

心筋シンチグラフィの基礎的検討

柳元 真一, 友光 達志, 村中 明, 森田 浩一, 小野志磨人, 永井 清久,
大塚 信昭, 福永 仁夫, 森田 陸司, 日地 啓夫*, 西村 明久*, 西下 創一**

心筋イメージング用製剤として知られている, ^{201}Tl , ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の三核種について基礎的検討を行い, 以下の結果を得た.

1) SPECT データ収集における各回転角位置でのエネルギー信号の変動を検討すると, LEHR 装着時の ^{123}I , ^{201}Tl では光電ピーク内への散乱体による影響が大であった.

2) 空間分解能が最も優れた成績を示したのは, LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ であった. ^{123}I については, LEHR 装着時には ^{201}Tl よりも良好な成績を示した. また, MEHS 装着時においては散乱体厚が大きくなると, LEHR 装着時よりも優れた成績を示すことが認められた.

3) planar 像による中隔領域の cold region 検出能は, LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も優れ, 以下 MEHS 装着時の ^{123}I , LEHR 装着時の ^{201}Tl , ^{123}I の順であった. 一方, SPECT 像による後壁領域の検出能については, LEHR, MEHS 装着時の ^{123}I が共に LEHR 装着時の ^{201}Tl よりも良好な成績を示した. (昭和62年12月10日採用)

Fundamental Study for Myocard Imaging Using ^{201}Tl , ^{123}I and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Nuclides

Shin-ichi Yanagimoto, Tatsushi Tomomitsu, Akira Muranaka, Koichi Morita, Shimato Ono, Kiyohisa Nagai, Nobuaki Otsuka, Masao Fukunaga, Rikushi Morita, Hiroo Hiji*, Akihisa Nishimura* and Soichi Nishishita**

Fundamental study for myocardial imaging using ^{201}Tl , ^{123}I and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ nuclides has been performed.

(1) Changes of energy spectra were studied in each radial position on data acquisition of SPECT. The energy spectra in ^{123}I with a LEHR collimator were greatly influenced by scatterer into the range of photopeak.

(2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ with a LEHR collimator was found to be the best system in spatial resolution. The spatial resolution in ^{123}I with a LEHR collimator was better than that in ^{201}Tl with same collimator. Furthermore, with increasing scatterer, ^{123}I with a MEHS collimator was shown superior resolution than that in ^{123}I with a LEHR collimator.

川崎医科大学 核医学科
〒701-01 倉敷市松島577

* 川崎医療短期大学 放射線技術科

** 川崎医科大学 放射線科

Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology,
Kawasaki Medical School: 577 Matsushima, Kurashiki,
Okayama, 701-01 Japan

Radiological Technology Course, Kawasaki College of
Allied Health Professions

Department of Radiology

(3) The best detectability of cold region in septal area in planar image was recognized in ^{99m}Tc with a LEHR collimator, ^{123}I with MEHS, ^{201}Tl with LEHR, and ^{123}I with LEHR, in turn. On the other hand, as to the detectability of cold region in septal area in SPECT image, ^{123}I with a LEHR or MEHS collimator was shown better result than that in ^{201}Tl with a LEHR collimator. (Accepted on December 10, 1987) *Kawasaki Igakkaishi* 14(2): 230-238; 1988

Key Words ① ^{201}Tl myocardial image ② ^{123}I -meta-iodobenzylguanidine (^{123}I -MIBG) ③ ^{99m}Tc -tertiary buthyl isonitrile (^{99m}Tc -TBI) ④ Single photon emission computed tomography (SPECT) ⑤ Rotating gamma camera

はじめに

現在、心筋シンチグラフィには、放射性医薬品として $^{201}\text{TlCl}$ が広く使用されており、その臨床的有用性に関する数多くの報告がある。更に、最近では、心筋の代謝に関与する、ポジトロン核種製剤、 ^{123}I (脂肪酸、MIBG等) や ^{99m}Tc (TBI等) などの放射性医薬品が開発されている。^{1)~3)}

今回我々は、従来より心筋イメージングに用いられている $^{201}\text{TlCl}$ と、将来、心筋イメージングとして臨床応用が期待される ^{123}I 、 ^{99m}Tc 標識製剤について、回転型シンチカメラのシステム感度、エネルギー信号、空間分解能、心筋ファントム像を比較検討したので報告する。

方 法

1. 装置、ファントム

実験は、回転型シンチカメラとして GAMMA VIEW-T (日立) を、データ処理装置として HARP-RP100 (日立) を用いた。Table 1 に、使用したコリメータの諸特性を示す。

Table 1. Specification of used collimators

Collimator	Hole				Energy limit (keV)
	Number	Diameter (mm)	Length (mm)	Septum (mm)	
LEGP	41000	1.4	21.5	0.24	150
LEHR	41000	1.4	27.5	0.24	150
MEHS	3800	3.2	45.5	2.20	400

ファントムは、エネルギー信号の変動や空間分解能の評価の際には、Alderson Rando Phantom を、心筋イメージングの検討の際には、心筋ファントム (RH-2型、京都科学標本) を使用した。なお、心筋ファントムには、直径 2cm の cold region を中隔及び後壁部に設置し、縦隔部のバックグラウンドの放射能濃度は左室領域のその 10%⁴⁾ とした。

2. シンチカメラのシステム感度の比較

各核種についてコリメータ装着時のシンチカメラのシステム感度の検討を行った。なお、システム感度の比較は、日本放射線技術学会により提唱された性能試験法⁵⁾ に準じて行った。

3. エネルギー信号の変動

エネルギー信号の変動の検討は、SPECT によるデータ収集を想定して行った。つまりファントムの左室中心位置に、 ^{201}Tl 、 ^{123}I 、 ^{99m}Tc の各線源 (内径 1mm、長さ 40mm) を設置し、検出器の回転半径を 26cm として 45° ごとに得られた planar 画像のデータ (0~360°) をマルチチャンネルアナライザー (MODEL 6240, ORTEC) に入力し比較した。

4. 空間分解能の比較

空間分解能の比較は、ファントム、線源、幾何学的条件を前述のエネルギー信号の検討の際と同様に行い、planar、SPECT 画像の両方について検討した。planar 画像は、検出器の回転角 45° ごとくデータを 256×256 マトリクスで収集

し、データ処理装置に入力し比較した。一方、360°法による SPECT 画像は、1方向当たり 5k カウントで 64 方向 (180°法では、10k カウント/方向、32 方向) から 64×64マトリクスにてデータを収集し、重畳積分法にて画像を再構成した。また、convolution 補正関数には Shepp & Logan のフィルタ関数⁹⁾を用いたが、吸収補正は行わなかった。

5. 心筋ファントム像の比較
planar 画像による心筋ファントム像の比較は、検出器の回転半径を 26 cm として行い、500k カウントを 256×256 マトリクスにて、データ処理装置に入力した。一方、360°法による SPECT 画像は、1方向当たり 30k カウン

トで 64 方向 (180°法では 60k カウント/方向、32 方向) から 64×64 マトリクスでデータを収集した。また、画像再構成には、空間分解能の比較の際と同様の方法を用いた。

結 果

1. シンチカメラのシステム感度

Table 2 に、種々のコリメータ装着時のシステム感度を各核種ごとに示す。なお、MEHS

Table 2. Relative sensitivity or three collimators

Collimator	^{99m} Tc	²⁰¹ Tl		¹²³ I
	140 keV ± 10%	76keV ± 15%	76keV ± 15% 160keV ± 10%	159 keV ± 10%
MEHS	1.00	1.00	1.00	1.00
LEHR	1.12	1.17	1.24	1.97
LEGP	1.91	1.93	2.07	3.27

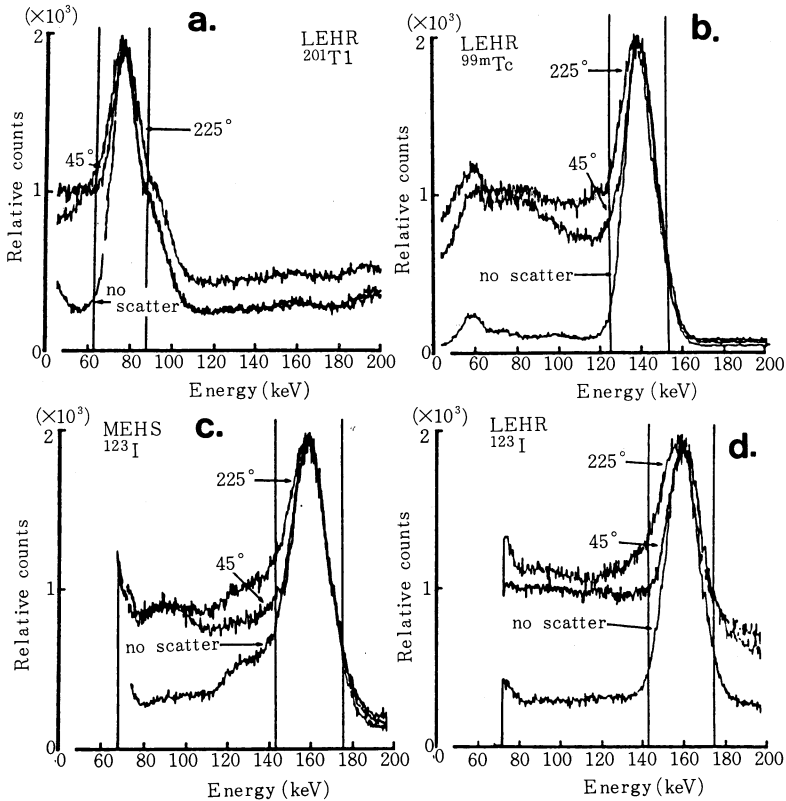


Fig. 1. Gamma ray spectra of line sources using ^{99m}Tc, ²⁰¹Tl and ¹²³I in Alderson Rando Phantom
a: ²⁰¹Tl+LEHR b: ^{99m}Tc+LEHR c: ¹²³I+MEHS d: ¹²³I+LEHR

装着時の計数値を1.0として評価した場合の相対感度で示す。低エネルギー用コリメータ (LEHR, LEGP) 装着時の ^{201}Tl の相対感度 (1.24, 2.07) 及び $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の相対感度 (1.12, 1.91) に対し, ^{123}I の相対感度 (1.97, 3.27) は, 有意に高値を示した。

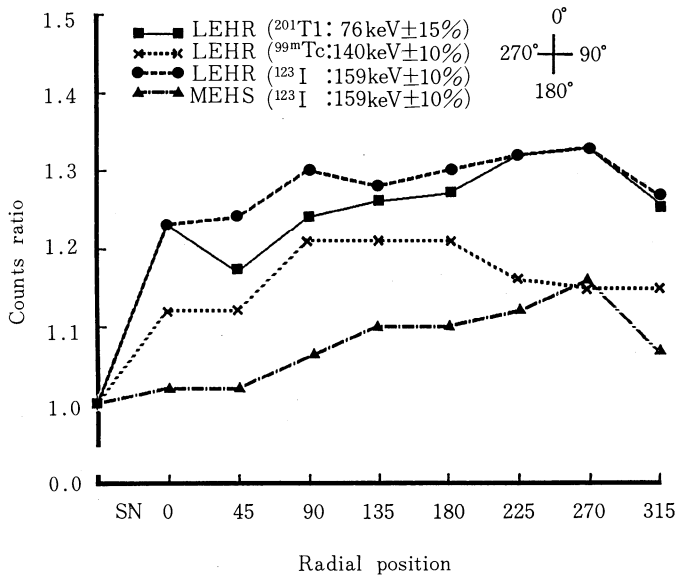


Fig. 2. Study for counts ratio in photo peak: Counts in phantom/Counts in "no scatter"

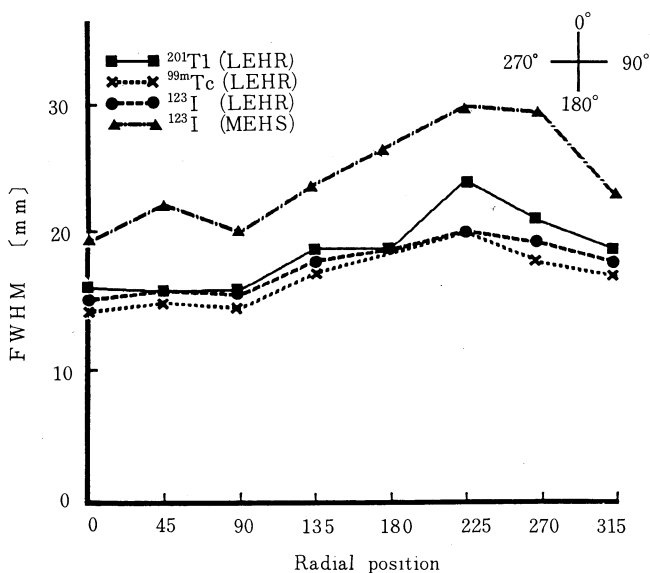


Fig. 3. Spatial resolution (FWHM) in planar imaging of line sources using $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl and ^{123}I in Alderson Rando Phantom

2. エネルギー信号

Figure 1 に, 各核種のエネルギースペクトルを示す, a は ^{201}Tl , b は $^{99\text{m}}\text{Tc}$, c, d は ^{123}I である. コリメータとして a, b, d では LEHR を, c では MEHS を装着した場合の結果を示す. なお, 散乱体がない場合と, シンチカメラの各回転角のうち散乱体の影響が最も大きい 225° と, 最も小さい 45° の位置におけるエネルギースペクトルを示す. LEHR 装着時の ^{123}I , ^{201}Tl の場合, 光電ピーク内の低エネルギー側だけでなく高エネルギー領域でも, 散乱体による影響が示された。

Figure 2 に, 45° ごとの各回転角におけるそれぞれの核種の光電ピーク内のカウント数の変動を示す. なお, 散乱体がない場合のカウントを1.0とした相対値で示す. 散乱体による影響が最も小さかったのは, MEHS 装着時の ^{123}I で, 次いで LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ であり, 以下, LEHR 装着時の ^{201}Tl , ^{123}I の順であった. また, LEHR 装着時の ^{123}I では, 回転角 $0^\circ \sim 225^\circ$ の範囲で放出エネルギーの低い ^{201}Tl と同等またはそれ以上の散乱体による影響が示された。

3. planar 像の空間分解能

Figure 3, 4 に, FWHM, FWTM 値によって評価された planar 画像による空間分解能の成績を示す. FWHM 値による評価では, LEHR 装置時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も良好な成績を示し, 以下 LEHR 装着時の ^{123}I , ^{201}Tl の順であったが, いずれもほぼ同等度の成績であった. また, LEHR 装着時の ^{201}Tl においては, 散乱体厚が大きくなると考えられる回転角 $180^\circ \sim 270^\circ$ の範囲で, FWHM 値が大きくなる傾向が得られたが, いずれの回転角においても, MEHS

装着時の ^{123}I に比して優れた成績であった。

FWTM 値による評価では、最も優れた成績を示したのは、FWHM 値による評価の場合と同様 LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ であった。次いで、LEHR 装着時の ^{123}I であったが、回転角 $180\sim 315^\circ$ の範囲で FWTM 値が大きくなる傾向を示し、回転角 270° においては、MEHS 装着時の ^{123}I よりも高値であった。また、LEHR 装着時の ^{201}Tl は、回転角 $0\sim 90^\circ$ の範囲では MEHS 装着時の ^{123}I とほぼ同等であったが、 $90\sim 315^\circ$ の範囲での FWTM 値は有意に高値を示し、MEHS 装着時の ^{123}I の方が良好であることが示された。

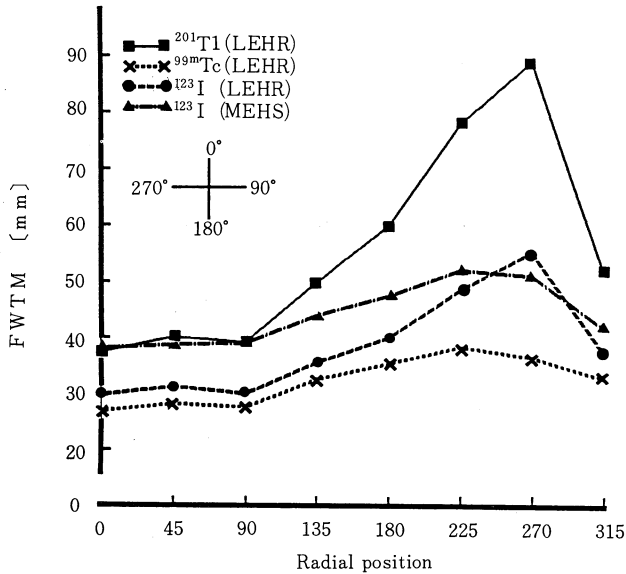


Fig. 4. Spatial resolution (FWTM) in planar imaging of line sources using $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl and ^{123}I in Alderson Rando Phantom

4. SPECT 像の空間分解能

Table 3 に、FWHM, FWTM 値により評価された SPECT 像における空間分解能の成績を示す。すべての核種について FWHM, FWTM 値の良好な成績が得られた コリメータは、LEHR であった。また 180° 法と 360° 法を比較すると、FWHM 値では核種、回転モードによる大きな差が認められなかった。一方、FWTM 値の場合、 360° 法による方が良好な成績を示した。 ^{123}I については、FWHM 値が最も良好であった コリメータは、LEHR であり以下 LEGP, MEHS の順であった。また、FWTM 値についても LEHR が最も優れており、以下 MEHS, LEGP の順であった。これは同時に、MEHS 装着時の ^{123}I の空間分解能は、FWHM と FWTM 値でその評価が異なることが示された。

5. 心筋ファントムの planar 像

Figure 5 に、LEHR コリメータ装着時の ^{201}Tl (a), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (b), ^{123}I (c) と、MEHS コリメータ装着時の ^{123}I (d) による心筋ファントムの正面 planar 像を示す。左室中隔領域に設置された cold region の主観的な検出能は、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も良好で、次いで MEHS 装着時の ^{123}I であり、以下 LEHR 装着時の ^{201}Tl , LEHR 装着時の ^{123}I の順であった。 ^{123}I による planar 像の検討では、前述の空間分解能 (planar 時) の評価とは異なり、

Table 3. Spatial resolution (FWHM and FWTM) in SPECT imaging of line sources using $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl and ^{123}I in Alderson Rando Phantom

Rotation mode	^{201}Tl		$^{99\text{m}}\text{Tc}$		^{123}I			
	LEGP	LEHR	LEGP	LEHR	LEGP	LEHR	MEHS	
FWHM (mm)	180°	22.8 ± 3.9	19.2 ± 2.9	21.5 ± 3.9	19.0 ± 2.4	23.2 ± 3.6	19.0 ± 2.5	24.4 ± 2.8
	360°	24.4 ± 1.4	19.3 ± 2.8	22.0 ± 2.5	19.0 ± 1.6	22.2 ± 3.3	19.0 ± 2.1	24.5 ± 2.0
FWTM (mm)	180°	69.6 ± 24.6	60.9 ± 21.4	52.2 ± 12.5	46.4 ± 9.5	60.9 ± 19.8	55.1 ± 13.8	55.1 ± 11.1
	360°	58.0 ± 12.5	46.4 ± 10.6	46.4 ± 8.2	39.2 ± 8.7	53.7 ± 12.0	43.5 ± 5.8	47.9 ± 5.0

LEHR よりも MEHS 装着時の方が良好な成績であった。

6. 心筋ファントムの SPECT 像

Figure 6 に、180° 法により収集し画像を再構成した SPECT 像を示す。a は ^{201}Tl 、b は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、c、d は ^{123}I であり、a、b、c は LEHR コリメータ装着時の、d は MEHS コリメータ装着時の心筋ファントムの transaxial 像を示す。中隔、後壁に設置された二つの cold region の主観的な検出能は、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が

最も良好で、次いで LEHR 装着時の ^{201}Tl 、 ^{123}I がほぼ同等であり、MEHS 装着時の ^{123}I が最も劣った。

Figure 7 に、180° 法による transaxial 像の circumferential profile curve を示す。 ^{123}I については、中隔領域の cold region の検出能は、MEHS よりも LEHR の方が優れていた。一方、後壁領域では両者とも同等度の成績を示し、かつ LEHR 装着時の ^{201}Tl よりも優れた検出能が得られた。

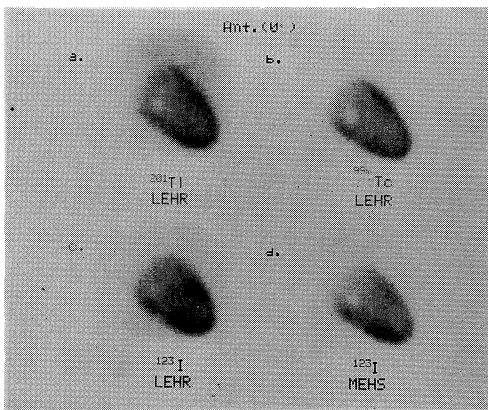


Fig. 5. Anterior images of myocardium phantom
a: ^{201}Tl +LEHR b: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ +LEHR
c: ^{123}I +LEHR d: ^{123}I +MEHS

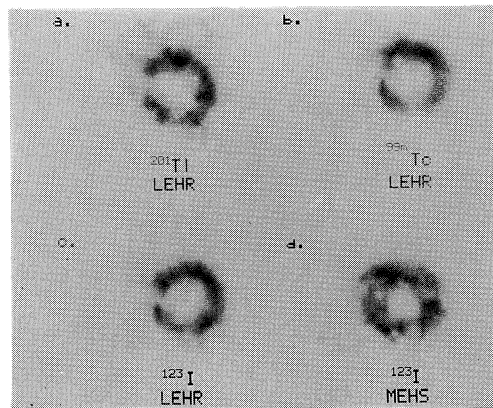


Fig. 6. Transaxial images of myocardium phantom in the 180° scans
a: ^{201}Tl +LEHR b: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ +LEHR
c: ^{123}I +LEHR d: ^{123}I +MEHS

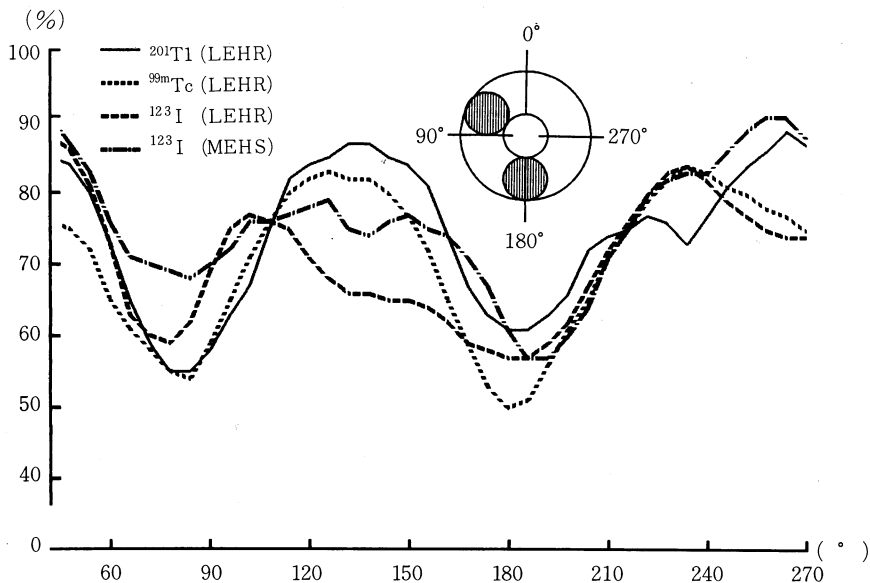


Fig. 7. Counts profiles of transaxial images: 60 k counts/projection (180° scan)

Figure 8 に、 360° 法により収集し画像を再構成した SPECT 像を示す。a は ^{201}Tl , b は $^{99\text{m}}\text{Tc}$, c, d は ^{123}I であり, a, b, c は LEHR コリメータ装着時の, d は MEHS コリメータ装着時の心筋ファントムの transaxial 像を示す。cold region の主観的な検出能の評価及び各画質については、 180° 法によるイメージ (**Fig. 6**) と同様の傾向が示された。

Figure 9 に、 360° 法による transaxial 像の, circumferential profile curve を示す。

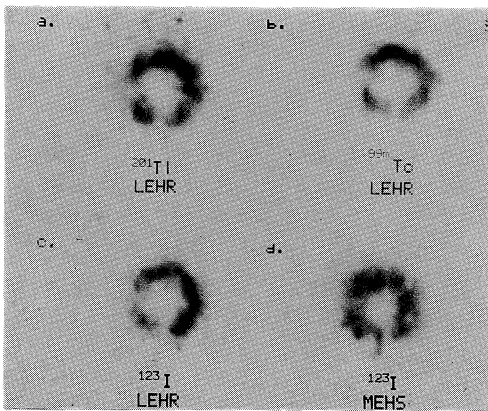


Fig. 8. Transaxial images of myocard phantom in the 360° scans

a: $^{201}\text{Tl} + \text{LEHR}$ b: $^{99\text{m}}\text{Tc} + \text{LEHR}$
c: $^{123}\text{I} + \text{LEHR}$ d: $^{123}\text{I} + \text{MEHS}$

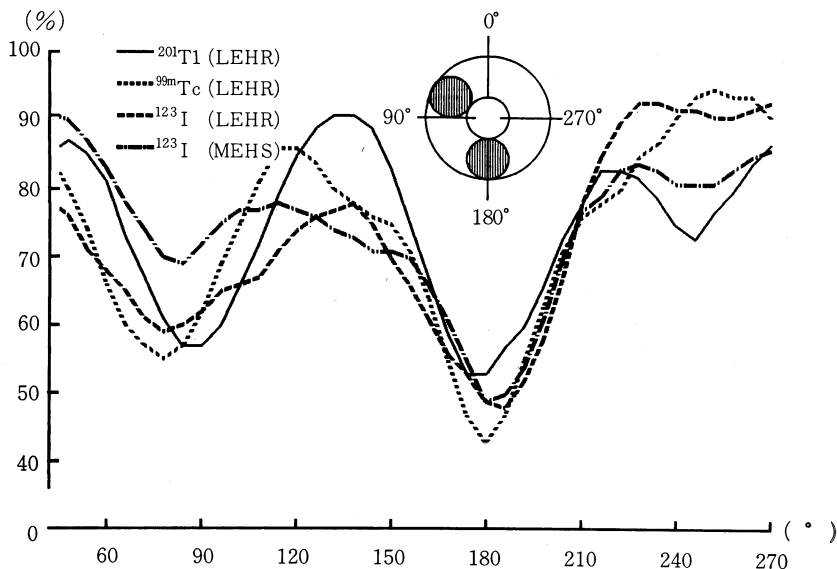


Fig. 9. Counts profiles of transaxial images: 30k counts/projection (360° scan)

これを、 180° 法による結果 (**Fig. 7**) と比較すると、中隔領域の cold region の検出能は、両法の間には大きな差を認めなかった。一方、後壁領域では、いずれの場合においても 360° 法の方が 180° 法の場合よりも優れた検出能を示した。

考 察

現在、 $^{201}\text{TlCl}$ による心筋シンチグラフィは、虚血性心疾患の診断等に広く用いられおり、その臨床的有用性に関する数多くの報告がなされている。また最近では、シンチカメラのエネルギー特性に適した ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ による心筋代謝製剤の開発が報告されている。一方、 ^{201}Tl によるイメージは、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤を用いた他の核医学検査によるイメージに比して劣っている。つまり、主放出エネルギー (Hg x-ray: 69~80 keV) が低いこと、更に患者の被曝線量やコスト面から投与量等に制限があるため、ノイズの少ない十分なデータを得ることが困難なこと、などによる。⁷⁾

今回我々は、従来より心筋の核医学検査に用いられ、通常の回転型シンチカメラでイメージングが可能な $^{201}\text{TlCl}$ と、最近注目を集めて

いる ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識製剤によるイメージを、シンチカメラのシステム感度、エネルギー信号、空間分解能、心筋ファントム像の面から比較検討した。

シンチカメラのシステム感度の検討においては、低エネルギー用コリメータ装着時の ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に比し、 ^{123}I の相対感度は有意に高値を示した。これは、エネルギースペクトルの検討においても、LEHR 装着時の ^{123}I では、光電ピーク内の低エネルギー側だけでなく高エネルギー領域でも散乱体による影響が認められたことから推測されるように、 ^{123}I の高エネルギー γ 線 (159 keV (82.8%), 440 keV (0.425%), 506 keV, 529 keV (1.38%), 539 keV (0.379%) 等)⁹⁾ による隔壁通過等の影響が強く示唆された。

空間分解能の検討では、planar, SPECT 画像のいずれにおいても、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も良好な成績を示し、 180° 法と 360° 法による回転モードの比較では、 360° 法による方が良好である傾向が得られた。LEHR 装着時の ^{201}Tl と ^{123}I を比較すると FWHM, FWTM 値のいずれの評価においても、 ^{123}I の方が優れた傾向を示した。これは、 ^{201}Tl の主放出エネルギー (Hg x-ray) に比して、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I の γ 線エネルギーの方が、シンチカメラのエネルギー特性に適しているためと考えられた。更にこの傾向は、高エネルギーの γ 線が含まれない $^{99\text{m}}\text{Tc}$ で顕著であった。また、 ^{123}I については、高エネルギーの γ 線による影響を考慮して MEHS コリメータを使用した場合、planar 画像時の FWHM 値による評価が低くなること示された。

次に、心筋ファントム像を比較すると、planar 像では中隔領域の cold region 検出能に関して、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も優れ、

MEHS 装着時の ^{123}I , LEHR 装着時の ^{201}Tl , ^{123}I の順であった。LEHR 装着時の ^{123}I の検出能が最も低かった理由は、空間分解能の評価の場合に比して、心筋ファントムを用いた容積線源による評価では、散乱線による影響が大きくなるためと考えられた。また、SPECT 像では後壁領域の検出能に関して、LEHR, MEHS 装着時の ^{123}I は、LEHR 装着時の ^{201}Tl よりも良好な成績を示した。LEHR 装着時の ^{123}I の検出能は、planar 画像では最も不良であるのに対し、SPECT 画像では良好な検出能を示した。これは、LEHR 装着時の ^{123}I においても、画像の再構成に伴う一連の画像処理により、 ^{123}I の高エネルギー γ 線による散乱線の影響が、過少評価されているためと考えられた。

結 論

1) 各 SPECT のデータ収集における各回転角位置でのエネルギー信号の変動を検討すると、LEHR 装着時の ^{123}I , ^{201}Tl では、光電ピーク内の低エネルギー及び高エネルギー領域ともに、散乱体による影響が認められた。

2) 空間分解能の検討で最も優れた成績を示したのは、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ であった。また、 ^{123}I については、LEHR 装着時が LEHR 装着時の ^{201}Tl よりも良好な成績を示した。しかし、MEHS 装着時の ^{123}I は散乱体厚が大きくなると、LEHR 装着時よりも優れた成績を示す場合が認められた。

3) planar 像による中隔領域の cold region 検出能は、LEHR 装着時の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最も優れ、以下 MEHS 装着時の ^{123}I , LEHR 装着時の ^{201}Tl , ^{123}I の順であった。一方、SPECT 像による後壁領域の検出能では、LEHR, MEHS 装着時の ^{123}I はともに LEHR 装着時の ^{201}Tl よりも良好な成績を示した。

文 献

- 1) Knapp, F. F., Ambrose, K. R. and Goodman, M. M. M.: New radiolodinated methyl-branched fatty acids for cardiac studies. Eur. J. nucl. Med. 12: S39-S44, 1986
- 2) Robert, C. K., Dennis, P. S., Donald, M. W., James, H. T., Milton, D. G., Bertram, P. and

- William, H. B.: Myocardial imaging in man with I-123 meta-iodobenzylguanidine. *J. nucl. Med.* 22: 129—132, 1981
- 3) Horman, B. L., Jones, A. G. and Lister, J. J.: A new Tc-99m-labeled myocardial imaging agent hexakis (t-butylisonitrile)-technetium (I) (Tc-99m TBI): Initial experience in the human. *J. nucl. Med.* 25: 1350—1355, 1984
- 4) 尾川浩一, 国枝悦夫, 久保敦司: 心筋 SPECT 画像の定量性に関する問題点とその画質改善のための方策. *Radioisotopes* 36: 115—121, 1987
- 5) 日本放射線技術学会, 放射線同位元素検査技術委員会: RI 体外測定装置の性能検査法. *日放技学誌* 34: 634—660, 1979
- 6) Shepp, L. A. and Logan, B. F.: The fourier reconstruction of head section. *IEEE Nucl. Sci. NS-21*: 21—43, 1974
- 7) 柳元真一, 友光達志, 村中 明: 心筋 SPECT におけるウィンド幅の検討. *核医学技術誌* 5: 15—18, 1985
- 8) 近江谷敏伸, 松本 徹, 飯沼 武: ^{123}I の製品純度が画質に及ぼす影響について. *Radioisotopes* 34: 326—329, 1985