi-center comparison of standard and 7 pinhole tomographic myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* **21**: P70, 1980 (abst)
- 4) 米倉義晴, 向井孝夫, 山本和高, 他: 7 pinhole collimator による心筋断層シンチグラム. *核医学* **17**: 1267-1278, 1980
- 5) Williams DL, Ritchie JL, Harp GD, et al: In-vivo simulation of thallium-201 myocardial scintigraphy by seven-pinhole emission tomography. *J Nucl Med* **21**: 821-828, 1980
- 6) Rollo FD, Patton JA: Perspectives on seven-pinhole tomography. *J Nucl Med* **21**: 888-890, 1980
- 7) Mukai T, Minato K, Torizuka K, et al: Characteristic of ECT by a rotating gamma camera. 3rd symposium on physical and technical aspects on transmission and emission computed tomography jointed with 7th ICCR. Tokyo, 1980, pp 86
- 8) 鳥塚莞爾, 向井孝夫, 石井 靖, 他: エミッションCT. *臨床放射線* **25**: 1343-1356, 1980
- 9) 向井孝夫, 藤田 透, 石井 靖, 他: ミニコンによる RI 断層像の合成. *映像情報* **9**: 21-27, 1977.
- 10) 玉木長良, 向井孝夫, 米倉義晴, 他: 回転型ガンマカメラによる ^{201}Tl 心筋断層像: 特に7ピンホールコリメータによる断層法との比較検討. 第1報——基礎的検討. *核医学投稿中*
- 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) Wackers FJ, Sokole EB, Samson G, et al: Value and limitations of thallium-201 scintigraphy in the acute phase of myocardial infarction. *New Engl J Med* **295**: 1-5, 1976
- 13) 玉木長良, 米倉義晴, 山本和高, 他: ^{201}Tl 心筋シンチグラフィにおける肺集積の意義——肺の間質性浮腫の評価——. *核医学* **18**: 159-166, 1981
- 14) 多田 明, 前田敏男, 松田博史, 他: ^{201}Tl 塩化タリウムによる心筋断層像. *核医学* **17**: 1241-1247, 1980
- 15) 多田 明, 前田敏男, 松田博史, 他: 心筋 ECT 像と γ カメラ多方向撮像による病巣検出の広がりの評価の比較検討. *核医学* **17**: 1159, 1980

Summary

Evaluation of Emission Computed Tomography Using a Rotating Gamma Camera for Thallium-201 Myocardial Imaging: (2) Clinical Study

Nagara TAMAKI, Takao MUKAI, Yasushi ISHII, Yoshiharu YONEKURA, Kazutaka YAMAMOTO, Kotaro MINATO, Toru FUJITA, Kanji TORIZUKA, Shunichi TAMAKI,* Hirofumi KAMBARA,* and Chuichi KAWAI*

Department of Radiology and Nuclear Medicine,

**3rd Division, Department of Internal Medicine, Kyoto University Faculty of Medicine, Kyoto*

Single-photon emission computed tomography (SPECT) for thallium myocardial imaging using a rotating gamma camera was clinically evaluated in comparison with planar imaging and seven-pin-hole tomography (7P). Seventeen normal persons and 23 patients with prior myocardial infarction were injected with 2 mCi of thallium-201 at rest and examined sequentially by all three modalities. Imaging time was 22 min for myocardial SPECT yielding transaxial, frontal, and sagittal sections, and 60 min for gated myocardial SPECT.

In the detection of myocardial infarction, SPECT

showed both high sensitivity (96%) and specificity (88%), while 7P method improved sensitivity (91%) but decreased specificity (71%) compared with planar imaging (74% and 94%, respectively). Thus, the overall accuracy in SPECT was improved (93%), whereas 7P was not significantly improved (83%) in comparison with planar imaging (83%). Our study indicates that SPECT will provide the most reliable informations in the evaluation of ischemic heart disease.

Key words: ^{201}Tl myocardial imaging emission computed tomography rotating gamma: camera seven-pin-hole tomography myocardial infarction