

## 《技術報告》

# $^{201}\text{TlCl}$ , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI を用いた運動負荷, 安静 同時収集心筋シンチグラフィの試み

—Triple Energy Window 散乱線補正法を用いての検討—

橋本 順\* 松田美智恵\* 三宮 敏和\* 中村佳代子\*  
 塚谷 泰司\* 久保 敦司\* 尾川 浩一\*\* 高橋 栄一\*\*\*  
 三田村秀雄\*\*\* 半田俊之介\*\*\* 小川 聰\*\*\* 市原 隆\*\*\*\*

**要旨**  $^{201}\text{TlCl}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI の 2 核種を用いることにより運動負荷心筋シンチグラフィの所要時間の短縮を試みた。以下に述べる 4 通りの検査プロトコールで各 1 例ずつ実施した。(A) 法は安静時に  $\text{Tl}$  を投与した後に運動負荷時に MIBI を投与して 2 核種同時収集を行うもの、(B) 法は安静時に MIBI を投与後、負荷を行い  $\text{Tl}$  を投与して 2 核種同時収集を行うもの、(C) 法は負荷時に MIBI を投与し、1 時間経過後に安静状態で  $\text{Tl}$  を投与して 2 核種同時収集を行うもの、(D) 法は安静時に  $\text{Tl}$  を投与して  $\text{Tl}$  像を撮像後、運動負荷時に MIBI を投与して MIBI 像を撮像するものである。2 核種同時収集の際には TEW 法によるクロストーク、散乱線の除去を行った。2 核種の使用により検査時間は 1-2 時間程度に短縮された。また散乱線、クロストークの除去が正確な診断をするうえでは必要であると考えられた。

(核医学 31: 1365-1372, 1994)

## I. はじめに

テクネチウム標識心筋血流製剤である  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (以下 MIBI と記述) が日常臨床でも使用可能になり、MIBI を用いてのさまざまなイメージングの新手法も導入されつつある。今回われわれは、検査時間の短縮を目的として  $^{201}\text{TlCl}$  (以下  $\text{Tl}$  と記述) と MIBI の 2 核種を用いた運動負荷時および安静時の同時収集心筋血流シンチグラフィを試みたので報告する。

## II. 方 法

$\text{Tl}$ , MIBI の双方を用いて運動負荷時および安静時心筋血流シンチグラフィを行う際に考えられる検査プロトコールの 4 法を Fig. 1 に示す。

(A) 法は安静時に  $\text{Tl}$  を静注した後にイメージングを行わずに運動負荷を開始し、最大負荷時に MIBI を投与して 2 核種同時収集により撮像を行うものであり、(B) 法は (A) 法とは逆に MIBI を安静時に、 $\text{Tl}$  を負荷時に投与する方法である。(C) 法は運動負荷時に MIBI を投与し、1 時間ほど間隔をあけてから安静状態で  $\text{Tl}$  を投与して 2 核種同時収集を行うものである。(D) 法は安静時に  $\text{Tl}$  を投与して MIBI を投与する前に  $\text{Tl}$  像の撮像を行い、撮像終了後に負荷をかけて最大負荷時に MIBI を投与し、MIBI 像を撮像する方法である。(D) 法のみ 2 核種を用いるものの同時収集を行わないプロトコールである。われわれは各

\* 慶應義塾大学医学部放射線科

\*\* 法政大学工学部電気工学科

\*\*\* 慶應義塾大学医学部呼吸循環器内科

\*\*\*\* 東芝那須

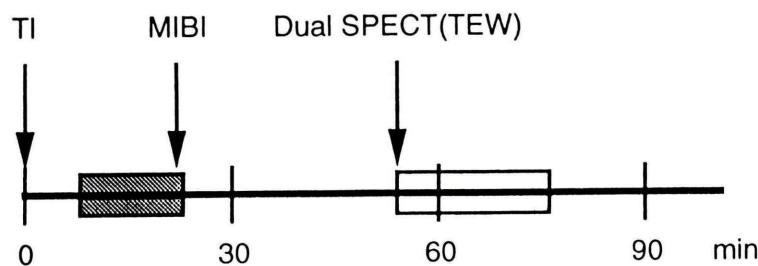
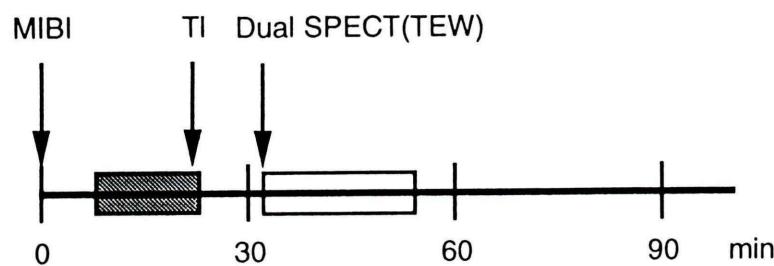
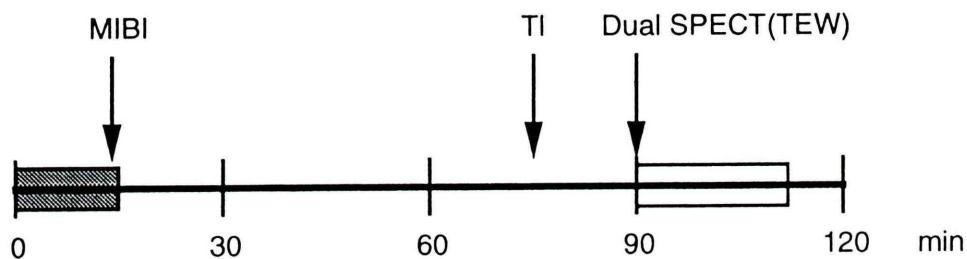
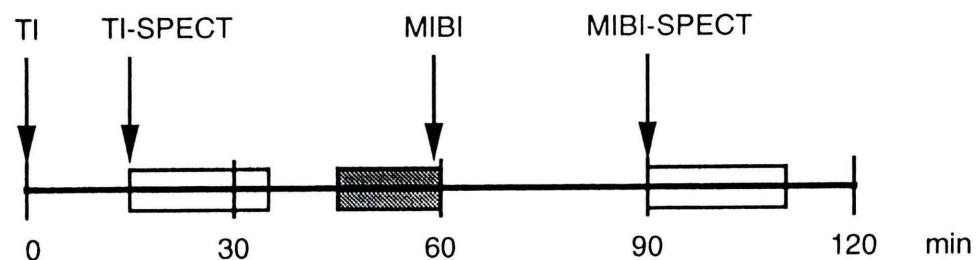
受付: 6 年 6 月 6 日

最終稿受付: 6 年 9 月 5 日

別刷請求先: 東京都新宿区信濃町 35 (〒160)

慶應義塾大学医学部放射線科

橋 本 順

Protocol(A)Protocol(B)Protocol(C)Protocol(D)

: Exercise

Fig. 1 Dual isotope imaging protocols.

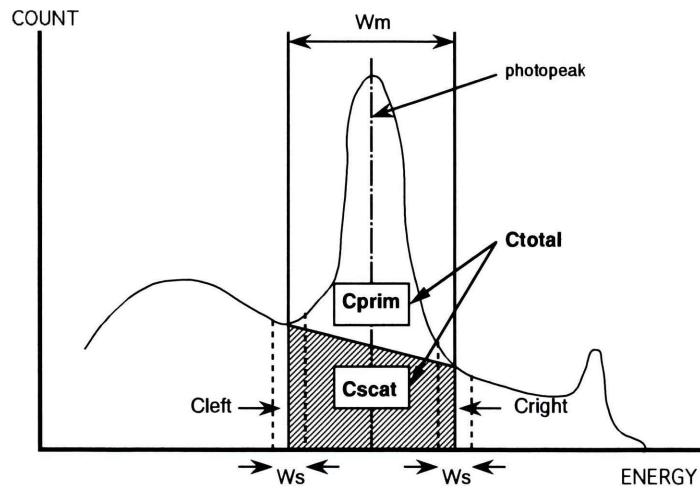


Fig. 2 A schema of TEW scatter correction. Location and width of the windows are indicated. The main window ( $W_m$ ) is located at the photo-peak and the subwindows ( $W_s$ ) are located on both ends of the main window. The counts of scatter photons in the main window ( $C_{scat}$ ) are estimated as a trapezoid using photons of the two subwindows (Cleft and Cright).

プロトコールにより 1 例ずつの 4 例について検査を施行した。

投与量は Tl が 111 MBq, MIBI が 259 MBq である。

運動負荷は坐位エルゴメータを用いて 50 W より開始して 3 分ごとに 25 W ずつ上昇する多段階運動負荷で、最大負荷時に RI を投与し、その後 1 分間負荷を継続した。ガンマカメラは GCA-9300A/HG (3 検出器型) を用い、SPECT データ収集は 15 分間 120° の連続収集を施行した (3 検出器型のため 360° 収集に相当)。マトリックスは  $64 \times 64$  で、フィルターは Butterworth (メインウインドウ 8, 0.25, サブウインドウ 8, 0.12) と ramp を用い、データ処理装置は GMS-5500 を使用した。2 核種同時収集を施行する際に Triple Energy Window 法 (以下 TEW 法と記述) による散乱線によるクロストークの除去を行った。TEW 法はわれわれが開発した新しい散乱線補正法で、すでに報告したように 2 核種同時収集時のクロストークを含めて散乱線の除去に有用な方法である<sup>1-3)</sup>。Fig. 2 に示したように TEW 法はメインウインドウの両端に狭いサブウインドウを設け、2 つのサ

ブウインドウのカウントをもとにして台形近似によりメインウインドウ内の散乱線成分を推定して除去するものである。高エネルギー側の散乱線がほとんどない <sup>99m</sup>Tc の場合には高エネルギー側のサブウインドウを閉じて三角形近似を行う。メインウインドウのエネルギーピークは <sup>99m</sup>Tc が 140 keV, <sup>201</sup>Tl が 71 keV、ウインドウ幅は 24% であり、サブウインドウの幅は <sup>99m</sup>Tc が 3%, <sup>201</sup>Tl が 4% とした。

Fig. 3-6においては画像表示のカットオフレベルをすべて 10% に統一した。

また得られた画像の心筋各部位に関心領域を設定し、カウントを求めた。

### III. 結果ならびに症例呈示

(A) 法で施行した症例の SPECT 短軸像を Fig. 3 に示す。後側壁の陳旧梗塞症例で運動負荷時に胸痛や心電図上の ST 变化は見られなかった。散乱線除去を行った安静 Tl 像と負荷 MIBI 像を比較すると梗塞後虚血は見られないが、散乱線除去を行っていない Tl 像では虚血の存在が疑われる。また健常部、病変部のカウントおよびカウント比

Table 1 Counts in ROIs in the case examined under protocol (A)

	Counts in ROIs (count/pixel)			Lesion/Normal Ratios	
	Anterior	Septum	Posterolateral	Sep/Ant	Post-lat/Ant
<b>Rest Tl</b>					
TEW on	358	222	156	0.62	0.44
TEW off	440	318	239	0.72	0.54
<b>Exercise MIBI</b>					
TEW on	589	353	262	0.60	0.44
TEW off	665	424	308	0.64	0.46

をTable 1に値として示した。

(B) 法で施行した症例のSPECT像をFig. 4に示す。広範な前下行枝領域の心筋梗塞症例で、安静MIBI像と負荷Tl像を比較すると集積低下範囲がTl像の方が広いことから、前壁中隔、前側壁の梗塞後残存虚血心筋の存在がわかる。

(C) 法で施行した症例の画像をFig. 5に示す。負荷時のMIBI像では側壁に欠損像が見られ、安静時のTl像では側壁の集積低下は軽度であり、回旋枝領域の虚血の存在が明瞭である。

(D) 法で施行した症例の画像をFig. 6に示す。前壁中隔の集積低下と下後壁の欠損を認める。負荷MIBI像に比べて安静Tl像では下側壁と中隔の一部で集積低下がより軽度である部位が見られ、わずかではあるが梗塞後残存虚血の存在が示唆される。

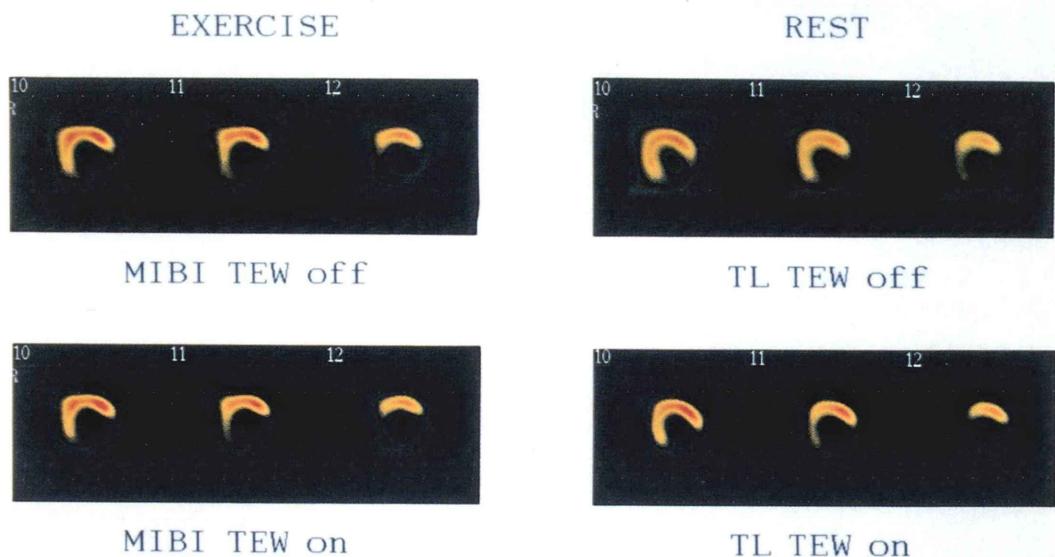
#### IV. 考 察

運動負荷心筋血流シンチグラフィは虚血の検出やviabilityの判定に有用な方法であり、これまで広く用いられてきた。<sup>99m</sup>Tc-MIBIや<sup>99m</sup>Tc-tetrofosminを用いて1日で運動負荷時、安静時の心筋血流シンチグラフィを施行する際には、検査を完了するまでに4時間程度は要することが、<sup>201</sup>TlClによる心筋シンチグラフィ同様、特に外来患者の場合には負担になる。心筋からの洗い出しの速い<sup>99m</sup>Tc-teboroximeを用いて本検査を施行する場合には1.5時間程度で完了することができるが、すみやかな撮像開始が必要であることや肝集積が高く画質が劣るなどの短所がある。

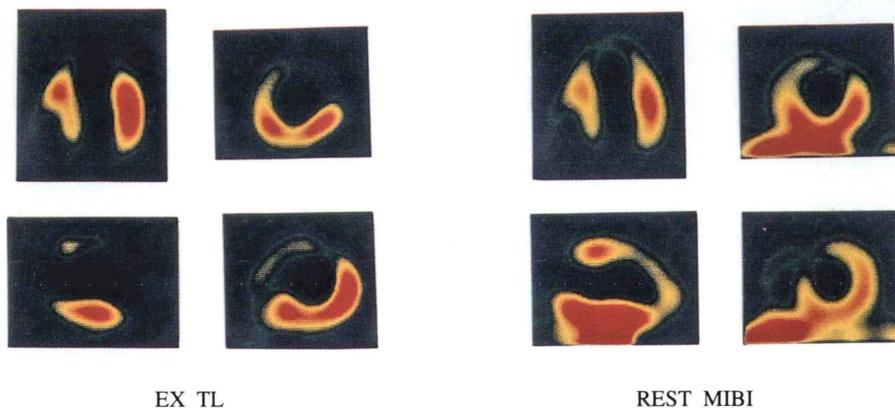
そこでわれわれはTlとMIBIの2核種を用い

ることにより検査時間の短縮を試みた。この際に2核種同時収集を行う場合にはクロストークの補正が必要となる。<sup>99m</sup>Tcは放出するγ線のエネルギーが<sup>201</sup>Tlに比べて高く、投与量も多いために<sup>99m</sup>Tcから<sup>201</sup>Tlのウインドウへ及ぶクロストークが特に問題になる。そこで今回、前述のTEW法による散乱線補正を施行した。2核種同時収集でのクロストークの補正には、従来から双方のメインウインドウ内のカウントをもとにする方法が広く行われてきた<sup>4,5)</sup>。しかし光子の散乱が位置依存性の強い現象であるにもかかわらず混信率が一定であると仮定している点や、メインウインドウ内におけるその核種自体による散乱線の除去が考慮されていない点に問題がある。われわれが開発したTEW法は、位置依存性が考慮された散乱線除去法であり、またクロストークとその核種自体からの散乱線を一括して除去するものである。TlとMIBIの同時収集については米国においてすでに報告されているが<sup>6,7)</sup>、クロストークの除去は行われていない。散乱線、クロストークの影響を無視できない場合のあることはFig. 3を見てもわかる。

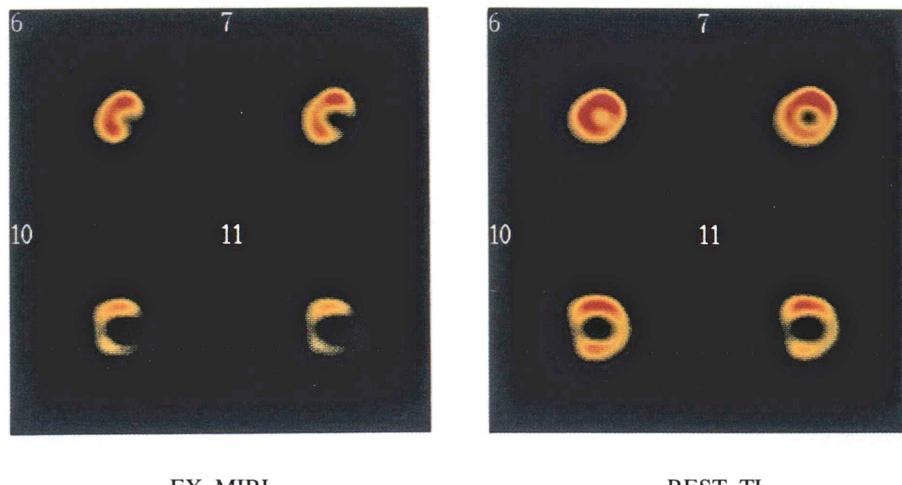
Fig. 1に示したプロトコールにはおのおの一長一短がある。(A)法の長所は検査時間が短いこととMIBIが負荷時投与であるためにバックグラウンドとなる肝集積が低いことである。短所は安静時にTlを投与した後に運動負荷が施行されているために、運動がTlの再分布や洗い出しに影響を与えてTl像が真に安静時の血流を反映した像にならない可能性も否定できないことである。(B)法の長所は検査時間が最も短いことと、MIBI



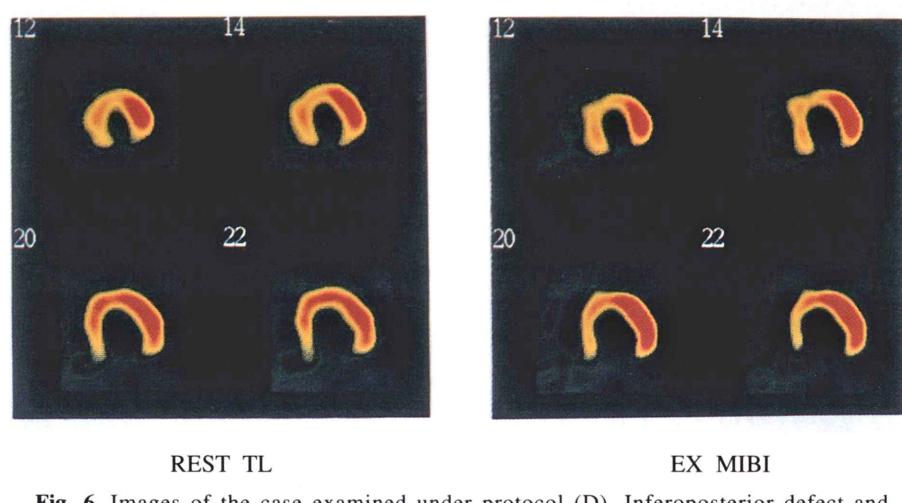
**Fig. 3** Images of the case examined under protocol (A). Infarction with ischemia is found in comparison with exercise MIBI-image (the upper left) and rest Tl-one (the upper right) without scatter correction. Infarction without ischemia is recognized when exercise MIBI-image (the lower left) is compared to rest Tl-one (the lower right) using scatter correction.



**Fig. 4** Images of the case examined under protocol (B). Anteroseptal and anterolateral ischemia with infarction is observed in comparison with exercise Tl-image (the left) and rest MIBI-one (the right).



**Fig. 5** Images of the case examined under protocol (C). Ischemia in lateral wall is found in comparison with exercise MIBI-image (the left) and rest Tl-one (the right).



**Fig. 6** Images of the case examined under protocol (D). Inferoposterior defect and anteroseptal hypoperfusion is recognized in rest Tl-image (the left) and exercise MIBI-image (the right).

の投与後に運動負荷を行っても MIBI は心筋停留性が高いために安静時の血流そのものを反映した安静時像が得られることが期待される点にある。しかし安静時投与の MIBI の肝集積が高いことと、正常例で本法を施行した際に吸収の影響のため負荷時の Tl 像で下後壁の集積が安静時の MIBI

像より低めに描出されてアーチファクトと虚血の区別が困難な場合が予想されることが問題点である。(C) 法は MIBI が負荷時に投与されており、MIBI の投与から撮像開始までの時間が長いので良好な画質の心筋イメージが得られることが期待される。しかし 2 核種同時収集を用いる方法のな

かでは検査時間が最も長い。また運動負荷終了後から Tl 投与までの間隔をどの程度とすれば運動の影響がなくなるかという点についての検討が必要である。(D) 法はクロストーク補正を行わない場合に用いるプロトコールである。MIBI を投与する前に Tl 像を撮像するためにクロストークの影響がなく、MIBI 像の撮像時には Tl からのクロストークは存在するが、<sup>99m</sup>Tc の放出光子のエネルギーが高く、投与量が多いためにその影響が少ないという根拠に基づいた方法である。2 回の撮像を行うために検査時間がやや長くなる。(D) 法の応用として 2 回目の撮像開始をさらに 90 分ほど遅らせて MIBI と Tl の同時収集を TEW 法で行うと、負荷時 MIBI 像、安静時 Tl 早期像、安静時 Tl 遅延像が得られて viability の評価に有用かもしれない。

2 核種を用いたこれらのプロトコールは、検査時間が短いために患者や術者の負担が少なく、限られた時間でより多くの検査を行える。また、運動負荷、安静時同時収集のため両者の心筋位置合わせが完全であるという利点もある。しかし欠点として Tl と MIBI では心筋への集積機序が異なり、核種のフォトンエネルギーの相違などから、負荷時像と安静時像を異なる核種および薬剤による画像で比較することに由来する問題がある。特に(B) 法の短所で述べたように、吸収によるアーチファクトの現れかたが異なるので、読影の際には注意が必要である。ただし同時収集を行うために、motion artifact などは双方のイメージで同様に現れるので判定はむしろ容易であると考えられる。薬剤のコストがかかる点も短所である。

Kiat らの報告では Tl の投与量を 148 MBq, MIBI の投与量を 555 MBq 程度としているが、わ

れわれは <sup>201</sup>Tl のエネルギーインドウに及ぼす <sup>99m</sup>Tc によるクロストークの影響が大きいこと、患者の被曝を軽減することを理由に MIBI の投与量を 259 MBq に抑えた。

投与量をどの程度にし、どのプロトコールで検査を施行するのが最も診断精度が高いかについては、今後より多くの症例での検討が必要となる。

## 文 献

- 1) Ogawa K, Harata Y, Ichihara T, Kubo A, Hashimoto S: A practical method for position-dependent scatter correction method in single photon emission CT. IEEE Trans on Med Imaging **10**: 408-412, 1991
- 2) Ogawa K, Chugo A, Ichihara T, Kubo A, Hashimoto S: Quantitative image reconstruction using position-dependent scatter correction in single photon emission CT. Proceedings of IEEE Med Imaging Conf: 1011-1013, 1993
- 3) Ichihara T, Ogawa K, Motomura N, Kubo A, Hashimoto S: Compton Scatter Compensation Using The Triple Energy Window Method for Single- and Dual- Isotope SPECT. J Nucl Med **34**: 2216-2221, 1993
- 4) 中嶋憲一, 滝 淳一, 分校久志, 清水賢巳, 松成一朗, 久田欣一: <sup>201</sup>Tl と <sup>123</sup>I による 2 核種同時収集の限界. 核医学 **26**: 1223-1226, 1989
- 5) 小野口昌久, 佐藤圭子, 村田 啓, 高尾祐治, 大竹英二, 加藤健一, 他: <sup>123</sup>I-MIBG, <sup>201</sup>TlCl 心筋 SPECT における 2 核種同時収集, 画像作成法の検討. 核医学 **28**: 1159-1166, 1991
- 6) Friedman J, Van Train K, Kiat H, Wang FP, Hyun M, Silagan G, et al: Simultaneous dual isotope rest/stress myocardial perfusion scintigraphy: A feasibility study. J Am Coll Cardiol **17**: 390A (abstr), 1991
- 7) Kiat H, Friedman J, Van Train K, Wang FP, Bietendorf J, Maddahi J, et al: Simultaneous rest Tl-201/stress Tc-99m sestamibi dual isotope myocardial perfusion SPECT: A pilot study. J Nucl Med **32**: 1006 (abstr), 1991

## Summary

### Exercise and Rest Myocardial Scintigraphy with $^{201}\text{TI-Cl}/^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$ Dual Energy Acquisition Using Triple-Energy Window Scatter Correction

Jun HASHIMOTO\*, Michie MATSUDA\*, Toshikazu SAMMIYA\*, Kayoko NAKAMURA\*,  
 Yasushi TSUKATANI\*, Atsushi KUBO\*, Koichi OGAWA\*\*, Eiichi TAKAHASHI\*\*\*,  
 Hideo MITAMURA\*\*\*, Shunnosuke HANNA\*\*\*, Satoshi OGAWA\*\*\*  
 and Takashi ICHIHARA\*\*\*\*

\*Department of Radiology, \*\*\*Department of Internal Medicine, School of Medicine, Keio University

\*\*Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Hosei University

\*\*\*\*Toshiba Nasu Works

We carried out dual  $^{201}\text{TI}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI imaging, to reduce the time required for exercise myocardial scintigraphy. We investigated 4 different protocols. In protocol (A), Tl was injected at rest followed by the injection of MIBI at peak exercise. Dual SPECT images were obtained by  $^{201}\text{TI}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  simultaneous acquisition. Protocol (B) means reverse either, in which MIBI was injected at rest followed by the administration of Tl at peak exercise. In protocol (C), exercise was performed first with MIBI-injection, and then Tl was injected at rest after one hour later. Simultaneous acquisition was also performed. In protocol (D), after the rest Tl-imaging, MIBI was

injected at peak exercise, and then the MIBI-imaging was done. In protocol (A), (B) and (C), simultaneous acquisition was performed using TEW (Triple-Energy Window) scatter correction.

Thanks to using dual isotopes, all procedures could be completed within 1–2 hours, which was much shorter than the conventional myocardial perfusion imaging. Scatter correction was useful for accurate diagnoses, when the simultaneous imaging is performed.

**Key words:**  $^{201}\text{TI-Cl}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$ , Dual energy acquisition, TEW scatter correction, SPECT.