

## 《原 著》

## 虚血性心疾患の診断と運動負荷時心筋タリウム Washout Rate

## —Washout Rate に影響する因子—

成田 充啓\* 栗原 正\* 村野 謙一\* 宇佐美暢久\*

本田 稔\*\* 友延 正弘\*\* 金尾 啓右\*\*

**要旨** 運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT を負荷直後と 3 時間後の再分布時に行い、心筋虚血以外に  $\text{Tl}$  washout rate (WOR) に影響する因子を健常例 (20 例) で検討、この結果を冠動脈疾患 (CAD, 159 例) に応用した。健常例で、心筋部位は  $\text{Tl}$  WOR に影響しなかったが、運動負荷量 ( $\text{Tl}$  静注時心拍数)、負荷時肺心筋  $\text{Tl}$  摂取比 ( $L/M$ ) は WOR とおのおの相関係数  $r=0.71$ ,  $r=-0.57$  (ともに  $p<0.01$ ) と WOR に影響した。また健常例の WOR のデータや CAD における応用より WOR の異常 (<30%) を心筋虚血の診断基準として使用するのは  $\text{Tl}$  静注時心拍数が 110/分以上の症例に限るのが適切と思えた。また負荷時心拍数が 110/分を超えた CAD において  $L/M$  が 0.45 以上の症例は正常冠動脈支配域でも WOR の低下を示した。運動負荷量,  $L/M$  を考慮した WOR の CAD における応用は specificity を損うことなく、狭窄冠動脈の診断率を 71% から 79% へと有意 ( $p<0.01$ ) に向上した。以上より心筋虚血の診断基準に WOR を使用する際、運動負荷量,  $L/M$  の考慮が必要である。

## I. はじめに

運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋断層像 (SPECT) は虚血性心疾患 (CAD) の有用な診断、評価法であるが、左室内での相対的な  $\text{Tl}$  の濃度差を示しているため、画像の視覚判定のみでは心筋虚血の診断が不十分な場合がしばしば存在する<sup>1,2)</sup>。他方、虚血心筋においては、正常灌流心筋や心筋梗塞部に比し、 $\text{Tl}$  が初期分布した後の  $\text{Tl}$  の減衰がきわめて緩やかであることが知られており<sup>3~5)</sup>、したがって運動負荷後の心筋内  $\text{Tl}$  の動態を定量的に評価すること、すなわち  $\text{Tl}$  washout rate (WOR) の測定が必要となる。WOR の低下を心筋虚血の診断基準に追加することで、その診断精度を改善せしめうることが報告されてきた<sup>5~7)</sup>。しかし WOR

が虚血以外の因子によっても変わりうることはすでに報告されており<sup>6,8)</sup>、WOR の低下を心筋虚血の診断基準として正しく使用するためには、WOR に影響する虚血以外の因子に關し考慮が必要である。したがって、今回は負荷時心拍数等 WOR に影響するであろういくつかの因子に關し、健常例で検討し、その結果を CAD の診断に応用した。

## II. 対象と方法

## 1. 対象

対象は健常 20 例、CAD 159 例である。

健常例は男性 11 例、女性 9 例で、平均年齢 52 土 8 歳 (mean±SD) (36~59 歳) で内 9 例では非定型胸痛のため冠動脈造影、左室造影を行い異常をみず、かつ負荷心電図、Holter 心電図で ST, T に異常なく、また運動負荷心ペルシンチでも正常反応を呈した症例で、他の 11 例は病歴、理学的所見、胸部レ線、運動負荷心電図、心エコー図等より、CAD、その他の心疾患なしと判定された症例である。

\* 住友病院内科

\*\* 同 アイソトープ室

受付：62 年 11 月 9 日

最終稿受付：62 年 12 月 26 日

別刷請求先：大阪市北区中之島 5-2-2 (番 530)

住友病院内科

成田 充啓

CAD はいずれも 冠動脈造影上 冠動脈の 1 枝以上に 75% 以上の狭窄を有する症例で平均  $56 \pm 10$  歳 (34–76 歳), 男性 138 例, 女性 21 例であった。罹患病変数からの分類は 1 枝病変 50 例, 2 枝病変 58 例, 3 枝病変 49 例, 左冠動脈主幹部狭窄 2 例であった。左冠動脈主幹部狭窄は以後 2 枝病変として扱った。病歴からの分類では, 心筋梗塞の既往のない狭心症 59 例, 心筋梗塞の既往を有し, かつ狭心症も存在する 62 例, 心筋梗塞の既往はあるが狭心症のない 38 例で, いずれも CAD としては臨床的に安定した状態の症例であった。

## 2. 方 法

**シンチグラム撮影法** 運動負荷は, 心電図(12 誘導), 血圧をモニターしつつ坐位自転車エルゴメータによる多段階負荷を行い, 一定基準に至った際<sup>6,9)</sup>  $^{201}\text{TlCl}$  3 mCi を静注, さらに 1 分間同レベルの運動を継続した後シンチグラムを撮影した。心筋シンチは負荷直後(Ex)と 3 時間後の再分布時(RD)の 2 回撮影を行ったが, いずれも低エネルギー, 液用コリメータを装着した回転型ガンマカメラ(Starcam 400AC/T)を用い, 左後斜位 45 度から右前斜位 45 度までの 180 度 32 方向より撮影した。なお負荷像では 1 方向 20 秒, 再分布像では 1 方向 25 秒間撮影した<sup>6,10)</sup>。

**画像処理および WOR の計測** 断層像の作成, その他のコンピュータ処理には Star または Starcam(ともに GE 社製)を用いた。断層像の作成には Rump-Hunning フィルターを用い filtered back projection 法によりスライス厚 6 mm ごとの体軸横断断層像を作成, これをもとに心長軸矢状断層像(vertical long-axis image), 心長軸水平断層像(horizontal long-axis image), 短軸断層像(short-axis image)の 3 つの oblique image を作成<sup>6,10)</sup> 視覚判定に用いた。また GE 社製 Bull's-eye プログラムを用いて Bull's-eye 表示を行った。Bull's-eye 表示に関してはすでに報告<sup>6,10)</sup> したところであり詳細は本論文では省略するが, 簡単に述べると, 負荷時, 再分布時とも短軸断層像を心尖部が中央, 心基部が辺縁となるよう同心円状に配列, 各断層面を 9 度ごと 40 個に区分し, 最大カ

ウント circumferential profile を作成, これより TI の相対的な濃度差を functional map として極座標表示し, さらに相対応するセグメントの WOR をも極座標表示しようとするものである。なお WOR の測定に際しては, Ex, RD で撮影時間が異なるために, RD での各 planar image に 0.8 を乗じて作成した再分布短軸像を使用した。WOR は各症例において maximal WOR (max WOR), average WOR, minimal WOR (min WOR) が表示される。

**灌流異常の診断** 心筋区域と冠動脈支配を関連づけて診断した。すなわち, 中隔, 前壁に冠流異常が出現した時には左冠状動脈前下行枝(LAD)の病変と, 側壁の灌流異常では左冠状動脈回旋枝(LCx)の病変と, 下壁から後壁の灌流異常は右冠動脈(RCA)の病変と診断した。

負荷像での欠損が再分布像で改善または消失する時, 負荷により虚血を生じたと, また負荷像での欠損が再分布像で不变の時, 心筋壊死と診断した(視覚判定)。なお視覚判定は, 著者の内 3 名で行い, 異なった判定の際には討論の結果判定の一一致をみた。さらに, 負荷像での欠損の有無にかかわらず, WOR が一定未満の値を示した時(後述)心筋虚血ありと診断した。

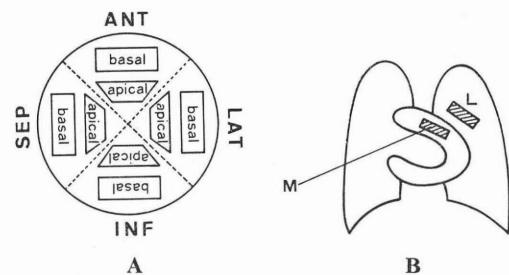


Fig. 1 A; Myocardial image (Bull's-eye map) was divided into 4 segments (septal, anterior, lateral and inferior), and each segment was divided into apical and basal regions.

B; Calculation of lung to myocardial  $^{201}\text{TI}$  uptake ratio (L/M). L/M was calculated in the anterior projection immediately after exercise stress. In addition to myocardial ROI (M), pulmonary ROI (L) was placed over the lung superolaterally to the anterior wall of the left ventricle.

**WOR に影響する因子の検討** WOR に影響する因子として次の検討を行った。(1) 心筋部位の WOR に及ぼす影響。心筋部位は Fig. 1A に示すごとく、左室を中隔、前壁、側壁、下壁に区分し、またそのおののを心尖部よりも心基部よりの区域にわけ検討した。(2) 負荷量 (Tl 静注時心拍数) の WOR に及ぼす影響。(3) 肺、心筋 Tl 摂取比の WOR に及ぼす影響。肺、心筋 Tl 摂取比は、Fig. 1B に示すごとく SPECT 撮影時正面像において最も Tl の取り込みの高い心筋部における平均カウント (M) と心筋前側壁外方に設置した平均肺 Tl カウント (L) の比 L/M として示した<sup>12)</sup>。

この内健常例で WOR に影響を与えた因子に關し CAD で検討した。

### 3. 統計処理

各群での平均値は mean±SD で示した。また各群間の比較には Student t-test または McNemar の検定を行い、危険率 5% 未満を有意と考えた。回帰性の検討には直線回帰分析を行った。

## III. 結 果

全例で満足する負荷、再分布心筋 SPECT, Bull's-eye map がえられた。

### 1. 健常例での検討

健常例での運動中止の理由は、年齢別予測最大心拍数の 85% に至った (12 例) か下肢疲労 (8 例) によるもので、胸痛、不整脈の出現、血圧低下、異常な血圧上昇等は存在しなかった。また Tl 静注時心拍数は  $143 \pm 2$ /分 (110–177/分) であった。画像上灌流異常はみず、負荷後 3 時間での WOR は average WOR で  $49 \pm 6\%$  (39–59%)、max WOR で  $58 \pm 5\%$  (49–66%)、min WOR で  $40 \pm 7\%$  (31–52%) であった。

**心筋部位の WOR に及ぼす影響** 負荷時左室 Tl 分布は一様でなく、男女間でも差があった。Fig. 2 は中隔心基部での Tl 活性を 100% として表示したものであるが、男性では前壁心尖部が  $107 \pm 6\%$  と有意に高く、下壁心基部が  $89 \pm 6\%$  と有意に低かったが、女性では下壁心基部が有意に低い ( $93 \pm 7\%$ ) にとどまった。他方 WOR も中隔

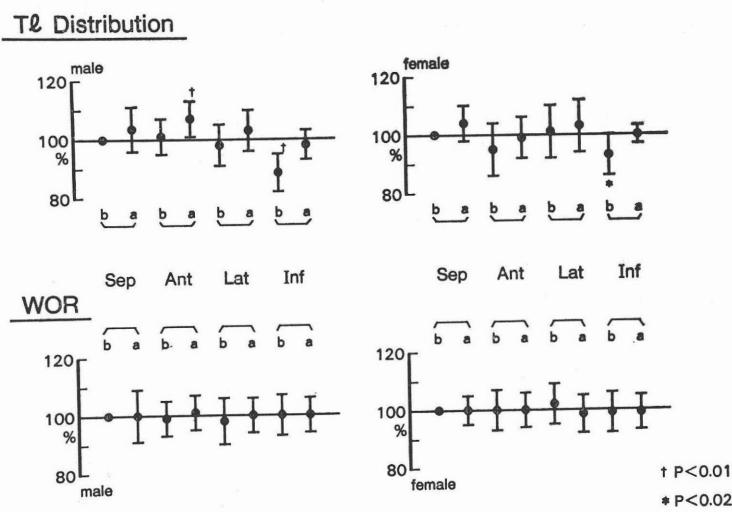


Fig. 2 TI-201 distribution and TI-201 washout rate (WOR) of each myocardial segment in normal subjects.

Upper; TI distribution at exercise stress. TI-201 activity at septal base was expressed as 100%. TI-201 distribution was not uniform within the left ventricle.

Lower; WOR of each myocardial segment. WOR of septal base was represented at 100%. WOR was uniform within the left ventricle.

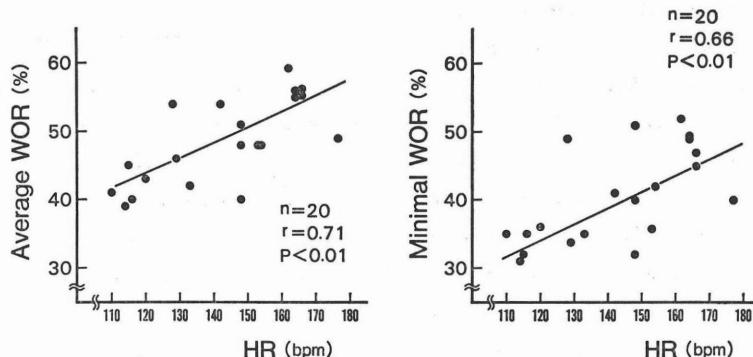


Fig. 3 Correlation between WOR and exercise heart rate (HR) in normal subjects. Both average and minimal WOR correlated well with exercise HR.

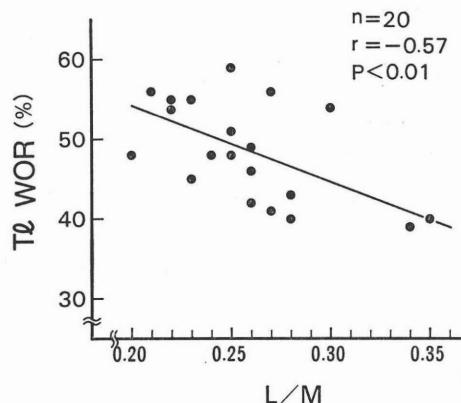


Fig. 4 Correlation between WOR and L/M in normal subjects. WOR correlated inversely with L/M.

心基部を100として表示したが、各心筋部位で差をみなかった(Fig. 2)。またglobal WORの値はaverage WORで男性 $48\pm 6\%$ 、女性 $49\pm 7\%$ と性別による差をみなかった。なお男女間で年齢(男性:51±7歳、女性:53±10歳)、静注時の心拍数(男性:141±24/分、女性:146±18/分)に差をみなかった。

**負荷量のWORに及ぼす影響** Tl静注時心拍数(HR)とaverage WORの間には $r=0.71$ (average WOR= $0.22HR+18$ ,  $p<0.01$ )、max WORとの間には $r=0.78$ (max WOR= $0.20HR+30$ ,  $p<0.01$ )、min WORとの間には $r=0.66$ (min WOR= $0.21HR+10$ ,  $p<0.01$ )の高度の正の相関が存

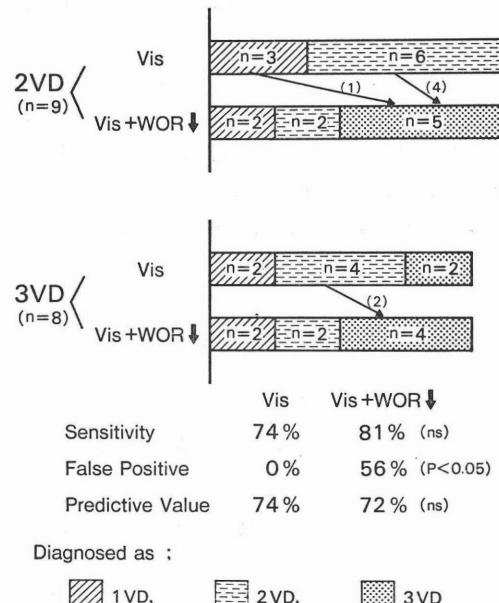


Fig. 5 Detection of coronary artery stenosis in patients with inadequate exercise stress (HR < 110 bpm). (n=17)

Visual interpretations (Vis) showed sensitivity of 74% and specificity of 100%. Additional use of abnormal WOR (<30%) as a criteria of myocardial ischemia reduced specificity significantly without improving sensitivity. A parenthesized number indicated patient number.

1VD; one vessel disease

2VD; two vessel disease

3VD; triple vessel disease

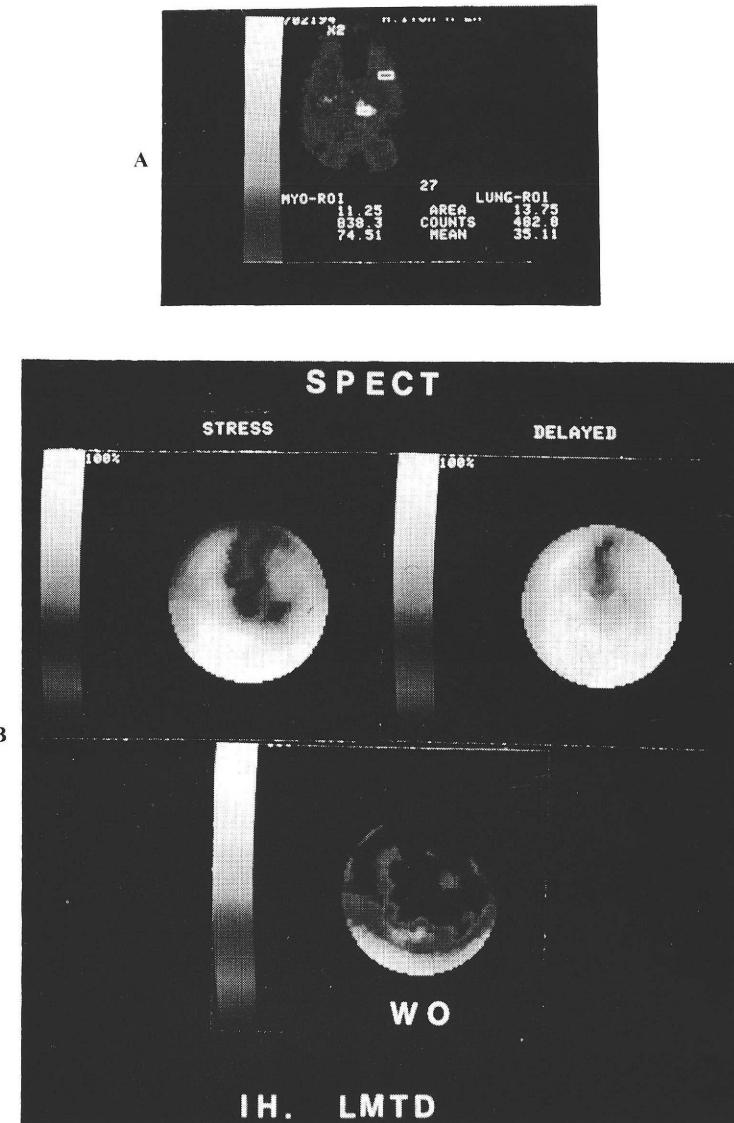


Fig. 6 A case of CAD with left main trunk stenosis with old anterior infarction.

A; Planar image showed abnormally high L/M (0.47).

B; Exercise Bull's-eye map showed septal, anterior and lateral defects. Delayed Bull's-eye map showed residual perfusion abnormality in anterior wall. But WOR-map represented abnormal WOR all over the left ventricle.

在した。負荷時心拍数と average WOR, min WOR の関係を Fig. 3 に示す。

肺、心筋 TI 摂取比 L/M の WOR に及ぼす影響 L/M は平均  $0.26 \pm 0.04$  (0.21–0.34) であり average WOR との間には  $r = -0.57$  (average WOR =

$-91[L/M] + 72, p < 0.01$ ) の有意の負の相関が存在した (Fig. 4). L/M と TI 静注時の心拍数の間には有意な相関をみなかった ( $r = -0.37, ns$ ).

## 2. CAD での検討

CAD において運動中止の理由は胸痛出現によ

るもの63例、収縮期血圧の低下によるもの5例、重症不整脈の出現によるもの3例、年齢別予測最大心拍数の85%に至ったもの58例、下肢疲労によるもの30例であった。

**WOR 異常による心筋虚血診断の運動量の影響**  
 健常例でのTI静注時心拍数は110/分以上であったため、TI静注時心拍数が110/分未満であったCAD 17例(男性:15例、女性:2例、平均年齢 $58 \pm 6$ 歳、2枝病変9例、3枝病変8例)において検討を加えた。負荷中止の理由は胸痛出現8例、下肢疲労によるもの9例で、TI静注時の心拍数は平均 $92 \pm 7$ /分(82-105/分)であった。健常例でのmin WORの最小値が31%であったことより(Fig. 3)、30%を正常灌流心筋でのWORの下限と仮定し、視覚判定での心筋虚血の診断と、WOR併用による心筋虚血の診断を対比した(Fig. 5)。視覚判定では2枝病変9例中3例が1枝病変と6例が2枝病変と診断されたが、この内1枝病変と判定した1例、2枝病変と判定した4例の計5例で健常灌流域にもWORの低下が認められ、WORの低下を心筋虚血の診断基準として追加することにより、3枝病変と誤って診断された。すなわちTI静注時の心拍数が110/分未満のCADで、WORの低下を心筋虚血の診断基準とすることは、冠動脈狭窄の診断のsensitivityを増やすなかつた(74% vs. 81%, ns)がspecificityを有意に低下せしめた(100% vs. 44%, p<0.05)(Fig. 5)。

なお、視覚判定で心筋壊死と判定した心筋部(persistent defect)でのWORは、負荷時心拍数が110/分を超えた症例では全域で30%以上であり、ほとんどの心筋域では41%以上を示した。

**WOR 異常による心筋虚血診断の肺、心筋 TI取り込み比の影響** CADの内TI静注時心拍数が110/分を超えている症例142例中6例で正常冠動脈支配心筋域にもWORの低下(<30%)が認められた(Fig. 6)。つまり視覚判定にWORの低下を心筋虚血の診断基準として併用することで、誤って3枝病変と診断された1または2枝病変(Group III)(1枝病変3例、2枝病変3例、平均

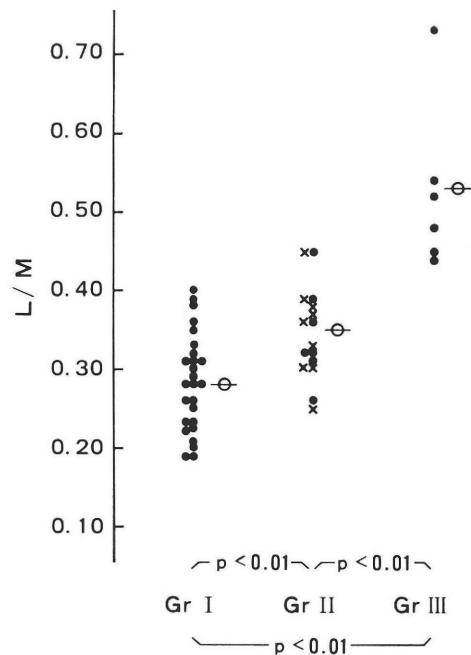


Fig. 7 Comparison of L/M among 3 different CAD groups.

Group I; patients who developed exercise induced myocardial ischemia in one or two coronary artery territories.

Group II; patients with triple vessel disease (3VD) who showed perfusion abnormality in all three coronary territories.

Circle: visual interpretation of myocardial SPECT indicated 3VD

Cross: combined use of WOR abnormality indicated 3VD

Group III; patients with one or two vessel disease who showed abnormal WOR in myocardial segments which were supplied by normal coronary arteries.

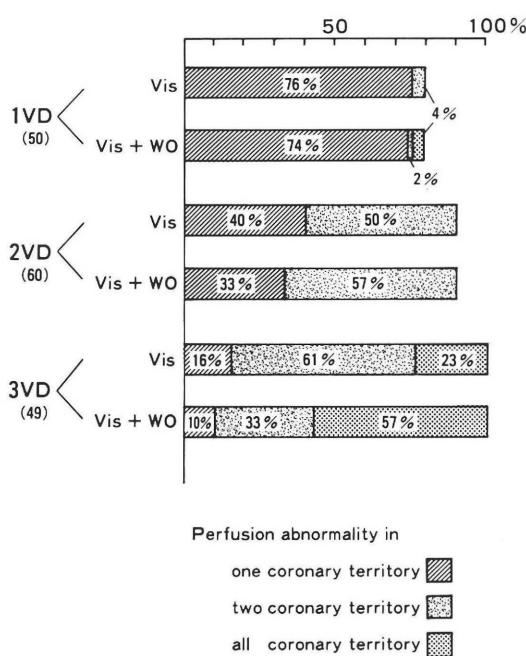
年齢 $53 \pm 8$ 歳)と、1枝または2枝領域に視覚判定で負荷により一過性 defectの出現をみ、かつ他の冠動脈領域のWORは30%を超えている症例の内、at randomに選んだ26例(Group I)(1枝病変11例、2枝病変11例、3枝病変4例、平均年齢 $54 \pm 8$ 歳)、視覚判定のみ、または視覚判定にWORの併用(WOR<30%)で3枝全域に灌流異常ありと診断された3枝病変の内、at randomに選んだ16例(Group II)(平均年齢 $56 \pm 9$ 歳)の3群で、

**Table 1** Comparison of L/M and exercise HR among three CAD groups

	Case No.	Age (year-old)	M: F	Exercise HR (bpm)	L/M
Group I	26	54±8	25: 1	144±14	0.26±0.06*
Group II	16	56±9	13: 3	133±10†	0.35±0.06*
Group III	6	53±8	6: 0	143±8	0.53±0.10*

†p&lt;0.01 vs. Group I and Group III

\*p&lt;0.01 each other

**Fig. 8** Detection of CAD by exercise stress myocardial SPECT in all patients. (n=159)

The combined use of WOR abnormality (<30%) considering both exercise HR and L/M at exercise improved the sensitivity to detect coronary artery stenosis from 71% (visual interpretation) to 79% (p<0.01).

肺、心筋 TI 取り込み比 (L/M) を比較した (Fig. 7) (Table 1)。TI 静注時心拍数は Group II のみ有意 (p<0.01) に低かった。L/M は Group I で  $0.26 \pm 0.06$ , Group II で  $0.35 \pm 0.06$ , Group III で  $0.53 \pm 0.10$  と Group III では他の群よりきわめて高く、Group I, II で L/M は全例 0.45 以下であったにもかかわらず Group III では全例 L/M は 0.45 以上であった。

TI 静注時心拍数、肺、心筋 TI 摂取比を考慮した WOR 使用による冠動脈疾患の診断 CAD 159例で検討を行ったが、内 TI 静注時心拍数 110/分未満の症例 (17例)、静注時心拍数が 110/分以上でかつ負荷時 L/M が 0.46 以上の症例 (4 例) では、心筋灌流異常の診断に視覚判定のみを用いた。逆に、TI 静注時心拍数が 110/分以上でかつ L/M が 0.45 以下の症例 138 例では視覚判定に WOR の異常 (<30%) を心筋虚血の診断基準として用いた。視覚判定のみ、視覚判定に WOR の異常の併用の両者で、CAD の存在診断は 1 枝病変 80%, 2 枝病変 90%, 3 枝病変 100% と変わらなかったが、WOR の併用は、3 枝病変での正診率を視覚判定の 23% から 57% へと有意 (p<0.01) に向上した。また冠動脈狭窄の診断率を視覚判定のみの 71% から WOR 併用の 79% へと有意 (p<0.01) に向上せしめた。他方 specificity は視覚判定のみで 99%，WOR 併用で 98% と差をみなかった (Fig. 8)。

#### IV. 考 案

運動負荷 TI 心筋 SPECT は心筋が重なりあうことなく、またバックグラウンドなしに描出されるため、CAD の優れた診断法であるが、相対的な TI 濃度差を表現しているため、種々の程度の虚血が混在する際には、虚血を生じていながら、さらに高度の虚血が生じた部位より TI の取り込みが多いため、画像上は正常灌流のごとく判定されることもまれではない。一方、虚血心筋域では初期分布後 TI の減衰がきわめて緩やかであること<sup>3~5)</sup>を利用し、運動負荷後の心筋内 TI の WOR を計測し、この異常より心筋虚血の診断を行おうとする試みが広くなされ、本法の精度の向上をみ

ている<sup>5~7)</sup>。しかし TI 静注時心拍数<sup>6,8)</sup>のごとく、心筋虚血以外にも心筋内 TI WOR に影響する因子が存在することが知られており、CAD の異常より心筋虚血の診断を行うには、こうした因子にも十分注意を払う必要がある。したがって運動負荷量すなわち TI 静注時心拍数のほか、肺、心筋 TI 摂取比 (L/M)、心筋部位、性別の TI WOR に及ぼす影響を検討した。この内、心筋部位、性は健常例において WOR に影響しなかったものの、負荷時心拍数、L/M は WOR に大きく影響した。すなわち、WOR は従来の報告<sup>8)</sup>どおり、負荷時心拍数と正の直線相関が存在し (Fig. 3)，したがって TI 静注時心拍数に応じて WOR の正常下限を設定すべきであるとも思えたが、心拍数が比較的多いにもかかわらず WOR が低値を示す例も存在すること、またわれわれの症例 (健常例) では心拍数 110/分以上の症例のみで検討したことより、心筋虚血の診断基準としての WOR の使用は、TI 静注時心拍数が 110/分以上の症例にのみ限り、また健常例での min WOR のデータより 30% 未満とした (Fig. 3)。現に、TI 静注時心拍数が 110/分未満の CAD にも WOR 30% 未満を心筋虚血の診断基準として使用すると大幅に false positive を増やした (Fig. 5)。もう一つ WOR に影響を及ぼしたのは、負荷時 L/M であり、これは負荷時での左心機能、言い換えれば左室拡張終期圧 (LVEDP) を反映していると報告されている<sup>12,13)</sup>。一方、L/M は負荷時心拍数によって影響されるとの報告<sup>14)</sup>もある。しかしそれわれの症例では L/M と TI 静注時心拍数の間に相関をみず ( $r = -0.37$ , ns)，ある一定以上の負荷がかかっている症例において L/M の心拍数による影響は無視してよいものと考えられた。われわれは健常例で L/M と WOR が負の直線相関を有していることを示し (Fig. 4)，L/M も負荷時心拍数と別個に WOR に影響しうる因子であることを示した。したがって L/M がきわめて高い場合には、言い換えれば運動負荷により LVEDP の上昇が大であるような際には、虚血出現の有無にかかわらず WOR が低下していくと考えられる。実際に TI 静注時心拍数が 110/分

以上の CAD においても、1 または 2 枝病変にかかわらず、正常冠動脈支配心筋において WOR の低下を示した例が 6 例存在した。これらの例では L/M は他の群、すなわち 1 または 2 枝虚血群 (Group I)、3 枝全域灌流異常群 (Group II) に比し有意な高値を示した (Fig. 7)。L/M が負荷で著明な高値を示した Group III は、広汎な前壁梗塞を伴う 1 枝または 2 枝病変 5 例と、前壁梗塞に加え左冠動脈主幹部に狭窄を有した症例 (Fig. 6) 1 例で、いずれも心機能が不良と考えられる症例であり、運動負荷により LVEDP の著明な上昇をきたし、肺野の TI の集積と正常灌流部での初期 TI 取り込みの低下 (L/M 高値) とそれに続く心筋内 TI WOR の低下をきたしたものと考えられた。もちろん 3 枝病変でも運動負荷により心機能障害が著しくなり、LVEDP の上昇により L/M の異常高値をみると考えられ、むしろ 3 枝病変の方が、このような症例が多いと思える。しかし実際には、Group II では Group I より L/M は高いものの Group III より小であった。これは重症の 3 枝病変では、狭心症が早期におこったり、負荷時心拍出量の増加が不十分なことによる早期下肢疲労の出現<sup>15)</sup>等により、十分な負荷がかからない内に負荷終了となるためと考えられた。また負荷法の差、例えば自転車エルゴメータのかわりにトレッドミルを用いるといったことが血圧の反応や下肢疲労による運動中止の出現率に差をきたし、多少とも結果に差異を生じることは否定しないが、いずれにしろ、静注時心拍数 (運動負荷量)、負荷時肺、心筋 TI 摂取比 (負荷時 LVEDP) は、心筋虚血以外に、心筋 TI WOR の低下をきたしてくる要因であり、WOR を心筋虚血の診断基準として使用する際に、こうした因子にも十分配慮することが必要と考えられた。

## V. 結 論

- 運動負荷直後および 3 時間後に TI 心筋 SPECT を行い、心筋虚血以外に心筋 TI WOR に影響する因子に関し、健常例 (20 例) で検討、さらにこの結果を CAD (159 例) に応用した。

2. 負荷時, 再分布時とも長軸を基準に 3 つの oblique image を作成, 視覚判定に用いるとともに Bull's-eye 法を用い WOR を左室全域にわたり計測した。

3. 健常例で, 心筋部位, 性別は WOR に影響しなかったが, TI 静注時心拍数, 負荷時 SPECT撮影時 planar image 正面像でみた肺, 心筋 TI 摂取比 (L/M) は, おのおの  $r=0.71$ ,  $r=-0.57$  (ともに  $p<0.01$ ) と WOR と相関を示し, WOR に影響した。

4. 健常例の WOR のデータより, 心筋虚血の診断基準としての TI WOR の使用は, TI 静注時心拍数が 110/分を超えていた症例に限り, かつ WOR 30% 未満を虚血域とみなすのがよいと考えられた。

5. 心拍数 110/分 未満で負荷を終了した CAD 17 例において WOR 30% 未満を心筋虚血の診断基準として追加することで, 狹窄冠動脈診断の sensitivity は視覚判定の 74%, WOR の併用で 81% と有意な増加を示さなかったが, specificity は視覚判定の 100% から WOR 併用の 44% と有意 ( $p<0.05$ ) に低下した。

6. TI 静注時心拍数 110/分以上の CAD 142 例中 6 例では, 1 枝または 2 枝病変であるにもかかわらず, 正常冠動脈支配領域にも WOR の低下 (<30%) を生じた。この群で L/M は 0.45 以上を示し, 3 枝全域に灌流異常をきたした 3 枝病変や, 1 枝, 2 枝領域に負荷で虚血を呈した群より L/M は有意に高く, 負荷量が十分であっても L/M が 0.45 以上の時, WOR を心筋虚血の診断基準として使用する際は注意を要すると考えられた。

7. CAD において TI 静注時の心拍数が 110/分を超えており, かつ L/M 0.45 以下の症例にのみ WOR の低下 (<30%) を心筋虚血の診断基準として視覚判定に加え, この条件をみたさぬ症例では視覚判定のみを行うことで, specificity を損うことなく狭窄冠動脈診断の sensitivity を向上せしめた (71→79%)。

8. 以上より, 心筋虚血の診断基準として WOR を使用する際には, TI 静注時心拍数, L/M の考慮が必要である。

## 文 献

- 1) Massie BM, Botvinick EH, Brundage BH: Correlation of thallium-201 scintigrams with coronary anatomy. Factors affecting region by region sensitivity. Am J Cardiol **44**: 616-622, 1979
- 2) Rigo P, Bailey IK, Griffith LSC, et al: Value and limitations of segmental analysis of stress thallium myocardial imaging for localization of coronary artery disease. Circulation **61**: 973-981, 1980
- 3) Narita M, Kurihara T, Usami M, et al: Quantitation of thallium-201 myocardial washout by serial rest myocardial imaging. 核医学 **18**: 899-906, 1981
- 4) Grunwald AM, Watson DD, Holzgreen Jr HH, et al: Myocardial thallium-kinetics in normal and ischemic myocardium. Circulation **64**: 610-618, 1981
- 5) Pohost GM, Alpert NM, Ingwall JS, et al: Thallium redistribution: mechanisms and clinical utility. Seminars in Nuclear Medicine **10**: 70-93, 1980
- 6) 成田充啓, 栗原正, 村野謙一, 他: 運動負荷  $^{201}\text{TI}$  心筋 single photon emission CT の定量解析: Bull's-eye 法の虚血性心疾患評価における有用性. 核医学 **24**: 55-64, 1987
- 7) Garcia EV, Train KV, Maddahi J, et al: Quantitation of rotational thallium-201 myocardial tomography. J Nucl Med **26**: 17-26, 1985
- 8) Kaul S, Chesler DA, Pohost GM, et al: Influence of peak exercise heart rate on normal thallium-201 myocardial clearance. J Nucl Med **27**: 26-30, 1986
- 9) Narita M, Usami M, Kurihara T: Exercise stress myocardial scintigraphy with thallium-201. Jpn Cir J **43**: 191-204, 1974
- 10) 成田充啓, 栗原正, 村野謙一: 運動負荷  $^{201}\text{TI}$  心筋 SPECT における Bull's-eye 法の有用性. 画像診断 **19**: 943-948, 1987
- 11) 成田充啓, 宇佐美暢久: 狹心症の心筋シンチグラム. Medical Companion **7**: 451-455, 1987
- 12) Kushner FG, Okada RD, Kirshenbaum HD, et al: Lung thallium-201 uptake after stress testing in patients with coronary artery disease. Circulation **63**: 341-347, 1981
- 13) Boucher CA, Zir LM, Beller GA, et al: Increased lung uptake of thallium-201 during exercise myocardial imaging: clinical, hemodynamic and angiographic implications in patients with coronary artery disease. Am J Cardiol **46**: 189-196, 1980
- 14) Brown KA, Boucher CA, Okada RD, et al: Quantitation of pulmonary thallium-201 activity after upright exercise in normal persons: importance of peak heart rate and propranolol usage in defining normal values. Am J Cardiol **53**: 1678-1682, 1984
- 15) Wilson JR: Exercise and failing heart in Cardiology Clinics. (Exercise and the heart) Hanson P ed, WB Saunders, Philadelphia, 1987, pp. 171-182

## Summary

### **Factors Affecting Myocardial Thallium-201 Washout Rate after Exercise Stress and their Significance for the Detection of Coronary Artery Disease**

Michihiro NARITA\*, Tadashi KURIHARA\*, Kenichi MURANO\*, Masahisa USAMI\*,  
Minoru HONDA\*\*, Masahiro TOMONOBU\*\* and Keisuke KANAO\*\*

\*Department of Internal Medicine, Sumitomo Hospital

\*\*Division of Nuclear Medicine, Sumitomo Hospital

Quantitative analysis of exercise stress (Ex) and redistribution Tl-201 myocardial tomography is useful for the detection of coronary artery disease (CAD). We studied the factors which influence myocardial Tl washout rate (WOR) after Ex and their significance for the detection of CAD. Myocardial tomograms were obtained both at immediately after Ex and 3 hours later by using a rotating gamma camera in 20 normal subjects and 159 patients with CAD. After low-pass filtering, images were reconstructed into short-axis, horizontal long-axis and vertical long-axis tomograms and they were used for visual interpretation. By using short-axis tomograms, WOR's of the entire left ventricle were expressed as 2-dimensional polar map (Bull's-eye map).

In normal subjects, WOR's were influenced by the strength of Ex (heart rate, HR) ( $r=0.71$ ,  $p<0.01$ ) and lung to myocardial Tl uptake ratio at Ex (L/M) ( $r=-0.57$ ,  $p<0.01$ ), but difference of myocardial segments and sex did not influence to WOR's. Normal lowest limits of WOR were estab-

lished as 30% from the data of normal subjects. When we added abnormal WOR ( $<30\%$ ) as a criteria of myocardial ischemia to the visual interpretation in patients with CAD with inadequate Ex ( $HR<110$  bpm,  $n=17$ ), the specificity for the detection of coronary artery (CA) stenosis decreased significantly (from 100% to 44%,  $p<0.05$ ) without improving sensitivity. In 142 patients with CAD with adequate Ex ( $HR \geq 110$  bpm), 6 patients showed abnormal WOR's in myocardial segments which were supplied by normal CA and they all showed abnormally high L/M ( $\geq 0.45$ ). When we apply abnormal WOR to detect myocardial ischemia, we should take account of HR at Tl injection and L/M, and the consideration of these 2 factors improved the sensitivity to detect CA stenosis from 71% (visual interpretation) to 79% ( $p<0.01$ ) without missing specificity.

**Key words:** Exercise stress myocardial SPECT, Washout rate, Exercise heart rate, Lung to myocardial Tl-201 uptake ratio.