

携帯型左心機能連続監視装置による心筋虚血の推移：機械的・電気的变化出現時期の検討

Sequence of mechanical and electrical changes during myocardial ischemia: Assessment by an ambulatory left ventricular function monitor

今井 嘉門  
弓倉 整  
安藤 達夫  
斎藤 穎  
小沢友紀雄  
波多野道信  
鎌田力三郎\*

Kamon IMAI  
Sei YUMIKURA  
Tatsuo ANDO  
Satoshi SAITO  
Yukio OZAWA  
Mitinobu HATANO  
Rikisaburo KAMATA\*

Summary

To investigate the relationship between left ventricular function and electrical changes during myocardial ischemia, ambulatory left ventricular function monitoring and ECG recording were made during the ergometer exercise test in 14 patients with coronary artery disease. An ambulatory ventricular function monitor consists of a small cadmium telluride (CdTe) radionuclide probe (250 g) affixed to the patient's chest wall, a preamplifier (10 g), and a portable data acquisition unit (600 g). Left ventricular time-activity curves were recorded continuously using this monitor, and the end-systolic count (volume), end-diastolic count (volume) and ejection fraction were calculated after background subtraction.

Twenty-eight exercise tests were performed in the supine and upright positions. In 15 tests, left ventricular dysfunction, i.e., an increase in the end-systolic count ( $\geq 10\%$ ) and a decrease in ejection fraction ( $\geq 5\%$ ), and ST depression ( $\geq 0.1$  mV) were observed. In these 15 tests, exercise duration was  $362 \pm 27$  sec. Left ventricular dysfunction occurred earlier than ST depression and the time difference was  $97 \pm 19$  sec. Left ventricular function recovered  $33 \pm 8.5$  sec after discontinuation of exercise, while ST depression continued for the additional  $85 \pm 18.5$  sec after recovery of left ventricular function.

In conclusion, 1) left ventricular dysfunction occurs earlier than electrical changes during exercise-induced ischemia; 2) left ventricular dysfunction improves earlier than electrical changes after exercise; and 3) the same temporal sequence exists in the restoration from myocardial ischemia.

日本大学医学部 第二内科

\*同 放射線科

東京都板橋区大谷口上町 30-1 (〒173)

The Second Department of Internal Medicine and

\*Department of Radiology, Nihon University School of Medicine, Oyaguchi 30-1, Itabashi-ku, Tokyo 173

Received for publication December 23, 1987; accepted February 8, 1988 (Ref. No. 35-123B)

**Key words**

Myocardial ischemia

Left ventricular function

RI-angiography

目 的

労作性狭心症患者に運動負荷を行うと、心筋酸素需要と供給との不均衡のため、心筋虚血が生ずる。心筋虚血部位では血流分布の異常、生化学的、電氣的、あるいは機械的变化などが生ずるが、一般臨床の場では、これらの変化を  $^{201}\text{Tl}$ -心筋シンチグラフィ、心電図、心エコー図または RI-アンジオグラフィなどの検査方法によって診断している。これら検査方法のうち、虚血による変化を経時的に観察できるのは心電図のみで、従来他の方法では困難であった。

しかし、実験動物で冠動脈を急性閉塞したり、ヒトで経皮経管的冠動脈形成術 (percutaneous transluminal coronary angioplasty : PTCA) 施行のためバルーンを拡大し、冠血流を完全に遮断した時に生じる機械的变化や心電図変化、あるいは自覚症状出現の推移に関する検討では、まず機械的变化が出現し、次に心電図変化が、そして最後に自覚症状が出現することが明かになった<sup>1-5)</sup>。

労作性狭心症においても、上記の如き一連の現象が冠動脈急性閉塞の場合と同様な推移で生じるか否かは興味ある問題である。このためには1心拍ごとの左心機能を観察する必要があるが、最近それに適した携帯型左心機能連続監視装置が開発された<sup>6-10A)</sup>。本研究ではこの装置を用い、心筋虚血が生ずる時の迅速な電氣的および機械的变化を測定し、労作性狭心症においても機械的变化が心電図変化より早期に出現するか否か、もしそうとすれば、どの程度早期に出現するかを検討した。さらに心筋虚血が改善する際の経過におけるそれらの変化の推移についても検討した。

症例と方法

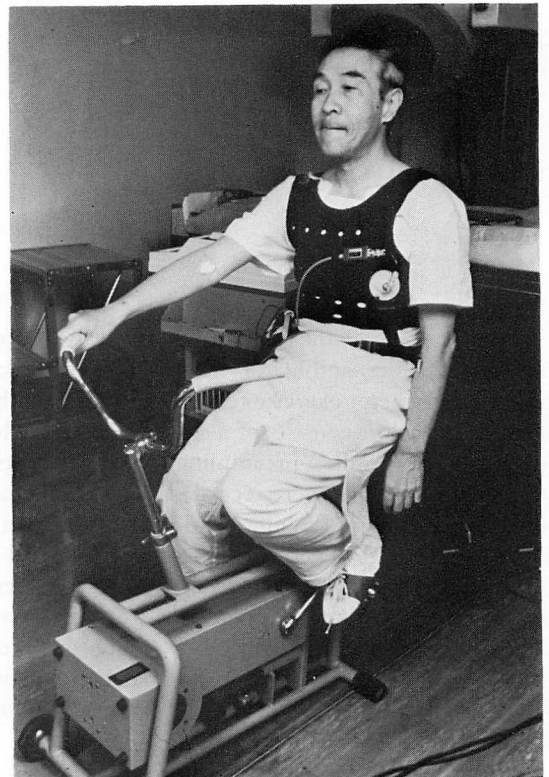
対 象

冠動脈造影で 75% 以上の狭窄が確認され、心

筋梗塞症既往のない労作性狭心症患者 14 例(男性 9 例, 女性 5 例, 平均年齢 62 歳) が対象である。これらの冠動脈病変の内訳は、一枝病変 5 例, 多枝病変 9 例であった。

左心機能測定装置

左心機能の推移は新しく開発されたガンマカメラのように画像を得ることができないが、小型軽量かつ高感度の cadmium telluride (CdTe) 検



**Fig. 1. Ambulatory left ventricular function monitor.**

An ambulatory left ventricular function monitor consists of a small cadmium telluride (CdTe) detector, a preamplifier and a portable data acquisition unit. Total weight of the ambulatory left ventricular function monitor is 860 gram. The maximal acquisition duration is about 6 hours.

出器を用い、移動可能な携帯型左心機能連続監視装置 (アロカ RRG-607) (Fig. 1) で測定した. 15~20 mCi  $^{99m}\text{Tc}$  で赤血球を生体内標識し、胸壁にアイソトープ非吸収性のカーボンローデにより標準 12 誘導心電図を記録できるよう準備した後、下着および特製のチョッキを装着した. この特製チョッキの上に CdTe 検出器 (重量 250 g) を左室領域に照準を定めてマジックバンドで固定し、検出器の位置が至適であるか否かを、ガンマカメラを用いて左前斜位で確認した (Fig. 2). CdTe 検出器からのデータは 50 msec ごとにプリアンプ (重量 10 g) 内で A-D 変換され、携帯型データ収集装置 (重量 600 g) および RS-232C ケーブルを介し、パーソナルコンピューター (日本電気 PC-9801) に入力、さらにデータはフロッピーディスクに保存した. このデータについて 80% のバックグラウンド除去を行い、1 心拍ごとの“時間・容積曲線”に相当する“時間・カウント曲線”を求めた. この“曲線”より 1 心拍ごと

の収縮末期カウント (end-systolic count : ESC), 拡張末期カウント (end-diastolic count : EDC), および駆出率 (ejection fraction : EF) を計測し、さらに各指標について 15 秒間の平均値を求めた (Fig. 3).

#### 心電図記録

標準 12 誘導心電図を 30 秒ごとにコンピューター内臓心電計 (フクダ電子 Cardimax FK-66) で記録した. その他、コンピューターにより II, III,  $aV_F$ ,  $V_1$  および  $V_5$  誘導の ST 低下と ST 部分の傾きを分析し、検査終了時におのおのの経時的推移を記録用紙に表示した.

#### 運動負荷方法および記録時間

臥位エルゴメーター負荷を 25 W 3 分間より開始し、3 分ごとに 25 W ずつ増加した. 運動終了点は 100 W 3 分間終了、または胸痛出現、ST 低下 0.2 mV などとした. これら一連の左心機能および心電図記録は運動負荷開始 2 分前から始め、運動負荷終了 10 分後まで行った. 臥位運動中止

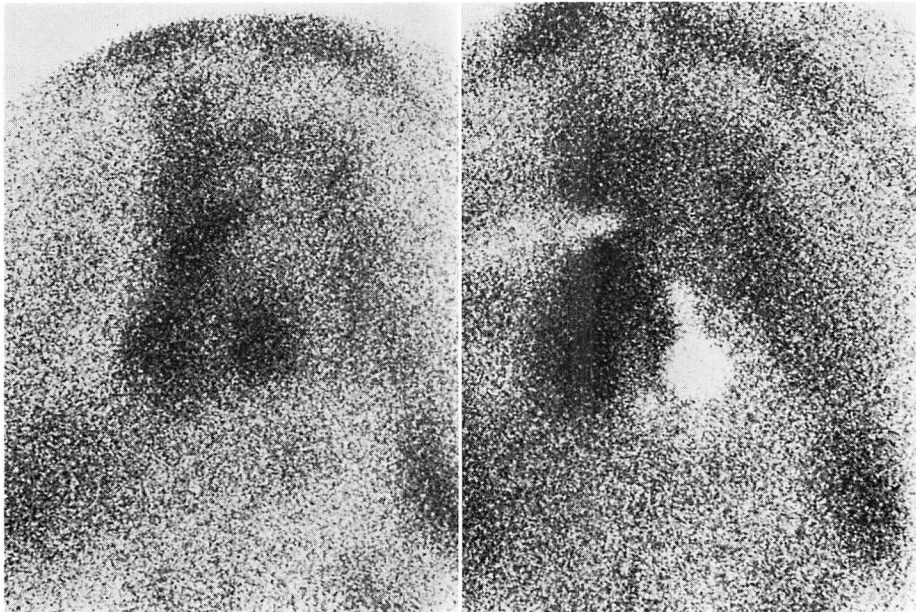


Fig. 2. Pool imagings before (left) and after (right) placement of the CdTe detector.

The CdTe detector silhouette overlaps the left ventricular blood pool image throughout the study.

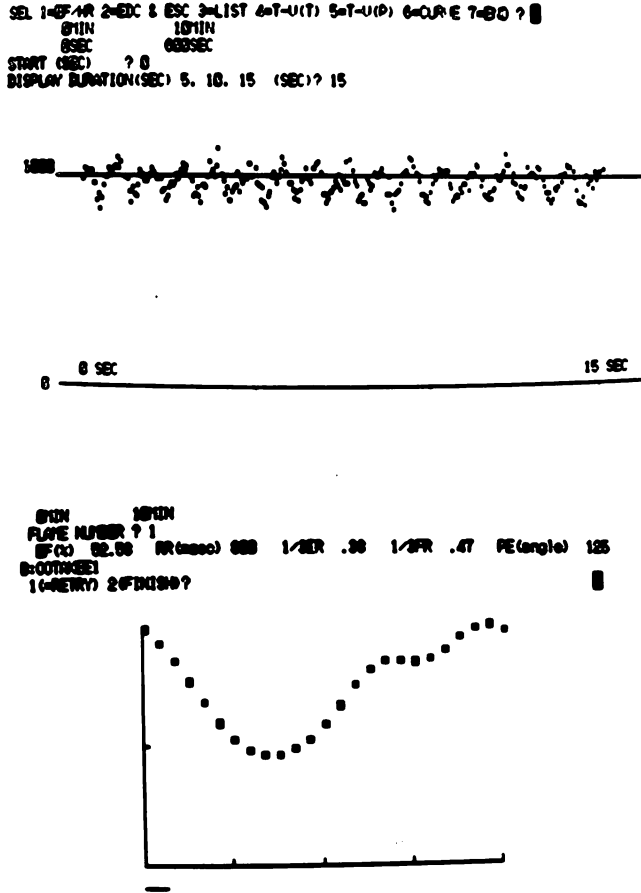


Fig. 3. Beat-to-beat left ventricular time activity curve (top) and a 15 second averaged left ventricular volume curve (bottom).

A 15 sec averaged left ventricular volume curve shows ejection, rapid filling, slow filling and atrial kick.

30 分後, 再度座位エルゴメーター運動負荷を同様に施行した.

心筋虚血の判定基準

運動負荷による心筋虚血の判定は, 心電図変化では ST 水平低下 0.1 mV 以上とし, 機械的变化では収縮末期カウント 10% 以上増加, かつ駆出率 5% 以上低下<sup>11)</sup>の場合とした. なお心電図の判定は 3 名の医師の判定と, コンピューター分析の結果に基づいた.

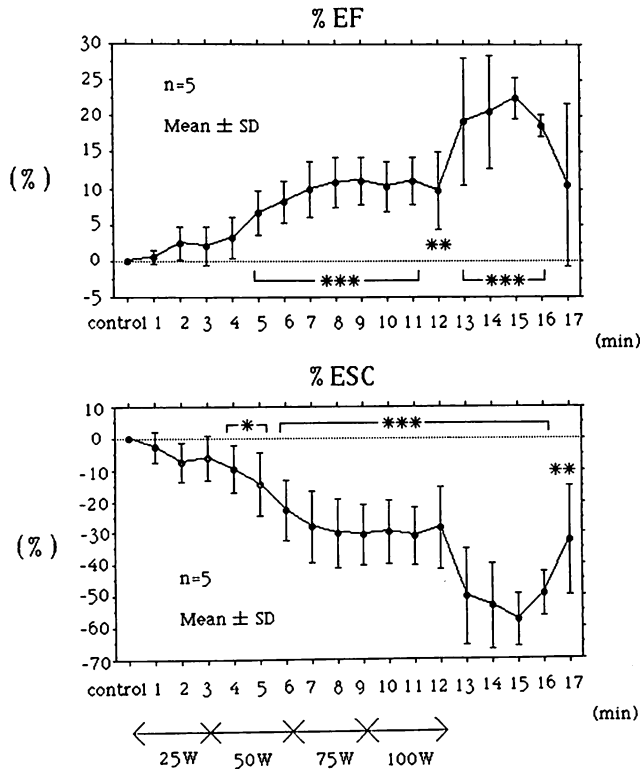
検討項目

エルゴメーター運動負荷前後の心機能および心

電図記録より, A) 運動持続時間 (exercise duration), B) 機械的变化および心電図変化の出現時間 (appearance time) の差 ( $AT_{EF} - AT_{ECG}$ ), C) 運動中止後, 機械的变化持続時間 (disappearance time:  $DT_{EF}$ ), D) 機械的变化の改善後, 残存する心電図変化の持続時間 ( $DT_{ECG} - DT_{EF}$ ) などに関して検討した.

予備研究

健常者の運動負荷時心機能の推移を測定する目的のため, 心電図および胸部 X 線撮影で異常のない男性 5 名 (平均年齢 31 歳) で臥位エルゴメー



**Fig. 4. Changes in left ventricular ejection fraction (upper) and end-systolic count (lower) by ergometer exercise in five normal subjects.**

During exercise, end-systolic count decreases and ejection fraction increases gradually. At the end of exercise, end-systolic count decreases by  $27.7 \pm 12.4$  (mean  $\pm$  SD)% and ejection fraction increases by  $9.6 \pm 4.5$ %, respectively. After discontinuation of exercise, the overshoot phenomenon appears and continues for 5 min.

ター負荷を行い、携帯型左心機能連続監視装置を用いて、心機能の時間的変化を記録検討した。

**結 果**

**1. 健常者の心機能推移**

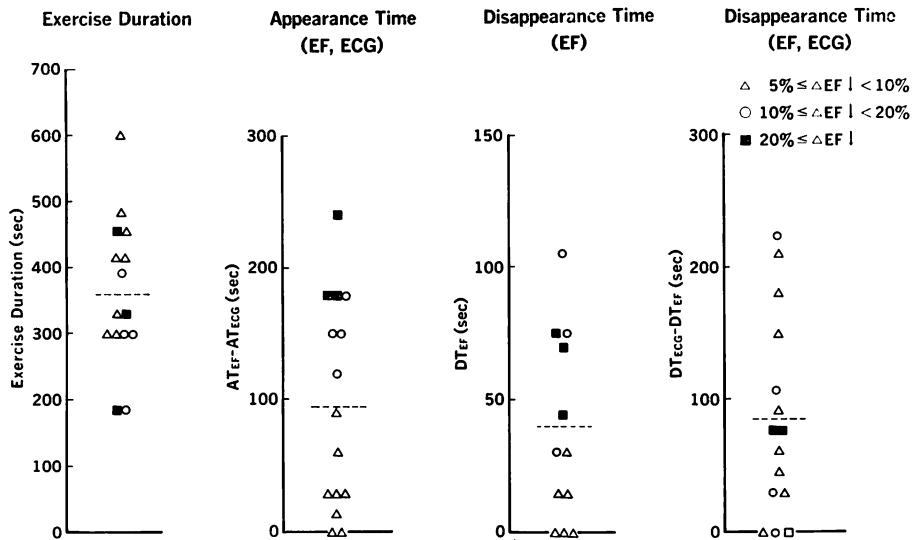
臥位エルゴメーター運動負荷 100 W 運動終了時では、収縮末期カウントは  $27.7 \pm 12.4$ % (mean  $\pm$  SD) 減少し ( $p < 0.01$ ), 拡張末期カウントは  $6.2 \pm 2.5$ % 減少した. この容積の変化のため,  $\Delta EF$  は  $9.6 \pm 4.5$ % 増大した ( $p < 0.02$ ). 運動負荷中止 3 分後, 収縮末期カウントは運動終了時よりさらに低下し  $57.5 \pm 9.7$ % の減少を ( $p < 0.01$ ),

拡張末期カウントはほとんど不変で  $7.2 \pm 3.0$ % の減少を,  $\Delta EF$  は一過性にさらに高値 ( $23 \pm 3.8$ % 増加) を示し ( $p < 0.01$ ), 約 5 分間, いわゆるオーバーシュート現象を示した (Fig. 4).

**2. 冠動脈疾患患者の心機能推移**

狭心症患者に施行した総計 28 回の運動負荷検査のうち, 15 回は心筋虚血の電気的および機械的診断基準を満たし, その時間的推移を比較した結果は以下の如くであった.

1. 心筋虚血時の時間的推移 (Fig. 5): 心筋虚血変化を認めた 15 例のエルゴメーター運動時間は平均  $362 \pm 27$  (mean  $\pm$  SE) 秒であった. 運動に



**Fig. 5. Exercise duration, time lag between the appearance of left ventricular dysfunction and the ECG change, recovery time of left ventricular dysfunction after discontinuation of exercise and time lag between the recovery of dysfunction and the ECG change in patients with coronary artery disease.**

Exercise duration is  $362 \pm 27$  (mean  $\pm$  SE) sec, time lag between appearance of dysfunction and ECG change ( $AT_{EF} - AT_{ECG}$ ) is  $97 \pm 19$  sec, recovery time of dysfunction ( $DT_{EF}$ ) is  $33 \pm 8.5$  sec and time between disappearance of dysfunction and ECG change ( $DT_{ECG} - DT_{EF}$ ) is  $85 \pm 18.5$  sec, respectively. Left ventricular dysfunction occurs earlier than ECG change.

より EF 低下などの機械的変化が出現してから、電気的変化出現までの間隔は  $97 \pm 19$  秒であった。運動中止後、虚血による機械的変化は  $33.66 \pm 8.5$  秒間持続し、同じく心電図変化はさらに  $85 \pm 18.5$  秒間持続した。すなわち虚血が生じる際、機械的変化が心電図変化に先行し、虚血が改善する際も同様に、機械的変化が先行した。

2. 運動負荷時の心筋虚血程度による検討：運動負荷時の左心機能障害の程度により、EF 低下  $\geq 10\%$  の心機能障害重度群 (7 例) と、EF 低下  $5\%$  以上、 $10\%$  未満の心機能障害軽度群 (8 例) の 2 群に分類し、時間的推移をみた。

各々の運動時間は 重度群  $304 \pm 92$  (mean  $\pm$  SE) 秒、軽度群  $412 \pm 95$  秒であり、前者は後者よりも明かに短時間であった ( $p < 0.05$ )。虚血による機械的変化が出現してから心電図変化が出現するまでの

時間は、重度群  $152 \pm 65$  秒、軽度群  $48 \pm 47$  秒で、前者は後者よりも長時間であった ( $p < 0.01$ )。

心筋虚血の回復過程で、運動中止後、機械的変化が消失するまでの時間は重度群  $63 \pm 23$  秒、軽度群  $10 \pm 11$  秒で、前者での機械的変化は長時間持続した ( $p < 0.01$ )。さらに機械的変化が軽快した後、心電図変化が持続している時間はそれぞれ  $72 \pm 72$  秒、 $95 \pm 71$  秒で、両群間に有意差を認めなかった (Table 1)。

運動負荷時、心機能低下が著明な重度群では運動時間は短く、運動中止した後も長時間機械的変化が持続し、さらに機械的変化が出現してから心電図変化が出現するまでの間隔も、軽度群よりは有意に長時間であった。

3. 症例提示 (Fig. 6)：心電図および心機能の基準で心筋虚血を認めた 1 症例を提示する。患者

**Table 1. Temporal sequence of left ventricular dysfunction and the ECG change during exercise-induced ischemia at different levels of left ventricular dysfunction**

	5% ≤ EF ↓ < 10% (n=8)	EF ↓ ≥ 10% (n=7)	
Exercise duration	412 ± 95	304 ± 92	p < 0.05
AT <sub>EF</sub> - AT <sub>ECG</sub>	48 ± 47	152 ± 65	p < 0.01
DT <sub>EF</sub>	10 ± 11	63 ± 23	p < 0.01
DT <sub>ECG</sub> - DT <sub>EF</sub>	95 ± 71	72 ± 72	NS

Exercise duration in the severe dysfunction group is shorter than that in the mild dysfunction group. After ceasing exercise, disappearance time of dysfunction (DT<sub>EF</sub>) in the severe group is longer than that in the mild group. The time difference between disappearance of dysfunction and the ECG change (DT<sub>ECG</sub> - DT<sub>EF</sub>) is not significant between the two groups.

は60歳男性で、冠動脈造影所見では三枝に病変を認めた。運動開始後1分で収縮末期カウントの10%以上の増加、および5%以上の駆出率の減少を示し、心筋虚血による機械的变化を認めた。さらに運動を継続すると、この収縮末期カウント数はさらに増加し、駆出率は15%減少した。他方、心電図変化では、4分後、初めて有意なST低下が出現し、機械的变化と心電図変化に約3分間の時間差を認めた。また運動を中止した90秒後には機械的变化は改善したが、心電図変化は残存し、2分間も持続した。心筋虚血の改善する過程においても、機械的变化は心電図変化より先行していた。

## 考 按

有意な冠動脈狭窄が存在する狭心症患者に運動負荷を行った際、心筋酸素需要と供給の不均衡から心筋虚血が生じる。このため機械的、電氣的、生化学的变化が生ずるが、従来ヒトでは、それらの経時的推移は心電図を除くと、他の一般臨床検査方法では検出困難で、余儀なく断続的にその変化を調べるにとどまっていた。

一方、実験的には、急性あるいは慢性冠動脈閉塞を作製し、血行動態測定あるいはsonomicrometer (segment length gauge) で機械的变化を調べた報告<sup>1-3)</sup>があり、またPTCA施行時、バルーンを膨張させて、冠動脈狭窄部位を急性閉塞した際の左室壁運動異常を心エコー図で計測し、同時に記録した心電図と対比した報告<sup>4,5)</sup>もある。これら何れの報告でも、機械的变化が心電図変化より先行している。

またRIアンジオグラフィーを用い、狭心症患者の運動負荷時の左心機能を胸痛出現前と出現時、あるいは心電図STが0.2mV以上低下した時の2回にわたって記録した結果では、機械的变化が自覚症状より早期に出現することが明かにされている<sup>12)</sup>。

また心エコー図を用いた研究では、運動負荷中の連続記録で、壁運動異常の有無と心電図変化との対比検討がある。その中にはMモード法を用いる報告<sup>13)</sup>やBモード記録によるもの<sup>14,15)</sup>もあるが、Sugishitaらによると、壁運動障害は運動開始30±15秒後から、心電図変化は90±16秒後から出現し、収縮異常は心電図で認めるST-T変化よりも早期の指標であるという<sup>13)</sup>。椎名らも同様の結果<sup>14)</sup>を示しているが、運動負荷時の心エコー図記録は一般には成功率が低く、その定量分析も困難である。さらに左室の機械的变化を評価する際、Bモードでは1断面の、Mモードでは1ビーム方向の変化しか検出できない。

虚血による左室の機械的变化を、左室容積の変化として連続的に観察することができれば理想的である。今回新しく開発された高感度のCdTe検出器を用いた携帯型左心機能連続監視装置であれば、心電図と機械的变化を連続して記録し、心筋虚血が生じる際、何れがどの程度早期に出現するか、また虚血が軽快する際に、何れが早く消退するかを検討することが可能である。

使用した携帯型左心機能監視装置“RRG-607”は、玉木およびStrauss<sup>9)</sup>が報告しているVESTと基本的には同一である。VESTはNaI

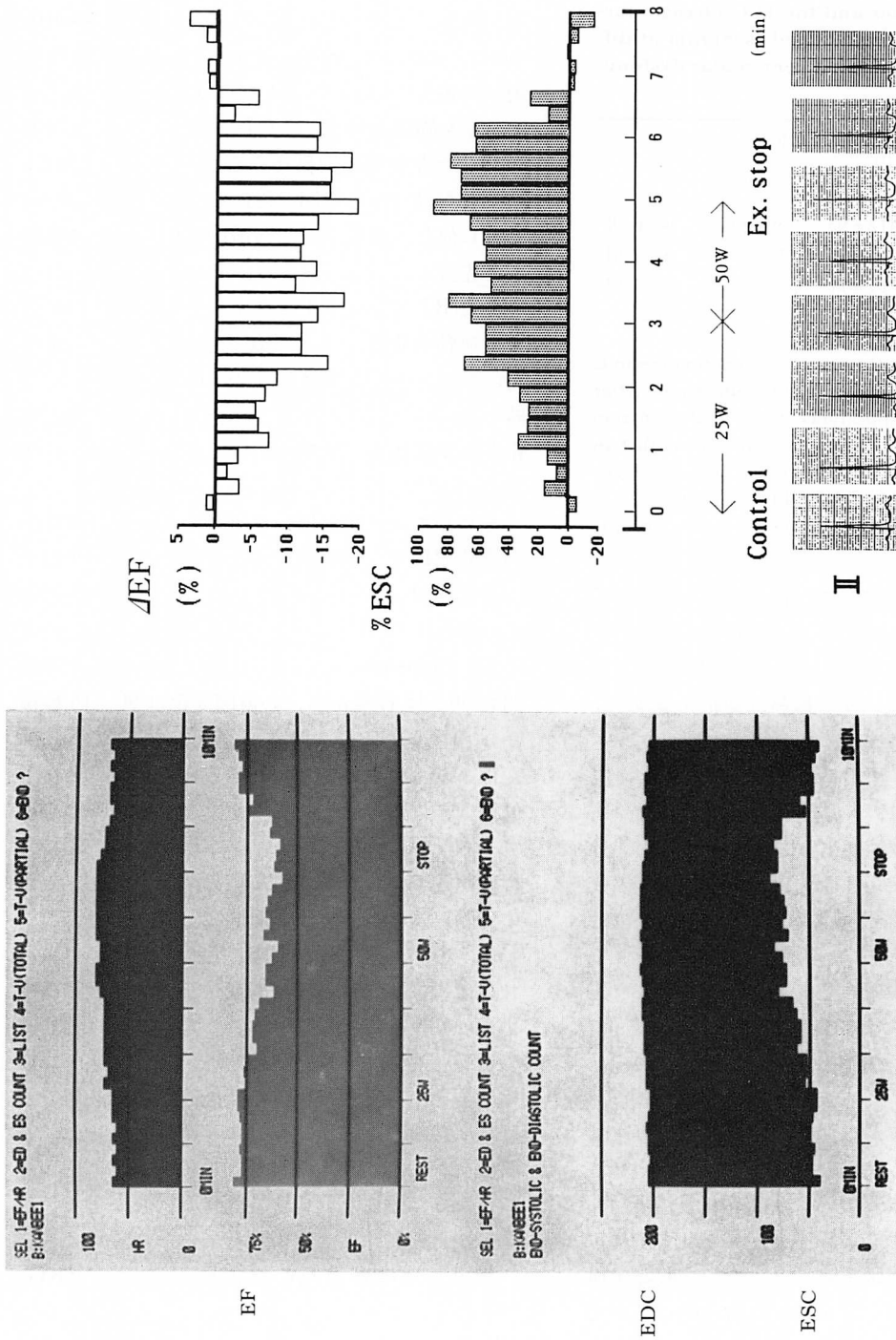


Fig. 6. Changes in heart rate, left ventricular function and ECG during exercise in a 60-year-old man with multivessel coronary disease.

The left side figure shows heart rate (upper), left ventricular ejection fraction (EF) (middle), end-systolic (ESC) and end-diastolic counts (EDC) (bottom). The right side figure shows ejection fraction and end-systolic count. ECG recording is shown in the right bottom.

During exercise, left ventricular dysfunction occurs at 1 min and ST depression at 4 min. After ceasing exercise, left ventricular dysfunction improves within 90 sec, ECG change lasts more than 2 min. Left ventricular dysfunction occurs earlier than the ECG change in the development of myocardial ischemia. The same temporal sequence is observed during the restoration from myocardial ischemia.



よりなる RI 検出器の付いたジャケット、バッテリー、電圧器およびホルター型カセットレコーダーよりなる携帯型 RI 心機能モニターである。本報告の機器と相違する点を列挙するならば、RRG-607 の検出器は CdTe で、検出器を装置するのに柔軟性のあるチョッキを使用しているので、検出器を体表面に近接あるいは密着でき、記録部分がフロピィである。他方、VEST は NaI 検出器を用い、検出器は硬い鎧のようなジャケットに付着しており、記録はテープレコーダーのカセットテープである。

CdTe および NaI 検出器は、ガンマカメラと異なり、ともに画像を作成できない RI 検出器である。しかしこれら両検出器は高感度で、極めて短時間、例えば 50 msec の収集でも 800~1200 カウントという統計変動の少ないデータを得ることができる特性を持っている。

冠動脈疾患患者に運動負荷を施行した時、機械的变化が心電図変化より早期に出現し、運動中止後、心筋虚血による機械的变化は短時間で改善するにもかかわらず、心電図変化は比較的長く持続していることが明らかになった。

心電図変化に先行して機械的变化が出現するが、この間隔は我々の運動負荷方法では  $79 \pm 19$  秒で、PTCA を用いた赤坂らの報告<sup>5)</sup>では約 10 秒 (バルーンを拡大して運動異常が出現するまで  $20 \pm 7$  秒、ST 上昇が出現するまで  $31 \pm 11$  秒) であった。これらの数値が本報告での値と大きく相違する理由は、心筋虚血を起こす原因の相違によると推察される。すなわち PTCA では冠動脈の急性閉塞による心筋酸素供給の低下が原因であり、運動負荷では心筋酸素需要増加であるので、虚血の進行は前者では急速、後者では緩徐であり、虚血の進行に差異があるものと考えられる。

機械的变化に対し、常に電氣的变化が遅れる原因は明かではないが、次のような機序が推察される。心電図変化は K および pH の変化を反映しているので、細胞間の緩衝作用により変化が遅延し、さらに心筋虚血が改善しても、これら変化の

原因である K の流出と pH の改善するまでの時間を必要とするためと推察される。今後 K 電極などを用い、実験動物で確認する必要がある。

運動負荷時生じる心機能障害の程度により、重度群 (EF 低下  $\geq 10\%$ ) と軽度群 (EF 低下 5% 以上で 10% 未満) とで比較検討したところ、前者での運動時間は短く、運動中止後も長時間機械的变化が持続した。これらは合理的な結果であるが、重度群では機械的变化出現から心電図変化出現までの時間が、軽度群より有意に長かった。機械的障害が大きい重度群では、機械的变化出現時間と心電図変化出現時間が近接するものと推定したが、得られた結果は相違していた。仮に重度群と軽度群とで、機械的变化が出現してから心電図変化出現する時間が同一であれば、機械的障害範囲の大小が直接心機能に反映しているとも考えられるが、推察と相反する所見に対しては、今後さらに検討を加える必要がある。

## 結 語

労作性狭心症患者 14 例に臥位エルゴメーター運動負荷を行い、最近開発された CdTe 検出器を用いた左心機能連続監視装置を用いて、左心機能と心電図を記録した。さらに 30 分後、座位エルゴメーター運動負荷を同様にを行った。

総計 28 回の運動負荷検査のうち、15 回の運動負荷で、心筋虚血の機械的および電氣的診断基準を満たした。これら 15 回の両変化の時間的推移を検討した。

エルゴメーター運動時間は平均  $362 \pm 27$  (mean  $\pm$  SE) 秒であった。機械的变化が出現してから、次に心電図変化が出現までの間隔は  $97 \pm 19$  秒であった。運動中止後、虚血による機械的变化は  $33.66 \pm 8.5$  秒間持続し、同じく心電図変化は、機械的变化が消失した後、さらに  $85 \pm 18.5$  秒間も持続した。

運動負荷で心筋虚血が生じる時や、改善する時にも、機械的变化は心電図変化より先に出現することが明らかになり、両者間に時間的な差 (time

lag) の存在することが明かになった。

## 要 約

心筋虚血時の左心機能変化と心電図変化との関連についてヒトで調べるため、14例の冠動脈疾患患者にエルゴメーター運動負荷を行い、これらの変化を携帯型左心機能連続監視装置および心電図で記録、検討した。

携帯型左心機能連続監視装置は患者の胸壁に装着する小さい cadmium telluride (CdTe) のアイソトープ検出器 (重量 250 グラム), プリアンプ (重量 10 グラム), および携帯可能なデータ収集装置 (重量 600 グラム) で構成されている。

この装置で連続的に左室の時間・カウント曲線を記録し、バックグラウンド除去した後に拡張末期カウント・収縮末期カウント, および左室駆出率を求めた。

臥位および座位運動負荷検査 28 回のうち、15 回の運動負荷検査で、左室機能障害 (収縮末期カウントの 10% 以上増加および心駆出率低下 5% 以上) と心電図変化 (ST 部分低下 0.1 mV 以上) とを認めた。

両変化を認めた 15 回の運動負荷時間は 362 ± 27 秒であった。左室機能障害は ST 低下より早期に起き、左室機能障害出現時間と ST 低下出現との時間の差は 97 ± 19 秒であった。運動負荷を中止すると、左室機能障害は 33 ± 8.5 秒後に回復した。ST 低下は左室機能障害が軽快した後、85 ± 18.5 秒も持続した。

以上から、運動負荷によって心筋虚血が生ずる際、左室機能障害は心電図変化より早期に出現し、心筋が虚血から回復する場合も、左室機能の障害が心電図変化より早期に改善することが明かになった。

## 文 献

1) Waters DD, Luz PD, Wyatt HL, Swan HJC, Forrester JS: Early changes in regional and global left ventricular function induced by graded reductions in regional coronary perfusion. *Am J Cardiol*

39: 537-543, 1977

- 2) Battler AB, Froelicher VF, Gallagher KP, Kemper WS, Ross J: Dissociation between regional myocardial dysfunction and ECG changes during ischemia in the conscious dog. *Circulation* 62: 735-744, 1980
- 3) Pandian NG, Kerber RE: Two-dimensional echocardiography in experimental coronary stenosis: I. Sensitivity and specificity in detecting transient myocardial dyskinesia: Comparison with sonomicrometers. *Circulation* 66: 597-602, 1982
- 4) Hauser AM, Gangadharan V, Ramos RG, Gordon S, Timmis G, Dudlets P: Sequence of mechanical, electrocardiographic and clinical effects of repeated coronary artery occlusion in human beings: Echocardiographic observations during coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 5: 193-197, 1985
- 5) Akasaka T, Yoshikawa J, Yoshida K, Kato H, Okumachi F, Koizumi K, Shiratori K, Takao S, Asaka T, Shakudo M, Shono H: Mechanical and electrocardiographic sequence of coronary artery occlusion: An echocardiographic study during coronary angioplasty. *J Cardiol* 16: 819-830, 1986 (in Japanese)
- 6) Wilson RA, Sullivan PJ, Moore RH, Zielonka JS, Alpert NM, Boucher CA, McKusick KA, Strauss HW: An ambulatory ventricular function monitor: Validation and preliminary clinical results. *Am J Cardiol* 52: 601-606, 1983
- 7) Tamaki N, Gill JB, Moore RH, Yasuda T, Boucher CA, Strauss HW: Cardiac response to daily activities and exercise in normal subjects assessed by an ambulatory ventricular function monitor. *Am J Cardiol* 59: 1164-1169, 1987
- 8) 村上 剛, 福田利雄, 梅田 享, 室 伊三雄, 宮窪 義和, 新田祐司, 松前光紀, 出井 満, 鈴木 豊, 田部井俊明: テルル化カドミウム検出器を用いた動態機能検査装置. *Radioisotopes* 35: 20-23, 1986
- 9) 玉木長良, Strauss HW: 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) による心機能評価——(第1報)基礎的検討——*核医学* 24: 289-296, 1987
- 10) 玉木長良, Strauss HW: 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) による心機能評価——(第2報)虚血性心疾患への応用——. *核医学* 24: 551-558, 1987
- 10A) Tamaki N, Strauss HW: Ambulatory ventricular function monitoring for serial assessments of cardiac function during exercise. *J Cardiol* 17: 875-885, 1987
- 11) Markham RV, Winniford MD, Firth BG, Nicod DP, Dehmer GJ, Lewis SE, Hillis LD: Symptomatic, electrocardiographic, metabolic, and he-

- modynamic alterations during pacing-induced myocardial ischemia. *Am J Cardiol* **51**: 1589-1594, 1983
- 12) Upton MT, Rerych SK, Newman G, Port S, Cobb FR, Jones RH: Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise before angina and ST-segment depression. *Circulation* **62**: 341-349, 1980
- 13) Sugishita Y, Koseki S, Matsuda M, Tamura T, Yamaguchi I, Ito I: Dissociation between regional myocardial dysfunction and ECG changes during myocardial ischemia induced by exercise in patients with angina pectoris. *Am Heart J* **106**: 1-8, 1983
- 14) 椎名 明, 高沢謙二, 鈴木 修, 土谷正雄, 柳沼椒夫, 細田瑳一: 虚血性心疾患における運動負荷——2D エコー法の臨床的意義. *最新医学* **39**: 2660-2663, 1983
- 15) Crawford MH, Amon KW, Vance WS: Exercise 2-dimensional electrocardiography. Quantitation of left ventricular performance in patients with severe angina pectoris. *Am J Cardiol* **51**: 1-6, 1983