

## 《原 著》

# 回転型ガンマカメラによる $^{201}\text{Tl}$ 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—

玉木 長良\* 向井 孝夫\* 米倉 義晴\* 石井 靖\*  
山本 和高\* 湊 小太郎\* 藤田 透\* 鳥塚 莞爾\*

**要旨** 近年普及しつつある 7 ピンホールコリメータを用いた断層法 (7P) と、回転型ガンマカメラを用いたエミッション CT (SPECT) による  $^{201}\text{Tl}$  心筋断層像の比較検討をファントム実験で行った。撮像時間は 7P で 10 分、SPECT で 22 分であった。両者とも水中で直径 2 cm の欠損を描出できたが、解像力は 7P では深部につれて低下し、また心尖部の欠損の評価ができない欠点があった。SPECT では一旦データを収集すれば横断、前額、矢状断層像が得られ、いかなる位置の欠損もその最適断面で描出可能であった。また 7P では欠損像が真に存在する面から前方および後方にも波及する傾向がみられ、難点であった。

7P は短時間の撮像が可能で、しかも従来のガンマカメラへの装着だけで簡便に断層像が得られる利点があるが、今回の検討で明らかにされた種々の問題点を理解した上での利用が望まれる。他方 SPECT は、予測された断層像を忠実に表わし、あらゆる角度からの評価が可能であり、幅広い臨床応用が期待される。

## I. はじめに

$^{201}\text{Tl}$  を用いた心筋シンチグラムは、非侵襲的に心筋血流分布を観察する方法として、臨床的に広く利用されている<sup>1,2)</sup>。これら従来の二次元画像としてのシンチグラムは、多方向からの評価によって、はじめて虚血欠損の三次元の把握が可能であるが完全なものではなく、その前後の健常部心筋との重なりや、腹部臓器や肺への集積が、虚血部の診断上の妨げとなってきた。

1978 年、Kirch らにより 7 ピンホールコリメータを従来のガンマカメラに装着して心筋断層像を得る試みがなされ<sup>3)</sup>、その簡便さから近年飛躍的に普及しており、我々もその臨床的有用性を検討してきた<sup>4,5)</sup>。他方、最近では rotating slant-hole collimator<sup>6-8)</sup> や、各種横断断層法が開発され、

種々の方式による  $^{201}\text{Tl}$  心筋断層法が提案されている<sup>9-11)</sup>。

現在まで我々は、GE 社の回転型ガンマカメラを用いて各種臓器の断層像 (エミッション CT 像) を作成し、その臨床的有用性を検討してきたが<sup>12-13)</sup>、今回はこのエミッション CT と 7 ピンホールコリメータによる  $^{201}\text{Tl}$  心筋断層像の比較を、心臓ファントムを用いて実施、両者の特徴を検討したので報告する。

## II. 方 法

左室心筋を想定した厚さ 1 cm、短軸径 6 cm、長軸径 12 cm の中空のプラスチック製紡錘状の心臓ファントムを用い<sup>4)</sup>、水タンク (プラスチック製人体模型) 内で長軸が左前斜位 45°、下方へ 30° に傾かせた位置になるよう心臓ファントムを置いた。壁の部分を  $^{201}\text{Tl}$  (1  $\mu\text{Ci/ml}$ ) で満たし、種々の大きさの円筒形の欠損 (直径 1, 2, 3 または 4 cm) を下壁におき、貫通性梗塞を想定し、欠損の検出能力を検討した。また、直径 2 cm の欠損を下壁、中隔部、前壁、側壁、心尖部の各部におき、イメ

\*京都大学医学部放射線核医学科

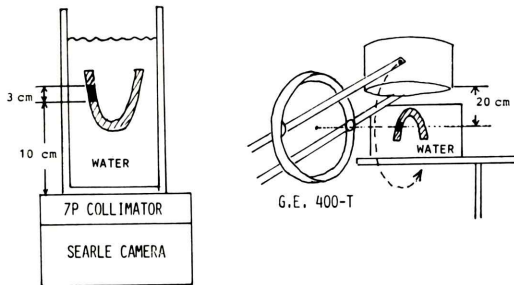
受付：56 年 1 月 12 日

最終稿受付：56 年 3 月 12 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



**Fig. 1** Tomographic imaging configuration for quantitative evaluation using a cardiac phantom with 3 cm-square defect. Defect-to-normal wall count ratio was determined in each reconstructed planes.

ージ上での断層面に欠損が検出されるか否かを調べた。さらに、欠損部と健常部とのコントラストを調べる目的で Fig. 1 に示す如く心臓ファントムの長軸を検出器に垂直に置き、3 cm 正方の欠損を置いて各断層面での defect/normal wall の放射能の比を算出した。なお、いずれのファントム実験も水タンク内で施行した。

#### (1) 7ピンホールコリメータによる心筋断層像

7ピンホールコリメータは CMS 社のものを用い、シンチカメラ (searle, LFOV) に装着して、心臓ファントムを入れた水タンクに対し、左前斜位 (LAO) 45°, および右前斜位 (RAO) 30° よりデータを収集した。この際、コリメータから心臓ファントムまでの最短距離を 10 cm とし、イメージが7つのピンホールコリメータのそれぞれの視野の中央にはいり、はみ出さないように注意した。ピンホールの口径は 5.5 mm を用い、75万カウントを収集した。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、コリメータ面より 10 cm から 25 cm まで10スライスを得た。なお詳細は米倉<sup>4)</sup>の報告に基いた。

#### (2) 回転型ガンマカメラによる心筋断層像

GE 社の Maxi 400-T を用いて、心臓ファントムを入れた水タンクのまわり 360° を22分かけて検出器が回転し、データを収集した。得られたデータを前記のコンピュータにより、重畳積分法を用いて再構成した<sup>12-14)</sup>。この際 Sorenson の方法

**Table 1** Thallium-201 myocardial imaging (phantom study) in 7-pinhole tomography (7P) and single-photon emission CT (SPECT)

	7P	SPECT
Sampling time	10 min	22 min
Reconstruction time	1 min	3 min (20 sec/slice)
Slice thickness	10-30 mm	12 mm
Projection	LAO	{transaxial frontal sagittal}
FWHM (Z-axis)	10-40 mm	15 mm
FWHM (X, Y-axis)	10-20 mm	15 mm

を用いて  $\gamma$  線吸収補正を行なった。一回のデータ収集から心臓の横断面、前額面、矢状面の各断層像を得た。各断層面の厚さは 12 mm で、平均 15万~20万カウントが集められた。なお前額面、矢状面が心臓のそれぞれ短軸、長軸断面となるように、データ収集は LAO 45° より開始した。

### III. 結 果

#### 1) 基礎データの比較

心臓ファントムについての7ピンホールコリメータによる心筋断層法 (7P) と、回転型ガンマカメラを用いた断層法 (SPECT) の基礎データの対比を Table 1 に示した。7P では10分、SPECT では22分で撮像が可能である。再構成時間は、我々の用いたシステムでは、7P では約1分、SPECT では1スライスに約20秒、心筋全体で約3分と短時間で再構成像が得られる。しかしながら再構成像は、7P ではコリメータに平行な断層像しか得られず、従って LAO からのデータ収集では心筋の短軸断層像のみであり、長軸断層像を得るには RAO からのアプローチが必要となる。他方 SPECT では、体軸のまわり 360° のデータ収集であり、心筋の横断断層像 (水平像)、前額断層像 (短軸像)、矢状断層像 (長軸像) がすべて得られる。また、ラインスプレッドファンクションより求めた半値幅は、7P では深さ方向ではコリメータからの距離が離れるにつれ 10 mm から 40 mm と著明に低下し、横方向では 10 mm から 20 mm とやや低下した。(コリメータからそれぞれ 10 cm, 25 cm の距離の点での計測値を示した)。一方

SPECT では、深さにほぼ無関係に 15 mm (半値幅) という一定値を示した。すなわち、7P では深部に行くに従い解像力が極度に低下するのに対し、SPECT では深さに無関係な解像力を有することがわかった。

2) 欠損の検出能について

1 cm から 4 cm の大きさの欠損を下壁において心臓ファントムで実験を行ない、欠損の検出能

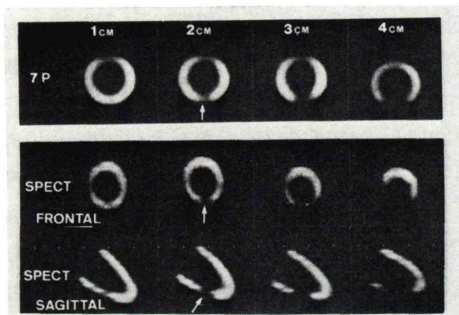


Fig. 2 7P and SPECT images of the phantom with 1 through 4-diameter defect situated in inferior region. The appropriate images to show the defect in each section are selected. Both methods can visualize larger than 2 cm-diameter defect.

の検討を行なった (Fig. 2). 7P, SPECT 共に 1 cm の欠損は検出困難であったが、最小 2 cm の欠損は検出しえた。しかしながら、7P では欠損を心基部におくと (すなわちコリメータからの距離を遠ざけると)、もはや 2 cm の欠損の判別は不能となり、深部での解像力の低下を反映していた。

次に下壁、中隔部、前壁、側壁、心尖部に 2 cm の欠損をおき、7P, SPECT を試みた。SPECT では、いずれの欠損も横断、前額、矢状のいずれか 2 つ以上の断層像に描出された (Fig. 3)。他方 7P では、前者の欠損は LAO 方向の短軸断層像で描出されたが、心尖部の欠損はコリメータからの距離が近いにもかかわらず、短軸像では正面に位置するために検出が困難であり、RAO 方向からの長軸断層像が必要であった (Fig. 4)。以上、各位置における欠損検出能に関するデータをまとめて Table 2 に示した。欠損検出に際しては、欠損を観察軸の接線方向にみるような断面を選ぶことが必要であり、7P, SPECT における各々のいずれの断層像においても、欠損の位置によっては描出困難な場合があった。この点 SPECT は 3 つの断

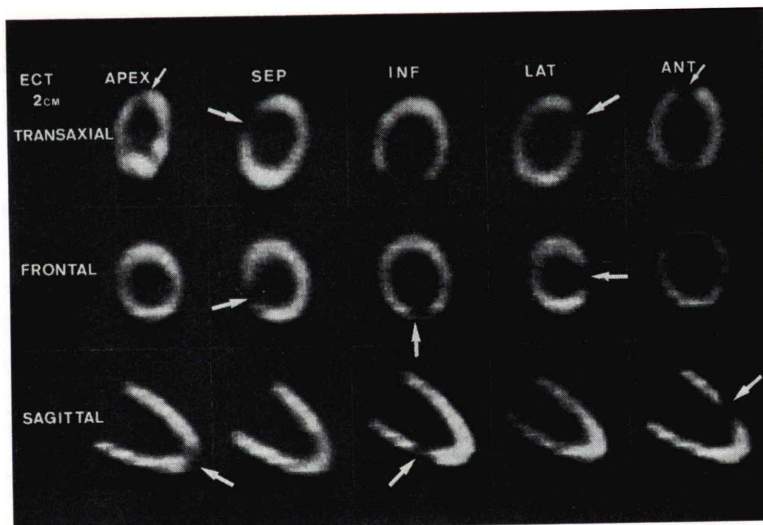


Fig. 3 SPECT images of the phantom with a 2 cm-diameter defect situated in various positions. The defect often can not be visualized in a certain sections because of the "en-face" position, however, the defect in any position is seen in either transaxial, frontal, or sagittal tomograms.

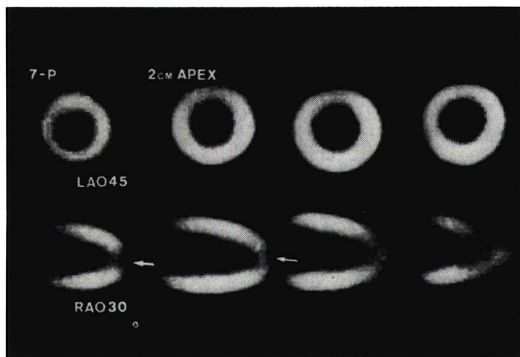


Fig. 4 7P images in 45-LAO and 30-RAO projections of the phantom with a defect placed in the apical region. The defect which can not be seen in the tomograms in LAO projection, is visualized in those in RAO projection.

Table 2 Detectability in the study with cardiac phantoms

Tomography section	Site of thallium defect				
	Inferior	Septal	Anterior	Lateral	Apical
7P-LAO	○	○	○	○	×
7P-RAO	○	×	○	×	○
SPECT-T	×	○	○	○	○
SPECT-F	○	○	○	○	×
SPECT-S	○	×	○	×	○

T: transaxial, F: frontal, S: sagittal  
○ = detectable, × = not detectable

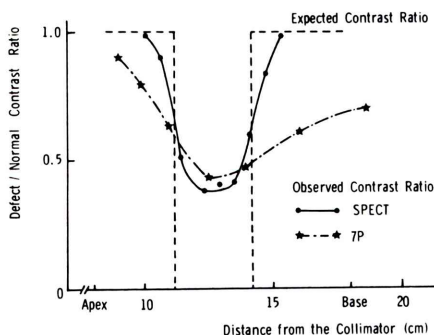


Fig. 5 Defect-to-normal wall counts ratio in each reconstructed planes of both tomographies. 7P indicates slightly lower image contrast and considerable forward and backward propagation of the defect into some reconstructed planes that do not contain it.

層像が再構成され、いずれの欠損も2つ以上の断層像で描出が可能であった。

3) 欠損部と健常部とのコントラストについて

Fig. 1の方法にて、各断層面での欠損部と健常部とのカウントの比(D/N比)を算出した。その結果をFig. 4に示す。破線は理想的なD/N比を示しており、7PとSPECTのD/N比は最低値がそれぞれ0.44と0.38を示しており、SPECTの方がわずかながら良好なコントラストが得られた。さらには7Pの場合、本来欠損がないはずの断層面でもD/N比が低値をとり、欠損が実際より深さ方向に長く描出されていた。すなわち、7Pでは真に欠損の存在する面より前方および後方の面にも欠損像が波及する傾向があった。この傾向は、特に解像力の低下する後方の断層面に強くみられた。他方SPECTでは、このイメージの波及の現象はほとんどみられず、本来のD/N比に比較的近い曲線が得られた。

IV. 考案

RIを用いた断層シンチグラムは大別して2つに分けられる。ひとつは、検出器を水平に走査して体軸に平行な断層像を得る縦断断層法であり、もうひとつは、被検者の周囲に検出器を置か、検出器を回転させて、体軸横断断層像を得る方法である。7Pやrotating slant-hole collimatorは前者に属し、multicrystal cameraやrotating cameraなどは後者に属する。7Pはkirchら<sup>3)</sup>により紹介されて以来、<sup>201</sup>Tl心筋断層像が簡便に得られ、臨床的にも有用であるとされ、我々も同様の結果を得た<sup>4,5)</sup>。他方、横断断層法も近年しだいに普及し、CleonやTomoscannerを用いた<sup>201</sup>Tl心筋断層像の報告も散見されるようになった<sup>9-11)</sup>。さらにはGE社から回転型ガンマカメラが市販され、それを用いた心筋断層像の利用も大いに期待されるようになった<sup>16)</sup>。そこでまず、これら基本的に異なる2種のRI断層法を比較検討し、その特徴を十分に理解して利用する必要がある。

我々のファントム実験では、7P, SPECT共に最小2cmの欠損の検出は可能であった。しか

し、7Pは深部にゆくに従い著明に解像力が低下するため、深部にある2cmの欠損の検出は困難であった。また従来から用いられているLAO方向からの7Pでは、心尖部の欠損が正面に位置するために描出されない場合もあり、新たにRAOからのデータ収集が必要となった。このように、限られた方向の断層面しか得られない7Pは、一旦データを収集すればあらゆる方向からの断層面の得られるSPECTよりも劣ると考えられた。

さらには、7Pにおける欠損部と健常部とのカウント比(D/N比)は、SPECTよりも悪く、イメージが真に存在する面よりも前方および後方に波及してしまう傾向を有することも示された。これは7Pのイメージが、その断層面を必ずしも正確に表わしていないことを意味している。再構成像の精度の点では、SPECTが明らかに7Pに優っていた。これは、SPECTが360°方向からのデータ収集に対し、7Pはごく限られた方向からのデータ収集に基いているためと考えられる。Williamsらは詳細なファントム実験から、7Pのイメージの波及の問題を検討しており<sup>17)</sup>、Budingerらは限られた方向からのデータ収集により再構成された断層像が、必然的に像のゆがみを伴う不安定なものであると述べている<sup>18)</sup>。さらには、7Pの場合その再構成の過程で、特別な加重因子を加えることにより、意図的にドーナツ状のイメージにしようとする傾向があり<sup>19)</sup>、本来の心筋像を忠実に再構成していないことは明らかである。このように現在の7Pには、限られた方向での再構成像である問題点に加えて、ピンホール像であるための問題点がある。すなわち、深さ方向の解像力の著明な低下はピンホール像に由来するものであり、辺縁での像のゆがみも再構成像でのアーチファクトの原因となる。近すぎる心尖部の再構成像が信頼できないのは、この点にもある。この点について、外山らはコリメータの焦点や口径を変えることにより、深部方向の解像力の改善を試みている<sup>20)</sup>。また近年みられるrotating slant-hole collimatorは、平行コリメータによるデータ収集であるから、ピンホール像に基づく欠点除去され、

視野もかなり広くなり、その有用性が期待されている<sup>6-8)</sup>。縦断断層法は、このようなコリメータの工夫等の種々の改善が加えられるべきだと思われる。しかし、その利点は7Pをはじめとする各種の縦断層用コリメータが従来のガンマカメラに装着可能であり、安価でかつ比較的短時間でデータ収集が可能であり、従って比較的容易に断層像が得られる点にある。このような7Pの魅力は捨てがたく、今後も臨床に広く利用されるべき検査法と思われる。ただ利用の際に、前述したような7Pの問題点を十分に理解した上での使用が必要である。

横断断層法は古くから試みられていたが<sup>21)</sup>、十分なイメージは得られなかった。近年、multi-crystal方式<sup>9)</sup>やscanner<sup>10-11)</sup>による $^{201}\text{Tl}$ 心筋断層法が報告されるようになり、ようやく臨床的に実用が可能となった。しかしながら、多断層面において十分なイメージを得るには撮像時間が長く、ルチン検査にはまだ不向きな面も多いといえる。我々の用いた回転型ガンマカメラは、 $^{201}\text{Tl}$ 心筋断層法の場合、22分でカメラを一回転させデータ収集することにより、心筋全体を含む多断層像を3つの方向(横断、前額、矢状面)について得ることができ<sup>12,13)</sup>、1スライスあたりの計数は150~200万カウントで、ファントム実験でも臨床例でも、診断に足る十分なイメージを得ている。

SPECTは本来広範囲のデータ収集だけに、7Pなどの縦断断層法よりもデータ収集に時間を要することはやむを得ないが、22分という撮像時間であれば、ルチン検査にも十分利用が可能である。ファントム実験では7Pに比べ良いコントラストが得られ、7Pのように他の断層面への波及が少なく、予測される断層像をより忠実に表わすことが示された。検出能は7Pと大差はなかったが、深部方向での解像力の劣化を伴わないため、深部病変の描出も十分期待できる。さらには、3方向からの断層像が得られるため、一つの断層像で欠損が明らかでない場合も、他の断層像でそれを明瞭にすることができる。データ収集に時間がかかり、また特殊機器を必要とするとはいえ、断層像としての安定性を考えると、機器および放射性医

薬品の改良により、将来は横断層法が三次元把握の主流となると考えられる。

なお、臨床例の検討は、別報で詳細に述べる予定である。

## V. 結 語

水中で  $^{201}\text{Tl}$  心臓ファントム実験を施行し、回転型ガンマカメラによるエミッション CT 法 (SPECT) と 7 pinhole 法 (7P) と比較検討した。

1) 撮像時間は 7P では10分と短かく、SPECT でも22分でもともに実用範囲内であった。

2) 7P, SPECT とともに最小 2 cm の欠損像が描出できたが、7P では深部に位置した 2cm の欠損は検出できなかった。

3) 7P では正面に位置した心尖部の欠損を描出できなかったが、SPECT では横断、前額、矢状の3つの断層像が得られるため、いかなる位置の欠損もいずれかの断層面でもとらえることができ、有利であった。

4) 欠損部と健常部とのコントラストは SPECT の方が 7P よりやや良く、7P では真に欠損のある面から前方および後方にイメージが波及する現象がみられた。SPECT は各断層面を忠実に再構成していることが示された。

本論文の一部は第20回日本核医学会総会 (1980年群馬) および第40回日本医学放射線学会 (1981年福岡) にて発表した。

## 文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) Vogel RA, Kirsh D, LeFree M, et al: A new method of multiplanar emission tomography using a seven-pin-hole and an Anger scintillation camera. *J Nucl Med* **19**: 648-654, 1978
- 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) Yonekura Y, Ishii Y, Yamamoto K, et al: Clinical efficacy of myocardial perfusion tomography with 7-pin-hole collimator. *J Nucl Med* **21**: P71, 1980 (abst)
- 6) Gottschalk SC, Smith KA, Wake RH, et al: Comparison of seven pinhole and rotating slant tomography of a cardiac phantom. *J Nucl Med* **21**: P27, 1980 (abst)
- 7) Shosa DW, O'Connell JW, Hattner RS: Motivation for the rotating slant hole approach to scintillation camera tomography. *J Nucl Med* **21**: P27, 1980 (abst)
- 8) Chang W, Lin SL, Henkin RE, et al: A Multisegmental slant hole tomographic collimator (MUST): A new tomographic gamma camera system. *J Nucl Med* **21**: P28, 1980 (abst)
- 9) Holman BL, Hill TC, Wynne J, et al: Single-photon transaxial emission computed tomography of the heart in normal subjects and in patients with infarction. *J Nucl Med* **20**: 736-740, 1979
- 10) Maublant J, Jourde M, Veyre A, et al: Transverse CAT of the myocardium with  $^{201}\text{Tl}$ . *Eur J Nucl Med* **4**: 457-459, 1979
- 11) 多田 明, 前田敏男, 松田博史, 他: 201 塩化タリウムによる心筋断層像. *核医学* **17**: 1241-1247, 1980
- 12) 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 P86, 1980, Tokyo.
- 13) 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
- 14) 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
- 15) Sorenson JA: Quantitative measurement of radioactivity in vivo by whole body counting. *Instrumentation in Nuclear Medicine, Vol. 2*. Academic Press, P311, 1974, New York.
- 16) Goodwin PN: Recent developments in instrumentation for emission computed tomography. *Semin Nucl Med* **10**: 322-334, 1980
- 17) Williams DL, Ritchie JL, Harp GD, et al: In-vivo simulation of thallium-201 myocardial scintigraphy by seven-pin-hole emission tomography. *J Nucl Med* **21**: 821-828, 1980
- 18) Budinger TF: Physical attributes of single-photon tomography. *J Nucl Med* **21**: 579-592, 1980
- 19) Rollo FD, Patton JA: Perspectives on seven-pin-hole tomography. *J Nucl Med* **21**: 888-890, 1980
- 20) Toyama H, Murata H, Iio M, et al: The evaluation of performance of the seven-pin-hole collimators. 3rd symposium on physical and technical aspects on transmission and emission computed tomography jointed with 7th ICCR P90, 1980, Tokyo.
- 21) Kuhle DE, Edwards RQ: Image separation radioisotope scanning. *Radiology* **80**: 653-661, 1980

## Summary

### Evaluation of Emission Computed Tomography Using a Rotating Gamma Camera for Thallium-201 Myocardial Imaging:

#### (1) Phantom Study

Nagara TAMAKI, Takao MUKAI, Yoshiharu YONEKURA, Yasushi ISHII,  
Kazutaka YAMAMOTO, Kotaro NINATO, Toru FUJITA and  
Kanji TORIZUKA

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University Faculty of Medicine, Kyoto*

Single-photon emission computed tomography (SPECT) using a rotating gamma camera for thallium-201 myocardial imaging was evaluated employing a cardiac phantom in comparison with sevenpinhole tomography (7P). A 2 cm-diameter defect of the phantom placed in a water tank was visualized by both tomographic techniques. The SPECT providing transaxial, frontal, and sagittal sections, was able to detect the defect in any position in either of these tomographic sections, while 7P could not show the defect situated in the apical or deep regions of the phantom. The defect-to-normal wall count ratio (D/N ratio) in each image was determined in comparison with the expected activity for the reconstructed plane. The 7P provided slightly higher D/N ratio indicating lower image contrast. In addition, marked image propagation forward and backward was

observed, which implied longitudinal propagation into some reconstructed planes which did not contain it. On the other hand, the SPECT indicated high image-contrast without image-propagation.

Thus, the 7P being simple and requiring rather short time for data-collection and image-reconstruction, has severe quantitative limitations. On the other hand, the SPECT provided high spatial resolution, high image-contrast, and accurately reconstructed images. We conclude from our phantom study that the SPECT constitutes a sensitive and reliable method to demonstrate a perfusion defect of the myocardium in the evaluation of coronary artery disease.

**Key words:**  $^{201}\text{Tl}$  myocardial imaging emission computed tomography rotating gamma camera seven-pinhole tomography cardiac phantom study