

《原 著》

Tl-201 心筋ファントムにおける SPECT 斜断層再構成の 再現性と定量性の検討

分校 久志*	南部 一郎*	関 宏恭*	渡辺 直人*
隅屋 寿*	山田 正人**	松平 正道**	飯田 泰治**
多田 明*	中嶋 憲一*	滝 淳一*	利波 紀久*
久田 欣一*			

要旨 負荷 Tl-201 心筋 SPECT における、washout の評価に対する基礎的検討として、心筋ファントムを用いて、斜断層再構成像の再現性、定量性の検討を行った。再現性は、検者間で変異係数 (C. V.) 平均 6.7% 以下、検者内で 3.3% (C. V.) 以下と良好であった。斜断層再構成における、欠損部位置の変動は、CFP の 1 サンプリング点 (6°) 以内であった。スライス位置の変動は、0.6 スライス以下と、わずかであった。計数の直線性は壁厚 16 mm 以上では約 6% の過大評価のみと、良好であった。心筋 Tl-201 SPECT による 3 次元立体再構成は、絶対的な定量評価には限界があるが、再現性、計数の直線性はともに良好であり、心筋局所ごとの Tl-201 の経時的、相対的定量測定、すなわち、wash-out の測定には、欠損部を除き、十分利用可能と考えられた。

I. はじめに

近年、虚血性心疾患の検出における Tl-201 心筋 SPECT の有用性に関して多くの報告がなされている^{1~4)}。Tl-201 心筋 single photon emission computed tomography (SPECT) においては、心筋の全ての区域を描出するためには、横断像のみならず、心長軸、短軸像の作成による、3 次元的な評価が必要である^{5,6)}。また、負荷後の心筋からの Tl-201 の wash-out の定量的評価^{7,8)}には、負荷、再分布像の両者で、正確な心筋区域の対応が必要となる。すなわち、負荷 Tl-201 心筋 SPECT による、wash-out の測定を含めた、虚血性心疾患の検出の臨床的有用性を評価する上で、

再構成像における定量性、および、斜断層再構成における心長軸・短軸再構成像の再現性は、重要な因子である。

今回、負荷 Tl-201 心筋 SPECT における、wash-out の評価に対する基礎的検討として、心筋ファントムを用いて、再構成像の定量性、再現性の検討を行ったので報告する。

II. 方 法

心筋ファントムは、全層および内膜下の欠損を有する、最大径 8 cm の円錐台形のもの、および、欠損を有せず内腔が偏在する軸外れのものを作製して用いた。軸外れファントムでは、壁厚は 0~23 mm まで、連続的に変化させてある^{2,9)}。各ファントムには、0.5 mCi の Tl-201 を心筋壁の部分に注入し、心内腔の部分には水を注入した。

SPECT は高分解能コリメータを装着した、島津製シンチカメラ (ZLC) 対向型 ECT 装置、およびシンチパック 2400 を用い、コリメータ間距離

* 金沢大学医学部核医学教室

** 同 アイソトープ部

受付：59年1月9日

最終稿受付：59年3月29日

別刷請求先：金沢市宝町13-1 (番号920)

分校 久志

46 cm とし, 6° ごと 30 投影方向にて, 360° のデータ収集を行った。1 投影方向のデータ収集時間は 30 秒とした。定量性については、空気中および水中にて測定を行った。再現性の検討には、心筋ファントムを水中にて断層面に対し、30°, 30° の斜位に固定して撮像した、1 ピクセル (6 mm) ごとの横断断層像を原データとして用いた。心長軸、短軸像は、SPECT に習熟した 4 人の医師および技師 (#1 群)、および、SPECT で長軸設定の経験のない 4 人の医師 (#2 群) で、それぞれ、ファントムの横断断層像より、斜断層像再構成プログラム (OBLIQ) を用いて作成した (Fig. 1)。OBLIQ プログラムによる心短軸断層像の作成は、まず、一連の横断断層像より左室中央部分のスライスを選択して表示し、横断像での左室長軸を手動で設定し (Fig. 1 左上), 長軸が画面の垂直方向となるように横断像を回転した後 (Fig. 1 左下), この長軸に平行な左室矢状断層像を作成して、その中央の 1 スライスを表示する。ついで、この長軸像で再度左室長軸を設定し (Fig. 1 右上), 長軸

が画面の水平方向になるように回転し、長軸に直角の短軸像を作成する (Fig. 1 右下)。すなわち、2 回の長軸設定操作が必要である。以上の再現性および定量性は、短軸像の欠損部の中心より 6° ごとの circumferential profile (CEP)¹⁰⁾ を作成して評価した。

III. 結 果

水中で斜位に置いたファントムの横断断層像から、別々の検者が斜断層再構成を行った短軸像では、それぞれの再構成像は比較的良く一致しているが、画像の歪と散乱線および減弱の影響と思われる体の厚さ方向(上下方向)でのアーチファクトが見られた (Fig. 2)。短軸再構成像における CFP の 60 点のおのおのについて算出した検者間での変異係数 (C.V.: 標準偏差 ÷ 平均 × 100 (%)) は、#1 群においては、画像内の最高値に対する計数の相対値(計数比)で、最大でも約 10%，全欠損(TD)、および内膜下欠損(PD) 部でそれぞれ平均 6.7% と少ない。#2 群における検者間の C.V. は、全

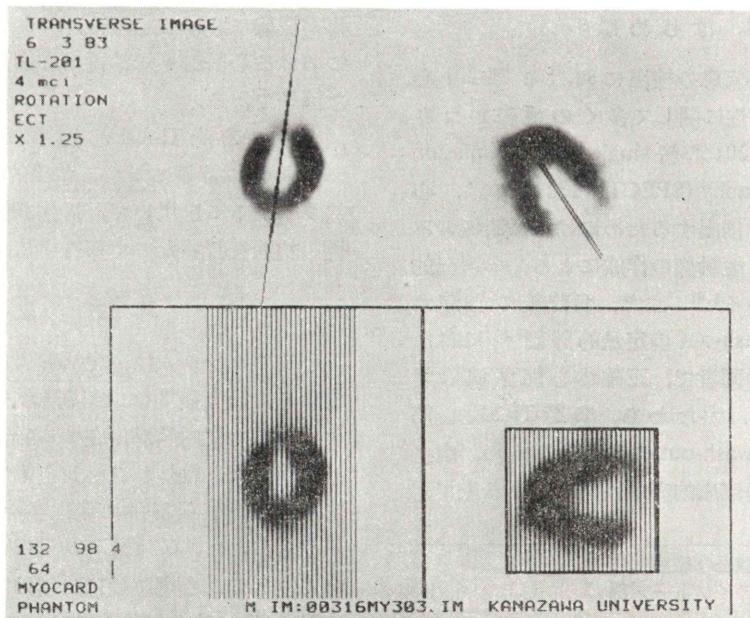


Fig. 1 Long axis was manually indicated in the transaxial image (left upper), and resulted vertical long axial image (right upper) in which long axis was again indicated manually.

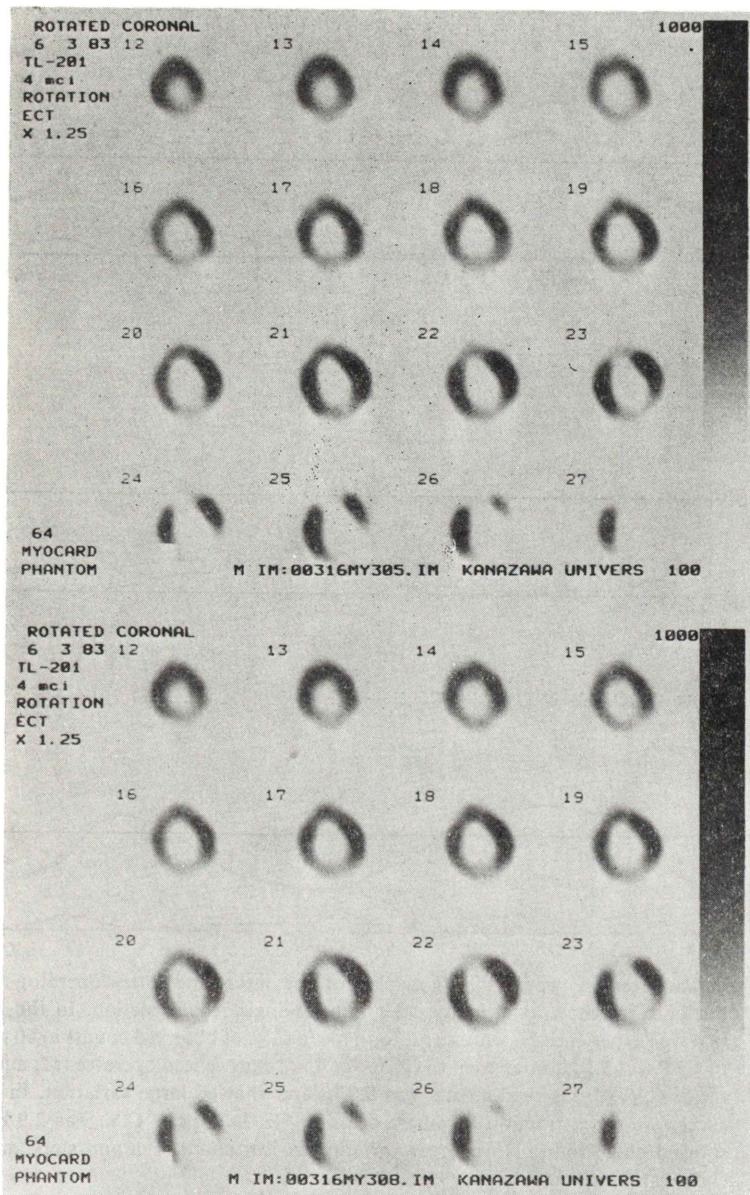


Fig. 2 Short axial tomograms of defect phantom by oblique-angle reconstruction. Two sets of images were obtained from different operator (H. B. and M. Y.) using same transaxial tomographic data and were quite similar each other.

体に前者よりばらつき、大きい値を示した。計数の絶対値では、#1群で TD および PD 断面とも、計数比よりも C.V. は減少したが(それぞれ 5.1 %, 3.0%), #2群ではむしろ増大した。

同一検者が 3 回操り返し長軸設定を行った場合

の再現性は、検者間より良好な値を示し、TD および PD 断面にて C.V. はそれぞれ、約 3%, 1.5% であった (Fig. 3, Table 1)。

以上のいずれの場合においても、計数値の変化する、欠損・非欠損の境界部、および壁厚の小さ

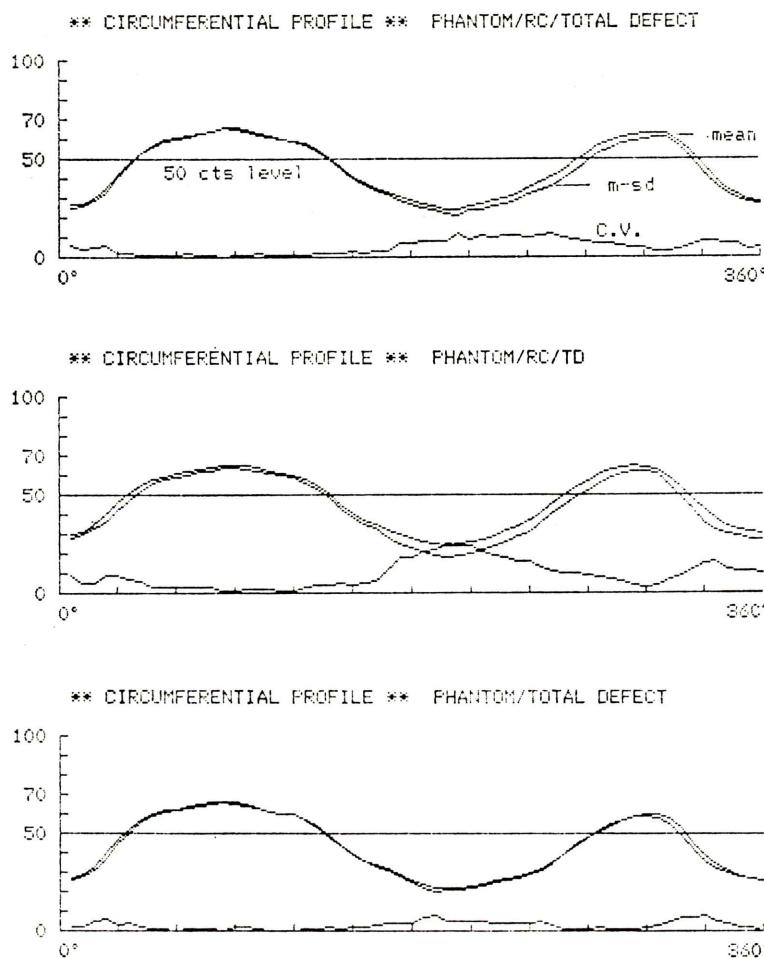


Fig. 3 Circumferential profile (CFP) display of the inter- and intra- operator reproducibility of short axial image after oblique-angle reconstruction. In the group of 4 well experienced operator (#1, top), mean C.V. of observed counts in 60 points of CFP was 5.1%, whereas in the group of 4 not experienced operator (#2, middle), mean C.V. of observed counts was 9.2%, and showed large variation. In the 3 successive reconstruction by single operator (H. B.), mean C.V. was 2.9% and showed best results. Note larger variation in low count area and slope area in each instances.

い低計数部において、C. V. が大きい傾向を示した (Fig. 3).

斜断層再構成における、欠損部位置の変動は、#1群で、標準偏差 (S.D.) 4.9°～5.7° と、CFP の 1 サンプリング点 (6°) 以内であった。同一検者内では、3 回の繰り返しにて、欠損部位置の変動は見られなかった。欠損を含むスライス位置の変動

は、検者間、検者内で、それぞれ、S.D. 0.5 および 0.6 スライスと、わずかであった。斜断層再構成時の心短軸像での欠損部計数値の変動は、計数比で S.D. が最大 3.7%，絶対値では最大 2.4% と良好であった。特に、同一検者内では全く変動を認めなかった (Table 2)。

定量性に関しては、ファントム長軸を断層面に

Table 1 Inter- and intra-operator reproducibility of oblique-angle reconstruction. All values are expressed as C.V. %

Interobserver	TD plane		PD plane	
	CVmean	CVsd	CVmean	CVsd
#1 relative				
(% of max)	6.7	4.1	6.7	4.8
absolute (cts)	5.1	3.5	3.0	1.8
#2 relative				
(% of max)	8.4	6.1	7.8	6.4
absolute (cts)	9.2	6.7	7.9	7.0
#3 relative				
(% of max)	3.3	2.2	1.5	1.5
absolute (cts)	2.9	2.2	1.5	1.5

#1: 4 experienced operator (3 technologist+H. B.).

#2: 4 not-experienced doctors. #3: 3 trials by H. B.

Table 2 Inter- and intra-operator variability of defect location and counts in oblique-angle reconstructed short axial tomograms

Item	Loc. (°)	CR(%)	Cts.	Slice No.
Inter-observer (n=4)				
TD	114.0	40.1	26.8	23.8
	sd	4.9	2.2	1.5
PD	118.5	52.1	35.5	21.8
	sd	5.7	3.7	2.4
Intra-observer (n=3)				
TD	108.0	39.2	26.0	22.7
	sd	0.0	0.3	0.6
PD	114.0	49.3	34.0	20.7
	sd	0.0	0.0	0.6

(TD=total defect, PD=partial defect, CR=counting ratio)

Table 3 Comparison of quantitativity of defects by SPECT

Phantom L	TD	PD
Shimazu in air	0.36	0.65*
in water	0.23	0.50*
Expected value	0.00	0.44
cf. Tomogscanner	0.25	0.46*,°
7P (Technicare)	0.68	0.79*
PLAN	0.37	0.67

* without ATC ° in water

TD=total defect, PD=subendocardial partial defect, ATC=attenuation correction, PLAN=planar imaging.

Table 4 Correlation of relative wall thickness of the off-axis phantom and counting ratio by SPECT

In water	R	A	B
TD plane	0.933	0.61	35.26
PD plane	0.867	0.68	26.65
In air	R	A	B
TD plane	0.948	0.55	45.76
PD plane	0.977	0.58	41.88

R: correlation coefficient, CR=A*WT+B

直角に置いた場合の、最も理想的な条件下での、TD、およびPD 計数比は、水中でそれぞれ 23%，50% (それぞれ、計数値 0%，44%) と、従来の報告^{9,11)}とほぼ同様の結果であった。斜断層再構成では、それぞれ 40%，52% と、さらに定量性は低下した (Table 3)。計数比と壁厚は、壁厚 0~23 mm の範囲で、水中および空中にて、相関係数は $r=0.867 \sim 0.977$ と有意に相関した (Table 4)。

TI-201 を注入した同一ファントムを、水中にて同一ジオメトリーで経目的に測定し、その短軸像の 3 スライスの CFP の各点での半減期を測定した。欠損のある部分では、半減期は平均 94~142 時間と延長し、変動も大きいが、非欠損部では平均 77 ± 5 時間と、約 6% の過大評価であるが、本来の TI-201 の半減期 73 時間に近く、また、変動も小さい。空中における、壁厚 0~23 mm のファントムにおいて、壁厚 70% (16 mm) 以上では、半減期は平均 76 時間で、部位によるばらつきも少なかったが、70% 未満では平均 70~80 時間と、大きくばらついた (Fig. 4, Table 5)。

IV. 討 論

心筋 SPECT においては、横断層における下壁、および心尖部の虚血、梗塞のごとく、断層面に平行な心筋病変の検出が困難であり^{2,9)}、この点、横断層のみならず心長軸、短軸断層像等の、3 次元の立体再構成が必要である。また、心長軸、短軸断層像は、心筋区域とのより正確な対応が可能であり、罹患冠動脈領域の推定に有用と思われる^{3,4,6)}。

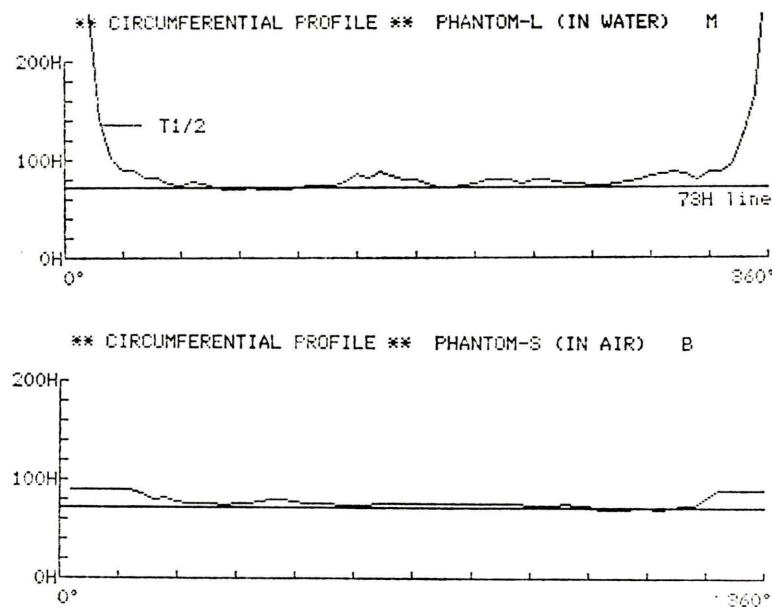


Fig. 4 Temporal quantitatitvity (count linearity) in water (upper) and in air (lower) were shown. In the non-defect area, temporal quantitatitvity was good, however, half-life of Tl-201 was greatly overestimated in the defect or low count area, especially in water.

Table 5 Temporal quantitatitvity of SPECT

(A) Phantom-L (in water)	Non-defect (n=46)	Defect (n=14)	All CFP (n=60)
Total defect	77.3 ± 4.9 hr	142.1 ± 78.9 hr	92.4 ± 46.4 hr
Partial defect	77.2 ± 3.8	93.8 ± 20.0	81.1 ± 12.2
(B) Phantom-S (in air)	WT $\geq 70\%$ (n=20)	WT $< 70\%$ (n=40)	All CFP (n=60)
Basal	75.6 ± 1.0 hr	79.5 ± 7.3 hr	78.2 ± 6.3 hr
Middle	75.8 ± 1.4	70.3 ± 3.2	72.1 ± 3.7
Apical	76.3 ± 1.4	76.3 ± 4.1	76.3 ± 3.4

WT=wall thickness (% of maximum), CFP=circumferential profile

SPECT half-time results (Tl-201: 73 hr)

現在、プラナーイメージにおいて行われている、心筋での Tl-201 の再分布や wash-out^{7,8)} の定量的評価を SPECT で行う場合に、左室長軸、短軸断層像の再現性と、経時的定量性、すなわち、計数の直線性がともに良好であることが前提条件となる。今回の検討では、2回の長軸設定後に得られる、心短軸像の CFP で、再現性を比較したが、心長軸、短軸再構成の再現性は、検者間、検者内

とも良好であった。特に、計数の絶対値で見た場合の再現性は、1断層内の相対値表示より高くなっている。定量評価に十分用い得ると考えられた。長軸設定操作に習熟した検者においては、平均 C.V. で約 3% と、再現性は最も高く、絶対的な定量評価には、同一検者が斜断層再構成像を作成することが望ましい。しかし、計数値の変化する、欠損・非欠損の境界部、および、壁厚の小さい低

計数部では、再現性は高計数部より低下しており、欠損の境界部の定量評価に際して注意を要するとと思われる。これは、欠損部位置の変動が、1サンプリング点(6°)以内と良好であっても、わずかの位置のズレが、計数変化の大きい部分(CFPにおけるslopeの部分)では、大きく影響するためと思われる。

今回用いた対向型カメラのSPECTでの絶対的な定量性については、従来のプラナーイメージよりは改善するが、十分とは言えない。特に、斜断層再構成後には、全欠損部での計数増加が著明であり、定量性はさらに低下した。しかし、内膜下欠損部では、この変化はほとんど見られなかった。また、計数比は実際の壁厚によって大きく影響された。これはSPECTの解像力が、今回用いた装置では、FWHMで約15mmであり、ファントムの壁厚の範囲内では、サンプリング・ボリューム内に含まれてしまい、partial volume effectが生じたためと考えられる。以上の点は、1断層像内での心筋区域相互の比較には注意が必要であることを示している。

経時的な定量性、すなわち、計数の直線性は、Tl-201の半減期でみた場合、本来の73時間より3~4時間長く、これは、散乱、減弱などによる、絶対的定量性の不足、低計数部でのみかけ上の計数の増加などの影響によると思われるが、比較的良好であった。しかしながら、欠損のある部分では、経時的な定量性も悪く、ばらつきも大きい。この点、心筋梗塞のある部分でのwash-outの評価に際して、問題となってくるものと思われる。

V. 結 論

今回の基礎的検討では、心筋Tl-201SPECTによる3次元立体再構成では、絶対的な定量評価には限界があるが、再構成像の位置、計数の再現性は良好で、経時的測定における計数の直線性も良好であった。心筋Tl-201SPECTによる3次元立

体再構成は、心筋局所ごとの経時的、相対的定量測定、すなわち、wash-outの測定には、欠損部を除き、十分利用可能と考えられた。

文 献

- 1) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Clinical evaluation of thallium-201 emission myocardial tomography using a rotating gamma camera: Comparison with seven-pinhole tomography. *J Nucl Med* **22**: 849-855, 1981
- 2) Bunko H, Tada A, Nakajima K, et al: Application of transaxial emissioncomputed tomography (ECT) for Tl-201 myocardial imaging: comparative study with multiple view planar imaging (MVI). *Proc 3rd World Congress of Nucl Med and Biol* p. 3045-3048, Paris, 1982
- 3) 玉木長良、米倉義晴、向井孝夫、他：回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用——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**: 1299-1306, 1983
- 4) 二神康夫、浜田正行、市川毅彦、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**: 1339-1348, 1983
- 5) Borrello JA, Clinthorne HN, Rogers WL, et al: Oblique-angle tomography: a restructuring algorithm for transaxial tomographic data. *J Nucl Med* **22**: 471-473, 1981
- 6) 竹田 寛、前田寿登、中川 毅、他：対向型ガンマカメラによるタリウム心筋断層像：左室軸断層像の臨床的有用性。核医学 **19**: 1237-1242, 1982
- 7) Pohost GM, Alpert NM, Ingwall JS, et al: Thallium redistribution: mechanismus and clinical utility. *Sem Nucl Med* **10**: 70-93, 1980
- 8) Garcia E, Maddahi J, Berman D, et al: Space/time quantitation of Thallium-201 myocardial scintigraphy. *J Nucl Med* **22**: 309-317, 1981
- 9) 分校久志、多田 明、中嶋憲一、他：心筋多方向像と断層像の対比評価。臨放 **27**: 497-505, 1982
- 10) Burow RD, Pond M, Schafer AW, et al: "Circumferential profiles". A new method for computer analysis of Thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* **20**: 771-777, 1979
- 11) Ritchie JL, Larsson S, Israelson A, et al: Single photon tomographic imaging of a standard heart phantom with ²⁰¹Tl: a gamma camera based system. *Eur J Nucl Med* **7**: 254-259, 1982

Summary

Reproducibility and Quantitativity of Oblique-angle Reconstruction in Single Photon Emission Computed Tomography Using Tl-201 Myocardial Phantom

Hisashi BUNKO*, Ichiro NANBU*, Hiroyasu SEKI*, Naoto WATANABE*, Hisashi SUMIYA*, Masato YAMADA**, Masamichi MATSUDAIRA**, Taiji IIDA**, Akira TADA*, Kenichi NAKAJIMA*, Norihisa TONAMI* and Kinichi HISADA*

*Department of Nuclear Medicine, **Department of Radioisotope Technology, Kanazawa University Hospital, 13-1 Takara-machi, Kanazawa, 920, Japan

Three-dimensional oblique-angle reconstruction is necessary for visualization of all of the myocardial segments in Tl-201 myocardial single photon emission computed tomography (SPECT).

In oblique-angle reconstructed SPECT, exact correspondance of each myocardial segments is quite important for quantitative evaluation of Tl-201 myocardial wash-out from stress and redistribution images. This study was carried out in order to evaluate reproducibility and quantitativity of oblique-angle reconstruction of myocardial phantom SPECT. Myocardial phantom with transmural and subendocardial defects, and off-axis phantom with wall thickness changing continuously from 0 to 23 mm were used. Sixty projection data in every 6° were aquired using dual-camera (ZLC) with high resolution collimators connected to Scintipac-2400 computer system. Oblique-angle reconstructed images were obtained by indicating the long axis of the phantom manually in the transaxial and vertical long axial tomograms. Reproducibility and quantitativity were evaluated by creating circumferential profile (CFP) of the finally reconstructed short axial images.

Inter- and intra-operator reproducibility of rela-

tive counting ratio were less than 6.7% (C. V.) and 3.3% (C. V.), respectively. Both inter- and intra-operator reproducibility of absolute counts were better than that of counting ratio (less than 5.1% (C. V.) and 2.9% (C. V.), respectively). Variation of defect location in the reconstructed image and between the slices were less than 1 sampling interval of CFP (6°) and 0.6 slice, respectively.

Quantitativity of counts in the reconstructed images was poor in the transmular defect, but was fair in the subendocardial defect. Counting ratio was greatly affected by wall thickness. Temporal quantitativity or linearity of the counts in sequential SPECTs was good in non-defect area, especially when wall thickness was greater than 70% (16 mm) of maximum.

In conclusion, three-dimensional oblique-angle reconstruction in Tl-201 myocardial SPECT could be applicable to relative and temporal quantitation of local myocardial activity other than defect area for the quantitative evaluation of Tl-201 myocardial wash-out.

Key words: Tl-201, SPECT, Oblique angle reconstruction, Reproducibility, Quantitativity.