《原　著》

運動負荷 ^{201}Tl 心筋シンチグラフィにおける安静時少量追加投与の試み (第1報)

——24時間像および局所壁運動との対比検討——

大谷　弘*　玉木　長良*　米倉　義晴*　野原　隆司**
Ishtiaque H. MOHIUDDIN*　小野　晋司**　神原　啓文**
河合　忠一**　平田　和男***　伴　敏彦***　小西　淳二*

要旨　虚血性心疾患37例に，運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の3時間像撮像後に安静時 ^{201}Tl 少量追加投与を試み，その有用性を検討した．3時間像で固定性欠損であった52区域の中で19区域 (37%) は，少量追加投与により再分布がみられた．3時間像で不完全再分布であった43区域の中で，15区域 (35%) は少量追加投与により完全再分布となった．また24時間遅延像も9例に施行したが，3時間像で固定性欠損であった13区域の中の5区域 (38%) で再分布が明らかになったが，逆に3時間像で再分布のみられた7区域の中の3区域 (43%) で再分布がみられなくなった．なお，3時間像では固定性欠損，少量追加投与により再分布が明らかになった区域の壁運動異常 (壁運動スコア＝1.65±1.17) は，固定性欠損のままであった区域 (2.29±1.05) より軽度であった ($p<0.05$)．以上より，運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT に少量追加投与法を併用することにより再分布の判定が向上し，かつ少量追加投与で生じた再分布のある領域は，壁運動が保たれる傾向にあった．24時間像と比べて画質が良いことと，当日のうちに検査ができるという利点もあり，少量追加投与法は心筋 viability の評価に有用と考えられた．

I. はじめに

運動負荷 ^{201}Tl 心筋シンチグラフィは，虚血性心疾患の診断だけでなく，治療方針の決定や治療効果の判定に広く用いられている．一般的には運動負荷 ^{201}Tl 心筋スキャンの負荷直後像と3～4時間像での再分布の有無により，虚血心筋あるいは梗塞心筋と判定される[1,2]．しかし，この梗塞心筋と判定される領域の一部に，血行再建術後に回復する可逆的な虚血心筋が含まれることや[3,4]，再分布の著しく遅延する虚血心筋の存在が報告されるようになり[5~7]，再分布のない領域の心筋 viability の正確な評価には限界が指摘されている[8~10]．

この問題を解決すべく，24時間後の遅延像の撮像や[6,7]，安静時再投与[11]などが試みられるようになった．著者らも，3時間後の微少再分布の意義について検討してきた[12]．今回，再分布の有無をより明瞭に描出することを目的として，3時間像を撮像後に少量の ^{201}Tl を追加投与する少量追加投与を試みた．今回は本法の意義について，24時間遅延像および壁運動異常との関係について対比検討したので報告する．

* 京都大学医学部放射線核医学科
** 同　第三内科
*** 同　心臓血管外科
受付：元年9月22日
最終稿受付：元年9月22日
別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町54 (〒606)
京都大学医学部放射線核医学科
玉木長良

II. 対象および方法

1) 対　象

心筋梗塞25例を含む虚血性心疾患37例を対象と

Presented by Medical*Online

した．年齢は48歳から73歳まで(平均61.3歳)で，男性29名，女性8名であった．29例は3時間後に少量追加投与を，8例では24時間後に少量追加投与を行った．このうち9例では24時間遅延像を撮像している．

2) 運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT と ^{201}Tl 少量追加投与法

運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT は，自転車エルゴメータを用い，25ワットより3分ごとに25ワットずつ増加させる多段階運動負荷を用い，symptom limited の最大運動負荷時に ^{201}Tl を約 111 MBq (3 mCi) 静注し，可能な限り同負荷を1分間継続した．静注10分以内および3時間後に回転型ガンマカメラを用い LPO 45° から RAO 45° まで 180° 回転 (30秒×32方向) しデータを収集した．その後 ^{201}Tl を 37 MBq (1 mCi) 安静時に追加投与して，10分後より少量追加投与像を同様に撮像した．また，24時間像も同様にして得た．

得られた ^{201}Tl 心筋 SPECT 像は 6 mm 間隔の体軸横断断層像のほか，短軸断層像や長軸断層像を再構成した．再構成して得られた心筋 SPECT 像より左室心筋を前壁，中隔，心尖部，下壁，側壁の5区域に区分して，3時間像の再分布の程度と少量追加投与像の再分布の程度を比較検討した．同様に24時間像も3時間像の再分布の程度と比較して少量追加投与法の意義について検討した．

今回の再分布の判定は，得られた心筋 SPECT 像を視覚的に判定して完全再分布，不完全再分布，再分布のない固定性欠損の3つに分類した．

3) 少量追加投与法と局所壁運動

少量追加投与を施行した31例に，当日のうちに RI 心プールを施行した．RI 心プールは ^{99m}Tc in vivo 赤血球標識後10分より平衡時マルチゲート心プールスキャンを用い正面，左前斜位の2方向より，それぞれ300心拍収集を行った．局所壁運動は心筋 SPECT 像との対比のために得られた動画像を正面像で前壁，心尖部，下壁に，左前斜位像で中隔，側壁の計5区域に区分して，5段階にスコア化して (0=normal, 1=hypokinesis, 2=severe hypokinesis, 3=akinesis, 4=dyskinesis)，各群でのスコアの平均を regional wall motion score として算出した．

III. 結 果

1. 少量追加投与像と3時間像の再分布の比較

少量追加投与を試みた37例において，運動負荷直後像で101区域に血流低下を認めた．これらは3時間像で完全再分布 (6区域)，不完全再分布 (43区域)，固定性欠損 (52区域) と判定された．少量追加投与により完全再分布 (22区域)，不完全再分布 (46区域)，固定性欠損 (33区域) と判定されるようになり，101区域の中で67区域 (66%) で同所見であった (Table 1)．しかし，3時間像で不完全再分布であった43区域では，少量追加投与により15区域 (35%) が完全再分布となった．同様に3時間像で固定性欠損であった52区域でも，少量追加投与により19区域 (37%) で再分布がみられるようになった (Table 1)．

2. 24時間像と3時間像の再分布の比較

24時間像を撮像した9例において，運動負荷直後像で20区域に血流低下を認めた．これらは3時間像で完全再分布 (1区域)，不完全再分布 (6区域)，固定性欠損 (13区域) と判定された．24時間像では完全再分布 (0区域)，不完全再分布 (9区域)，固定性欠損 (11区域) と判定され，11区域 (55%) で同所見であった．3時間像で固定性欠損であった13区域では，24時間像により5区域 (38%) で再分布が明らかになったが，3時間像で再分布のみられた7区域の中では，画質の低下のために3区

Table 1 Comparison of ^{201}Tl redistribution by 3 hr delayed scan and ^{201}Tl reinjection scan

3 hr scan	Reinjection scan			Total
	CR	IR	PD	
CR	6	0	0	6
IR	15	28	0	43
PD	1	18	33	52
Total	22	46	33	101

CR=complete redistribution
IR=incomplete redistribution
PD=persistent defect

Presented by Medical*Online

域 (43%) で再分布がみられなくなった (Table 2).

3. 3時間後の再分布と局所壁運動の関係

RI 心プールによる局所壁運動の regional wall motion score は，3時間像で正常血流(完全再分布を含む)の区域で 0.35±0.70, 不完全再分布の区域で 1.00±1.12, 固定性欠損の区域で 2.04±1.13 とおのおの有意差がみられ (各 $p<0.005$), 再分布の少ない区域ほど壁運動異常は著明となった (Table 3).

4. 少量追加投与法と局所壁運動の関係

3時間像で固定性欠損であった区域において，少量追加投与により再分布が明らかになった区域の regional wall motion score は 1.65±1.17 であり，固定性欠損のままであった区域 (2.29±1.05) よりも低値を示し，局所壁運動異常の程度は軽度であった ($p<0.05$). しかし，このような区域は3時間像ですでに不完全再分布のみられる区域 (1.00±1.12) よりも regional wall motion score は高値を示し，局所壁運動異常は著しい傾向にあった ($p<0.05$) (Table 4).

5. 症例呈示

安静時少量追加投与を試みた5症例の運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT 像を供覧する.

【症例1】 52歳，男性：発症1年2か月後の前壁梗塞で，冠動脈造影上左前下行枝に90%の狭窄があり，PTCA により50%狭窄になった1枝病変例である．運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の負荷直後像では前壁と中隔に血流の低下があり，3時間像で同部位に不完全再分布が認められた．これらの部位は，少量追加投与により上部中隔を除いて完全再分布を示した (Fig. 1).

【症例2】 59歳，女性：発症6年後の3枝病変を有する前壁梗塞例である．運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の負荷直後像で前壁と中隔および下壁に血流の低下があり，3時間像で中隔にわずかな再分布を認めるが，前壁と下壁は固定性欠損と考えられた．しかし，少量追加投与によりこれらの部位に再分布を認めた (Fig. 2).

Table 2 Comparison of ^{201}Tl redistribution by 3 hr delayed scan and 24 hr delayed scan

3 hr scan	24 hr scan			Total
	CR	IR	PD	
CR	0	1	0	1
IR	0	3	3	6
PD	0	5	8	13
Total	0	9	11	20

Table 3 Comparison of 3 hr scan with regional wall motion

3 hr scan	n	Wall motion score
PD	45	2.04±1.13 — *
IR	33	1.00±1.12 — *
N or CR	69	0.35±0.70 —

(*$p<0.005$) N=normal perfusion

Table 4 Comparison of ^{201}Tl reinjection scan with regional wall motion

3 hr scan	Reinjection scan	n	Wall motion score
PD	PD	28	2.29±1.05 — †
PD	IR	17	1.65±1.17 — †
IR	IR or CR	33	1.00±1.12 —

(†$p<0.05$)

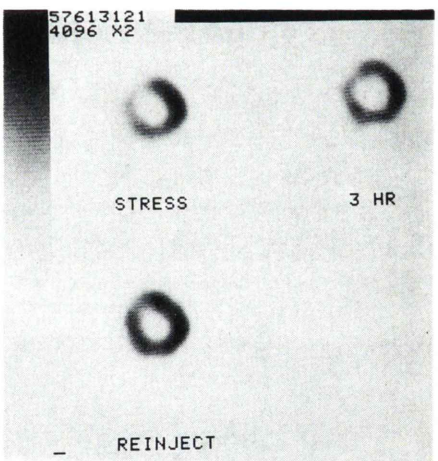

Fig. 1 Representative short axial slice of stress (top left), 3 hr delayed (top right) and ^{201}Tl reinjection (bottom) scans of a patient with anterior wall infarction. Incomplete redistribution in anterior and septal walls is noted on 3 hr delayed image. But complete redistribution in these areas except upper septal wall is noted on reinjection image.

Presented by Medical*Online

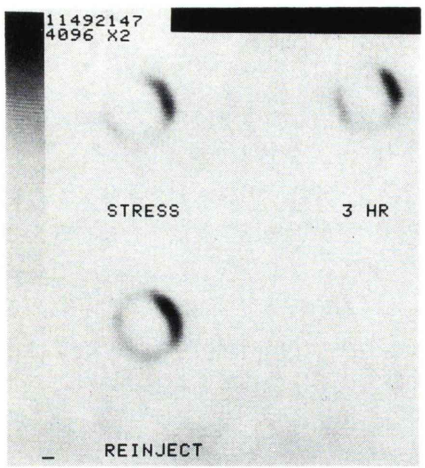

Fig. 2 Representative short axial slice of a patient with anterior wall infarction. Persistent defect in anterior and inferior walls and incomplete redistribution in septal wall are noted on 3 hr delayed image. But incomplete redistribution in these walls is noted on reinjection image.

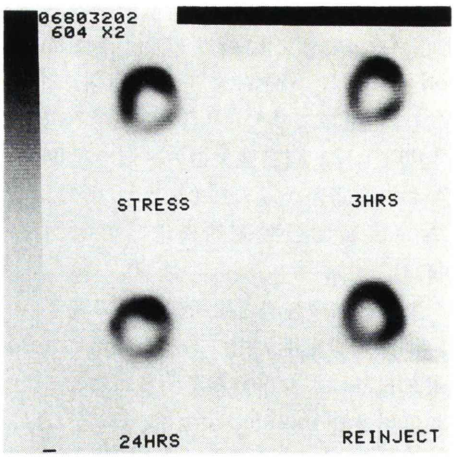

Fig. 4 Representative short axial slice of stress (top left), 3 hr delayed (top right), 24 hr delayed (bottom left) and ^{201}Tl reinjection (bottom right) scan of a patient with lateral wall infarction. Persistent defect in lateral and inferior walls is noted on 3 hr and 24 hr delayed images. But incomplete redistribution in these is noted on reinjection image.

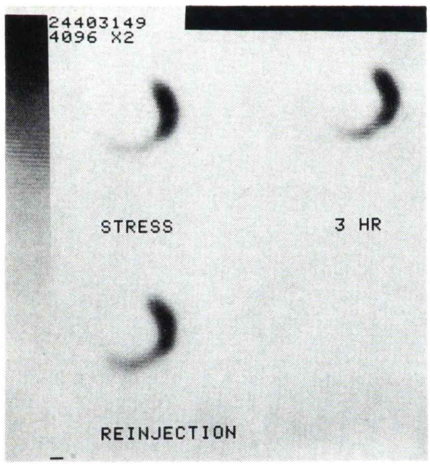

Fig. 3 Representative short axial slice of a patient with anterior wall infarction. Persistent defect in anterior and septal walls and incomplete redistribution in inferior wall are noted on 3 hr delayed image. Same findings in these walls are noted on reinjection image.

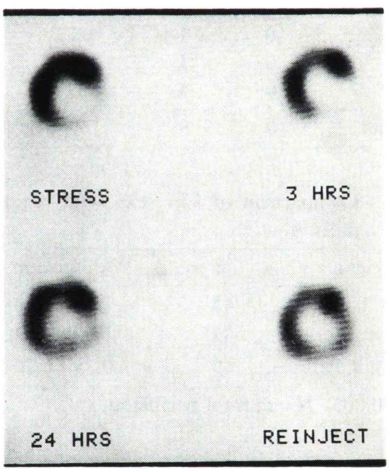

Fig. 5 Representative short axial slice of a patient with lateral wall infarction. Persistent defect in lateral and inferior walls is noted on 3 hr delayed image. But incomplete redistribution in these is noted on 24 hr delayed and reinjection images.

Presented by Medical*Online

【症例3】 56歳，男性：発症4年6か月後の2枝病変を有する前壁梗塞例である．運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の負荷直後像で前壁と中隔および下壁に血流の低下があり，3時間像で下壁は不完全再分布を示し，前壁と中隔は固定性欠損と考えられた．少量追加投与によってもこれらの部位は同所見のままであった (Fig. 3).

【症例4】 54歳，男性：発症4年後の3枝病変を有する側壁梗塞例である．運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の負荷直後像で側壁と下壁に血流の低下があり，3時間像と24時間像では側壁の一部にわずかな再分布がみられたが，下壁ではみられなかった．少量追加投与像では側壁と下壁に明らかな再分布を認めた (Fig. 4).

【症例5】 73歳，男性：発症4か月後の3枝病変を有する側壁梗塞例である．運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の負荷直後像で側壁と下壁に血流の低下があり，3時間像で側壁と下壁は固定性欠損を示した．24時間像でこれらの部位に再分布がみられるようになり，少量追加投与により再分布はさらに明らかになった (Fig. 5).

IV. 考　案

心筋 viability の判定は，運動負荷 ^{201}Tl 心筋シンチグラフィの再分布の有無を視覚的に判定して行われているが[1,2]，この方法のみでは心筋の viability を過小評価する可能性がある[10]．すなわち，固定性欠損と判定された領域に血行再建術後に回復する可逆的な虚血心筋が含まれることや[3,4]，一部に再分布が著しく遅延する虚血心筋が存在すること[5~7]が報告されている．そこで，24時間後のスキャン[6,7]や運動負荷時と安静時の2回投与スキャン[11]が試みられるようになり，われわれも虚血心筋における FDG-PET に検討を加えてきたが[12,13]，その集積の有無と運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT を対比して，再分布の判定には視覚法のみでなく定量解析による微少再分布の重要性を報告している[14,15]．しかし，24時間後のスキャンではカウントの低下による画質の劣化の問題がある．また運動負荷時と安静時の2回投与スキャンではコストの面，被曝の問題だけでなく，さらには半減期が長いために日をあけて2回検査する必要がある．一方微少再分布は有意義であるが，再分布の判定が困難な症例も時折みられる．今回これらの問題点を補い，再分布を十分な画質で，その日のうちに判定することを目的として，運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の3時間後のスキャン後に少量の ^{201}Tl を追加投与して再スキャンを行う少量追加投与法を試みた．少量追加投与により得られた画像は，3時間後の再分布像と安静時血流分布像をあわせた意味をもち，十分なカウントを有する画像で再分布の判定を行うことができる．以前にも，^{201}Tl の1/4量を分注して心筋血流予備能を定量評価する方法を試みてきたが[16,17]，今回は安静時に少量追加投与を行い再分布の判定に用いてみた．

今回の検討では，3時間像で固定性欠損と判定された区域の約40%に少量追加投与により再分布がみられ，3時間像で不完全再分布であった区域の35%は少量追加投与により完全再分布となった．症例は少ないが24時間像でも3時間像で固定性欠損であった区域の約40%に再分布がみられたが，一部に3時間像より再分布の判定が困難になった区域が存在した．これは ^{201}Tl のカウントが少なく，とくに24時間像では収集カウントの低下により画質の劣化が著しく，分布の詳細な変化の解析が困難なためと考えられる．このことより，少量追加投与法は遅延再分布の区域の検出に24時間像とほぼ同等，あるいはそれ以上の有用性があることが示された．また24時間像と比較して当日のうちに検査ができ，画質も良いという利点もあり，とりわけ3時間像で再分布の明らかでない固定性欠損が存在する場合に少量追加投与を行うことは，心筋 viability のより正確な評価のために有用と考えられた．

一方，局所壁運動との対比検討では，^{201}Tl の再分布の程度は局所心機能と密接な関連のあることが示された．とりわけ少量追加投与法により再分布の明らかになった区域は，3時間後にすでに再分布のある領域よりも心機能は低下しているが，

Presented by Medical*Online

少量追加投与でも再分布のみられない領域よりも心機能は保たれており，虚血の程度は著しいがある程度 viable な心筋の存在を反映しているものと考えられた．ただし，今回の壁運動評価は安静時のみの検討であり，今後運動負荷を含めた対比検討が必要と考えられる．また viability の判定には，血行再建術前後での検討も重要であり，今後この点についても検討を加えてゆく予定でいる．

本法は当日のうちに検査が終了し，かつ画質が良く再分布の有無をより高い信頼度で判定できる．今回の検討から，心筋の viability を判定する上では ^{201}Tl の再分布の有無は重要であり，3時間像で固定性欠損でもなんらかの方法により再分布の有無を検出することが大切であり，そのひとつとして少量追加投与法が有用であることが示唆された．

V. ま と め

虚血性心疾患37例に運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の遅延像撮像後に安静時少量追加投与を試み，再分布の程度について3時間像と比較検討した．24時間像を撮像した9例についても同様に検討した．RI 心プールも施行した31例では局所壁運動についても検討した．

1) 3時間像で固定性欠損であった52区域の中で，19区域(37%)は少量追加投与により再分布がみられた．

2) 3時間像で不完全再分布であった43区域の中で，15区域(35%)は少量追加投与により完全再分布になった．

3) 24時間像では，3時間像で固定性欠損であった13区域の中の5区域(38%)で再分布が明らかになったが，3時間像で再分布のみられた7区域の中の3区域で画質の低下のために再分布がみられなくなった．

4) Regional wall motion score による局所壁運動の検討では，3時間像で正常血流，不完全再分布，固定性欠損の区域の局所壁運動の間に有意差が認められた (各 $p<0.005$).

5) 3時間像で固定性欠損である区域において，少量追加投与により再分布が明らかになった区域(壁運動スコア$=1.65\pm1.17$) と固定性欠損のままであった区域 (2.29 ± 1.05) では，局所壁運動の間に有意差が認められた ($p<0.05$).

以上より，運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の再分布の判定に少量追加投与法を併用することにより，心筋 viability の評価が向上し，かつ少量追加投与により再分布のみられる領域は viable な心筋であることが示唆された．

文 献

1) Pohost GM, Zir LM, Moore RH, et al: Differentiation of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. Circulation **55**: 294–302, 1977
2) Rozanski A, Berman DS, Gray R, et al: Use of thallium-201 redistribution scintigraphy in the preoperative differentiation of reversible and nonreversible myocardial asynergy. Circulation **64**: 936–944, 1981
3) Gibson RS, Watson DD, Taylor GJ, et al: Prospective assessment of regional myocardial perfusion before and after coronary revascularization surgery by quantitative thallium-201 scintigraphy. J Am Coll Cardiol **3**: 804–815, 1983
4) Liu P, Kiess M, Okada RD, et al: The persistent defect on exercise thallium imaging and its fate after myocardial revascularization: does it represent scar or ischemia? Am Heart J **110**: 996–1001, 1985
5) Gutman J, Berman DS, Freeman M, et al: Time to completed redistribution of thallium-201 in exercise myocardial scintigraphy: Relationship to the degree of coronary artery stenosis. Am Heart J **106**: 989–995, 1983
6) 武藤敏徳：運動負荷 Tl-201 心筋 SPECT による遅延再分布の検討．核医学 **25**: 639–645, 1988
7) Kiat H, Berman DS, Maddahi J, et al: Late reversibility of tomographic myocardial thallium-201 defects: An accurate marker of myocardial viability. J Am Coll Cardiol **12**: 1456–1463, 1988
8) Brunken R, Schwaiger M, Grover-McKay M, et al: Positron emission tomography detects tissue metabolic activity in myocardial segments with persistent thallium perfusion defects. J Am Coll Cardiol **10**: 557–567, 1987
9) Tamaki N, Yonekura Y, Senda M, et al: Value and limitation of stress thallium-201 single photon emission computed tomography: Comparison with nitrogen-13 ammonia positron tomography. J Nucl Med **29**: 1181–1188, 1988

Presented by Medical*Online

10) Cloninger KG, Depuey EG, Garcia EV, et al: Incomplete redistribution in delayed thallium-201 single photon emission computed tomographic (SPECT) images: An overestimation of myocardial scarring. J Am Coll Cardiol **12**: 955–963, 1988
11) Berger BC, Watson DD, Burwell LR, et al: Redistribution of thallium at rest in patients with stable and unstable angina and the effect of coronary artery bypass surgery. Circulation **60**: 1114–1125, 1979
12) Fudo T, Kambara H, Hashimoto T, et al: F-18 deoxyglucose and stress N-13 ammonia positron emission tomography in anterior wall healed myocardial infarction. Am J Cardiol **61**: 1191–1197, 1988
13) Yonekura Y, Tamaki N, Kambara H, et al: Detection of metabolic alterations in ischemic myocardium by F-18 fluorodeoxyglucose uptake with positron emission tomography. Am J Cardiac Imaging **2**: 122–132, 1988
14) Tamaki N, Yonekura Y, Yamashita K, et al: Relation of left ventricular perfusion and wall motion with metabolic activity in persistent defects on thallium-201 tomography in healed myocardial infarction. Am J Cardiol **62**: 202–208, 1988
15) 大谷 弘, 玉木長良, 山下敬司, 他：運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の定量解析法による心筋 viability の再評価——FDG-PET との対比検討——. 核医学 **26**: 1389–1398, 1989
16) Kadota K, Kambara H, Yoshida A, et al: Fractional uptake of the myocardium assessed by two sequential administrations of thallium-201 in coronary artery disease. Jpn Circ J **46**: 753, 1982
17) 神原啓文, 野原隆司, 河合忠一, 他：^{201}Tl 心筋シンチグラフィーおよび ^{13}N-NH_3 ポジトロン CT による心筋血流の評価. J Cardiography **16**: 519–525, 1986

Summary

Assessment of Resting Thallium-201 Reinjection after Stress-Delayed Tl Imaging (I): Comparison with 24-hour Scan and Regional Wall Motion

Hiroshi OHTANI*, Nagara TAMAKI*, Yoshiharu YONEKURA*, Ryuji NOHARA**, Ishtiaque H. MOHIUDDIN*, Shinji ONO**, Hirofumi KAMBARA**, Chuichi KAWAI**, Kazuo HIRATA***, Toshihiko BAN*** and Junji KONISHI*

**Department of Radiology and Nuclear Medicine, **Third Division, Department of Internal Medicine, ***Department of Cardiovascular Surgery, Kyoto University Faculty of Medicine, Kyoto*

Clinical value of resting reinjection of 1 mCi (37 MBq) of Tl after stress-delayed scan was assessed in comparison with 24 hr delayed scan and regional wall motion (RWM) in 37 patients with coronary artery disease. Of 101 segments with initial perfusion abnormality, concordant findings were observed after Tl reinjection in 67 segments (66%). But redistribution (RD) after Tl reinjection was observed in 19 of the 52 persistent defect (PD) segments (37%), and complete RD was observed 15 of the 43 segments (35%) where 3 hr scan showed incomplete RD. On the other hand, concordant findings were observed on 24 hr delayed scan in 11 of the 20 segments with perfusion abnormality (55%). RD on 24 hr delayed scan was observed in 5 of the 13 PD (38%), but it was not apparent in 3 of the 7 segments where 3 hr scan showed RD. Furthermore the segments which showed RD after Tl reinjection in PD segments tend to have less severe RWM abnormality than the sustained PD segments (RWM score: 1.65 ± 1.17 vs. 2.29 ± 1.05, $p<0.05$).

These data indicate that Tl reinjection which permits assessment of RD with good quality images on the same day is considered as a valuable means for assessing myocardial viability.

Key words: Coronary artery disease, Tl-201, Viability, 24-hour scan, Regional wall motion.

Presented by Medical*Online