

運動負荷心エコー図：第III  
報. 虚血時の心室中隔壁動  
態と心電図変化との関係

Exercise echocardiogra-  
phy: Relationship be-  
tween interventricular  
septal wall dynamics  
and electrocardiographic  
changes during ischemia

内藤 秀敏\*  
松崎 益徳  
高橋陽二郎  
松田 泰雄  
小川 宏  
佐々木 徹  
内田 孝子  
高橋 徹郎  
久萬田俊明  
楠川 禮造

Hidetoshi NAITO\*  
Masunori MATSUZAKI  
Yojiro TAKAHASHI  
Yasuo MATSUDA  
Hiroshi OGAWA  
Toru SASAKI  
Takako UCHIDA  
Tetsuro TAKAHASHI  
Toshiaki KUMADA  
Reizo KUSUKAWA

**Summary**

The relationship between interventricular septal (IVS) wall motion assessed by the echocardiogram and surface electrocardiogram was investigated in 11 patients (pts) with proximal left anterior descending coronary artery disease (LADd) during ergometer exercise. A specially devised transducer was used to obtain the echocardiograms.

During exercise, 6 pts had transient ST segment depression (Group 1), whereas 5 pts had transient ST segment elevation (Group 2).

During exercise-induced ischemia, the ST segment depression occurred prior to abnormal wall motion in Group 1, and lasted longer than the latter. On the other hand, the ST segment elevation was preceded by abnormal wall motion in Group 2, and returned to the control earlier than the latter.

In conclusion, exercise echocardiography is useful to assess the relationship between interventricular wall dynamics and electrocardiographic changes during ischemia.

**Key words**

Exercise echocardiography

ST segment change

Wall dynamics

Ischemia

山口大学医学部 第二内科  
宇部市西区小串 1144 (〒755)  
\*現所属 国立浜田病院 内科

The Second Department of Internal Medicine,  
Yamaguchi University School of Medicine, Kogushi  
1144, Nishiku, Ube 755

Presented at the 22nd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, March 25-26, 1981  
Received for publication August 24, 1981

### はじめに

心筋虚血発症時の電氣的現象と壁動態との対比についての実験的報告は数多く見られる<sup>1,2)</sup>. しかし臨床においては方法論的困難さによりその報告はほとんどみられない. 我々は心筋虚血の発症を臨床的により早期に知る目的で, ergometer 負荷心エコー法を用い労作性狭心症例の体表面心電図と心エコー図法による心室壁運動を対比検討した.

### 対象と方法

対象は心筋梗塞の既往のない典型的な労作性狭心症例で, 冠動脈造影は全例で実施した. 対象は左冠動脈前下行枝の中隔枝より近位部側にのみ75%以上の器質的狭窄を有するか, あるいは冠動脈造影前に行った早朝時の運動負荷にてSTの上昇をみた例では, ergometer 負荷あるいはergonovine malate 投与で造影時に左冠動脈前下

行枝の近位部側に有意な spasm の関与を認めるか, そのいずれかである. また ergometer 負荷で胸痛を生じ, 心電図胸部誘導にてST segment の変化を見, 全経過を通じて良好な心室中隔のエコー図を記録できた例で, 全11例である. このうち運動負荷でST低下を来したのは6例(Group 1) (男5例, 女1例, 平均年齢 $53 \pm 7$ 歳), ST上昇を来したのは5例(Group 2) (全例男子, 平均年齢 $51 \pm 4$ 歳)であった.

Ergometer 負荷は仰臥位または左半側臥位にて行い, 50 W より開始し, 3~4分ごとに25 W ずつ増量する漸増法を用いた. 負荷は典型的狭心痛が誘発されるまで行った. また検査の一週間前より胸痛時のnitroglycerin 投与以外すべての薬剤は中止して行った.

心エコー図装置はAloka製SSD 110Sを用い, 探触子は特別に工夫した胸壁固定型<sup>3)</sup>を使用し, strip chart recorder に紙送り速度50 mm/sec で心電図, 心音図と同時に記録した. 心エコー図記

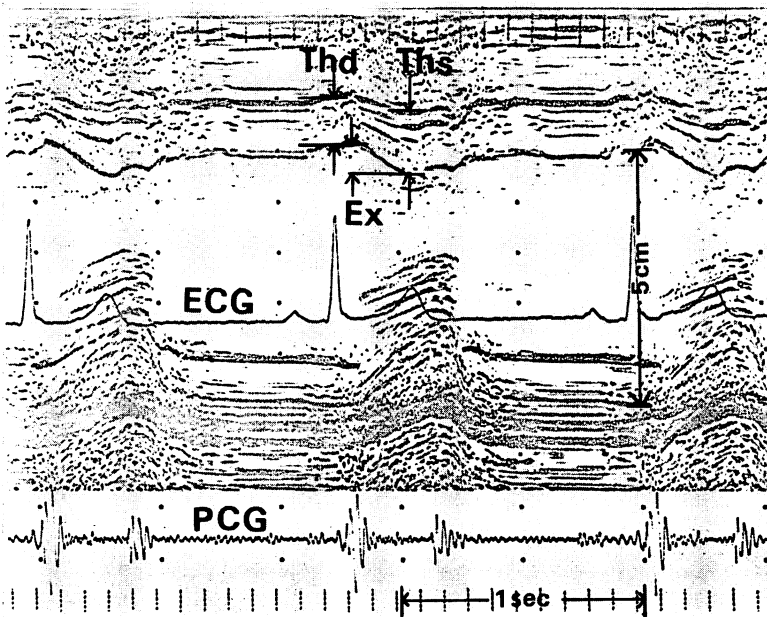


Fig. 1. Method for calculating parameters from the interventricular septal echo-cardiogram.

Ex=interventricular septal excursion; Thd=end diastolic wall thickness of the interventricular septum; Ths=systolic maximal wall thickness of the interventricular septum; PCG=phonocardiogram.

録は呼吸停止にて行い、負荷中、負荷後とも30秒ごとに負荷後は少なくとも6分まで記録した。Ergometer 負荷中、負荷後は  $V_2$  誘導を除く誘導からの心電図を全経過で記録した。

心室中隔エコーからの計測は Fig. 1 に示すごとく行った。心室中隔振幅 (IVS Ex) は、心電図の R 波の頂点での左室側心内膜の位置より心音図 II 音大動脈成分の時点までの最大偏位とした。収縮期壁厚 (WThs) より拡張期壁厚 (WThd) を引き拡張期壁厚で除した値を収縮期壁厚増加率 (% $\Delta$ Th) として表示した [ $\% \Delta \text{Th} = (\text{WThs} - \text{WThd}) / \text{WThd} \times 100$ ]。

心電図の変化は胸部誘導での最大に偏位した誘導を計測し、J 点より 60 msec の点での基線よりの変化を ST segment の変化として、最低 5 心拍の平均値をとり mm で表示した。

冠動脈所見の診断と心エコー図、心電図所見の計測は糸のおの臨床所見の予備知識を無視し、別個の計測者が行った。

## 結 果

**Table 1** は Group 1, Group 2 全例の安静時と運動負荷中止直前 (虚血極期) の心拍数, IVS Ex, % $\Delta$ Th, ST segment change を示す。Group 1 では HR は安静時  $67 \pm 10$  分が運動負荷にて  $136 \pm 14$  分となり, IVS Ex は安静時  $7.5 \pm 1.4$  mm が負荷にて  $0.8 \pm 2.2$  mm へと減少し, % $\Delta$ Th は安静時  $37.7 \pm 16.6\%$  が負荷にて  $3.2 \pm 9.8\%$  へと減少した。心電図 ST segment の変化は負荷にて  $2.3 \pm 0.8$  mm へと低下した。Group 2 では HR は安静時  $64 \pm 12$  分が虚血極期に  $108 \pm 22$  分, IVS Ex は安静時  $6.4 \pm 2.5$  mm が  $-0.4 \pm 2.3$  mm へと減少し, % $\Delta$ Th は  $29.8 \pm 4.4\%$  から  $5.0 \pm 6.9\%$  へと減少した。また心電図 ST segment は虚血極期には  $5.2 \pm 0.4$  mm 上昇した。

**Table 2** の上段左は Group 1 全例の運動開始より asynergy (IVS Ex の減少, % $\Delta$ Th の減少) が生じるまでの時間と心電図の ST segment の

変化が生じるまでの時間を示す。IVS Ex は運動開始より  $2.3 \pm 1.4$  分で減少開始し, % $\Delta$ Th は  $2.5 \pm 1.6$  分で減少し, ST segment の低下は  $1.4 \pm 0.8$  分で生じた。**Table 2** 上段右は負荷中止直後より asynergy, ST segment の低下が消失するまでの時間である。IVS Ex は  $1.8 \pm 1.2$  分, % $\Delta$ Th は  $4.5 \pm 1.4$  分で改善するが、心電図 ST segment の低下は  $6.3 \pm 0.8$  分で元のレベルに戻った。

**Table 2** の下段左は Group 2 全例の運動開始より asynergy の生じるまでの時間を示す。IVS Ex は運動開始より  $1.4 \pm 0.6$  分で減少開始し, % $\Delta$ Th は  $1.4 \pm 0.6$  分で減少した。心電図 ST segment の上昇は  $2.6 \pm 1.1$  分で生じた。

**Table 2** の下段右は負荷中止直後より asynergy, ST segment の変化の改善するまでに要する時間である。IVS Ex の減少は負荷中止後  $2.8 \pm 1.8$  分で改善し, % $\Delta$ Th は  $3.6 \pm 1.1$  分で改善するが、心電図 ST segment の上昇は  $1.9 \pm 1.3$  分で負荷前の値に戻った。以上の結果を Fig. 2 に示す。Group 1 では心電図変化が asynergy (IVS Ex, % $\Delta$ Th の減少) より早期に生じ, Group 2 では心電図変化より asynergy が早期に出現した。虚血よりの回復期には Group 1 では壁動態の改善が心電図変化の改善より早期に生じ, Group 2 では壁動態の改善より心電図 ST 上昇の正常化が早期に生じた。

Group 1 の実例を Fig. 3 に示す (**Table 1** の No. 2 の症例)。全経過の経時的な心エコー図と心電図変化である。心室中隔は負荷開始後、一過性にその振幅を増すがその時期にはすでに  $V_5$  誘導心電図では ST segment の低下が見られた。その後負荷の増大とともに ST segment の低下は増強し、負荷後 3 分では中隔の振幅はみられるものの収縮期壁厚増加はほぼ消失した。負荷中止後中隔振幅は 1 分で負荷前よりも増大したが、心電図 ST 低下の回復には約 7 分を要した。

**Fig. 4** に同一症例の心拍数、中隔振幅、% $\Delta$ Th 心電図変化、胸痛の経時的変化を示す。運動開始

**Table 1. Each parameters at rest and**

No	Age/Sex	HR (beats/min)		IVS Ex (mm)	
		Rest	Exercise	Rest	Exercise
<b>Group 1. Cases with a ST depression during exercise</b>					
1	57 M	50	115	8	-2
2	46 F	68	143	8	4
3	57 M	69	120	9	2
4	43 M	75	150	7	-1
5	58 M	63	142	8	2
6	59 M	78	143	5	0
Mean±SD	53±7	67±10	136±14	7.5±1.4	0.8±2.2
<b>Group 2. Case with a ST elevation during exercise</b>					
1	48 M	70	140	6	-2
2	53 M	56	95	6	-2
3	48 M	77	86	3	-2
4	58 M	48	98	10	3
5	49 M	67	122	7	1
Mean±SD	51±4	64±12	108±22	6.4±2.5	-0.4±2.3

HR=heart rate; IVS Ex=excursion of the interventricular septum; %ΔTh=percent change of the systolic

**Table 2. Time sequence of mechanical and electrical events during exercise and recovery phase judged by asynergy of IVS and ST change**

Case	During exercise			Recovery phase		
	IVS	%ΔTh	ST change	IVS	%ΔTh	ST change
<b>Group 1</b>						
1	1 (min)	4 (min)	1 (min)	1 (min)	2 (min)	5 (min)
2	2	2	1	1	5	6
3	2	1	1	1	5	7
4	2	2	1	2	5	6
5	5	5	3	4	4	7
6	2	1	1.5	2	6	7
Mean±SD	2.3±1.4	2.5±1.6	1.4±0.8	1.8±1.2	4.5±1.4	6.3±0.8
<b>Group 2</b>						
1	1	1	3	4	4	2
2	0.5	0.5	1	3	4	2
3	2	2	3	5	5	4
4	1.5	1.5	2	1	3	1
5	2	2	4	1	2	0.5
Mean±SD	1.4±0.6	1.4±0.6	2.6±1.1	2.8±1.8	3.6±1.1	1.9±1.3

during maximal exercise

%ΔTh (%)		ST change (mm)		Chest pain	CAG
Rest	Exercise	Rest	Exercise		
20	13	0	-1	+	LAD prox 95%
22	6	0	-3	+	LAD prox 95%
63	13	0	-2.5	+	LAD prox 90%
50	-13	0	-2.5	+	LAD prox 90%
38	0	0	-3	+	LAD prox 90%
33	0	0	-2	+	LAD prox 90%
37.7±16.6		-2.3±0.8			
25	0	0	+5.0	+	LAD prox 20%
33	14	0	+6.0	+	LAD prox 95%
25	0	0	+5.0	+	LAD prox 95%
33	11	+1.5	+5.0	+	LAD prox 40%
33	0	+3.0	+5.0	+	LAD prox 20%
29.8±4.4		5.2±0.4			

thickening of IVS; CAG=coronary angiogram.

後1分で心電図 ST segment は 1 mm の低下示すも、中隔振幅、%ΔTh は増加を示していた。胸痛は壁動態の異常が発生した頃より生じた。また負荷中止後、中隔振幅は1分、%ΔTh は5分で回復したが心電図 ST segment の低下は負荷中止後7分まで続いた。

Group 2 の実例を Fig. 5 に示す (Table 1 の No. 1 の症例)。非発作時の冠動脈造影と左室造影であるが、左前下行枝の中隔枝の分枝部より近位部側に約 20% の狭窄があるも、左室造影では、asynergy は見られない。Fig. 6 は ergometer 負荷時の冠動脈造影と左室造影である。左前下行枝は近位部で完全に途絶し、同時期の左室造影にて前側壁～心尖部領域に広範な asynergy が出現した。Fig. 7 はこの症例の全経過の経時的な心エコー図と心電図変化を示す。Group 1 と異なり、中隔振幅は一過性の増大はみられず負荷後1分で %ΔTh、中隔振幅ともに低下したが心

電図 ST には変化はみられず、心電図 ST 上昇は壁動態の異常より遅れ、逆に負荷中止後は心電図 ST の変化は回復した後も壁動態の異常は続いていた。Fig. 8 は同一症例の中隔振幅、%ΔTh、心電図変化、胸痛の経時的変化を示す。中隔振幅、%ΔTh は負荷後1分で減少を示すが、心電図 ST segment は負荷後3分で上昇を示し、胸痛は心電図変化の開始より生じた。また負荷中止後心電図 ST の上昇は3分で元に戻るも、%ΔTh、IVS Ex は4分で改善した。

考 案

心筋虚血時に心電図 ST segment に変化が認められることは、1920年 Pardee ら<sup>4)</sup>により報告され、以後臨床的に心筋虚血を判断する場合は心電図変化が利用されてきた。しかしながら虚血発生時にかならずしも心電図変化がとらえられない場合もあり、虚血に対してより sensitive な指標

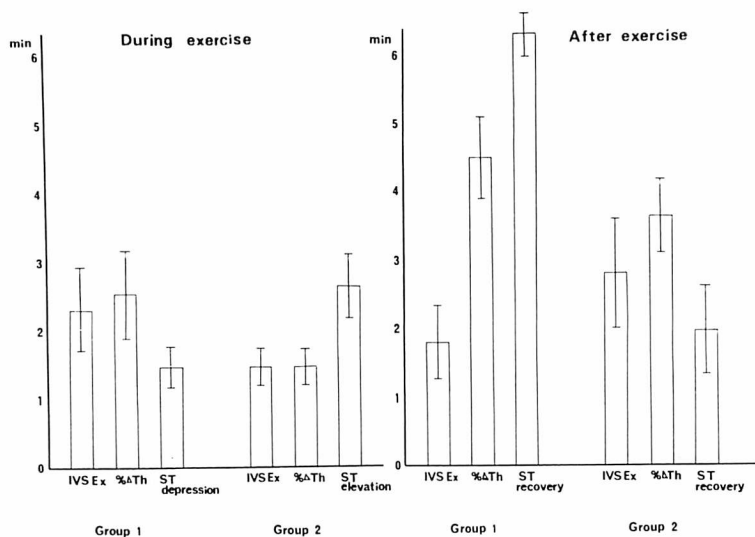


Fig. 2. Wall dynamics values and ST segment change during exercise and recovery.

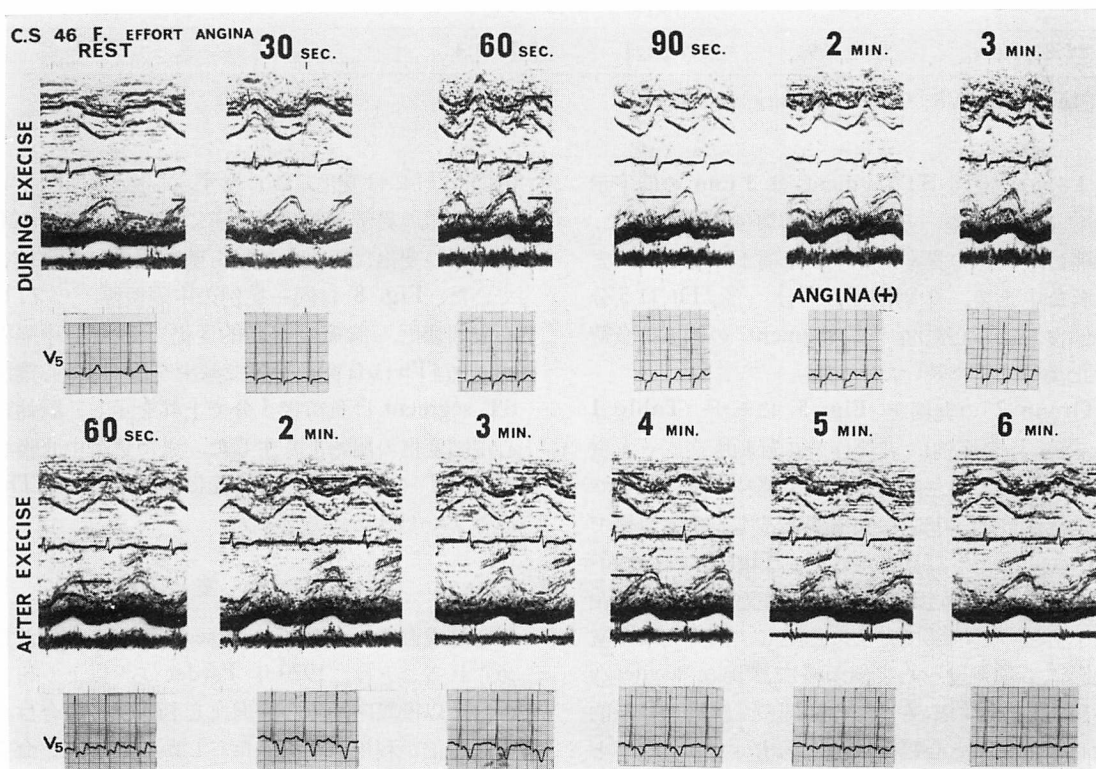


Fig. 3. Echocardiograms and electrocardiograms at rest, during exercise and recovery in a patient of Group 1 (Case 2 in Table 1).

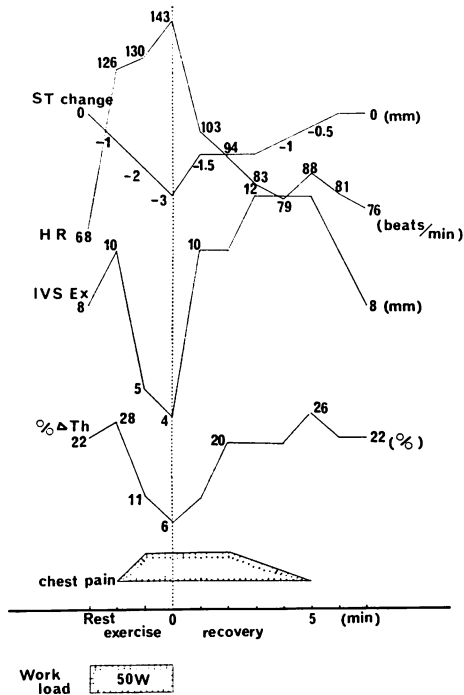


Fig. 4. Consecutive changes in IVS excursion, wall thickness, ST segment changes and subjective symptoms at rest, during exercise and recovery in a patient of Group 1 (Case 2 in Table 1).

の追求がなされた。1935年 Tennant & Wiggers<sup>5)</sup> がイヌの冠動脈結紮実験において、虚血時の心室壁異常運動を報告して以来、医用機器の進歩に伴い数多くの虚血壁動態に関する報告がされている<sup>6-8)</sup>。最近では心筋虚血発生時、電気的現象と機械的現象(壁動態)のどの指標が虚血に対して鋭敏であるかということが興味ある問題となってきている。イヌの冠動脈結紮実験における報告では Battler ら<sup>9)</sup> は壁動態の異常が早期に生じると報告し、一方 Smith ら<sup>10)</sup> は心電図異常が早期に生じると報告しているように対立した2つの意見がある。今回我々は臨床的に心筋虚血発生時の壁動態と心電図変化とを対比検討した。今回の検討では、左前下行枝の近位部側のみ病変を有する例を対象とし、他の冠動脈に病変のある例は除外した。また ST segment 低下群と ST seg-

ment 上昇群と2群に分類したのは、虚血発生機序の違いがあると考えられるためである。ST segment 低下群では左側胸部誘導での ST segment の低下が壁動態の異常より早期に出現した。一方、ST segment の上昇した群では、胸部誘導での ST segment の上昇よりも壁動態の異常が早期に生じた。この discrepancy の原因として考えられる理由は、2群の虚血の発生機序の相違、すなわち ST segment 低下群では運動にて心筋の酸素消費量の増加にみあうだけの供給がなされず心筋に虚血が生じてくるのであるが<sup>11)</sup>、一方、ST segment 上昇例では運動負荷により sympathetic tone の増加で alpha adrenergic receptor が刺激され冠動脈の spasm が生じるとされている<sup>12)</sup>。この場合の狭心症の発生原因としては、冠動脈に spasm が生じ突然に冠動脈が閉塞をきたし、coronary blood flow がほぼ完全に途絶されるためであると考えられる。この状態は動物実験での冠動脈結紮時の状態とほぼ同じと考えてもよいと思える。Battler ら<sup>9)</sup> のイヌの冠動脈結紮による虚血発生時の壁動態と心電図との対比では、冠動脈の完全閉塞後15秒で regional hypokinesia が生じ、1分で akinesia が生じたが有意な心電図の変化は体表面ベクトル心電図で ST segment の変化が30秒で生じたと報告している。彼らの実験結果でも壁動態の異常が早期に生じており、我々の ST segment 上昇例の結果と一致した。一方 ST segment 低下群で心電図の変化が壁動態の異常より早期に生じたことと考えられる理由として、虚血の発生が左前下行枝の末梢側すなわち心尖部や前壁側より生じ、その後虚血が中隔に及ぶも、その虚血の程度も ST segment の上昇例ほど重症ではなく、心内膜側のみ虚血が生じているのではないかと思えた。また回復期においては、ST segment 低下群では壁動態が改善しても ST segment の低下が遅くまで残存しているのは、中隔の虚血が回復しても心尖部あるいは前壁側のエコーではとらえられない部分の虚血はまだ残存しているためではないかと考えられ

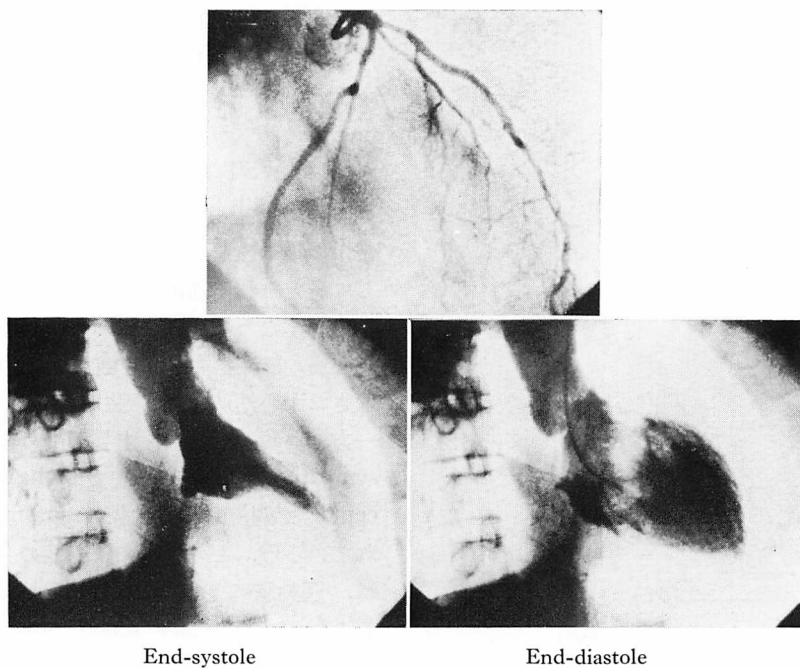


Fig. 5. Coronary angiogram and left ventriculograms at rest in a patient of Group 2 (Case 1 in Table 1).

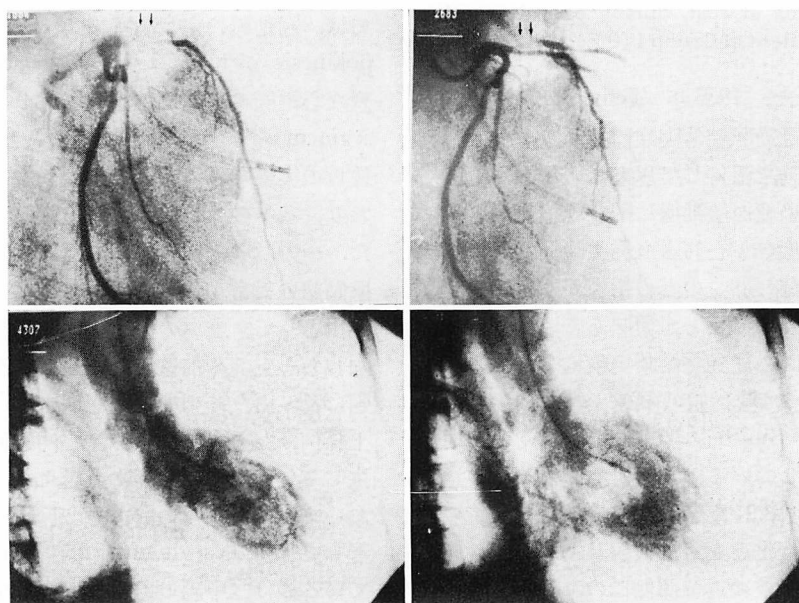


Fig. 6. Coronary angiograms and left ventriculograms during exercise in a patient of Group 2 (Same case as in Fig. 5).



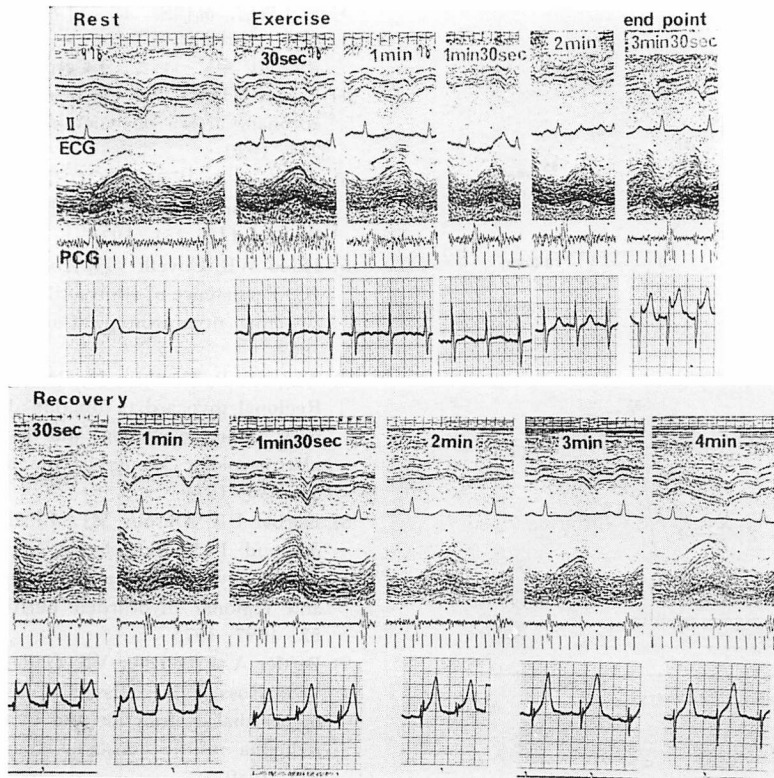


Fig. 7. Echocardiograms and electrocardiograms at rest, during exercise and recovery in a patient of Group 2 (Case 1 in Table 1).

た. ST segment 上昇群では ST segment の上昇が壁動態の改善よりも早期に正常化するの、貫壁性の心筋虚血は消失するも、心内膜側の虚血は依然として残っているためと考えられた。また Heyndrickx ら<sup>13)</sup>の実験で冠動脈結紮後の再灌流にて、心電図 ST segment の上昇は1分以内に元に戻るのに、LV function の異常は長く続いたとの報告に一致した。イヌの実験などで冠動脈結紮により虚血を生じると同様の臨床的状态であると考えられる ST segment 上昇例では、壁動態、LV function の異常が心電図変化より早期に生じ、回復期には心電図変化よりも長く続くという報告<sup>2,9)</sup>に一致した。

## ま と め

労作性狭心症例で左前下行枝の近位部側に病変を有する 11 例において、特別に工夫した胸壁固定型 transducer を使用し、運動負荷心エコー法を実施し心室中隔の壁動態と体表面心電図との関係を検討した。

11 例のうち運動負荷にて ST segment の低下した 6 例 (Group 1) と ST segment の上昇した 5 例 (Group 2) に分類し検討した。

Group 1 では運動負荷にて虚血発生時、体表面心電図の ST segment 低下が壁動態の異常より早期に生じた。Group 2 では虚血発生時、壁動態の異常が心電図変化より早期に生じた。一方回復期には Group 1 では、心電図 ST segment

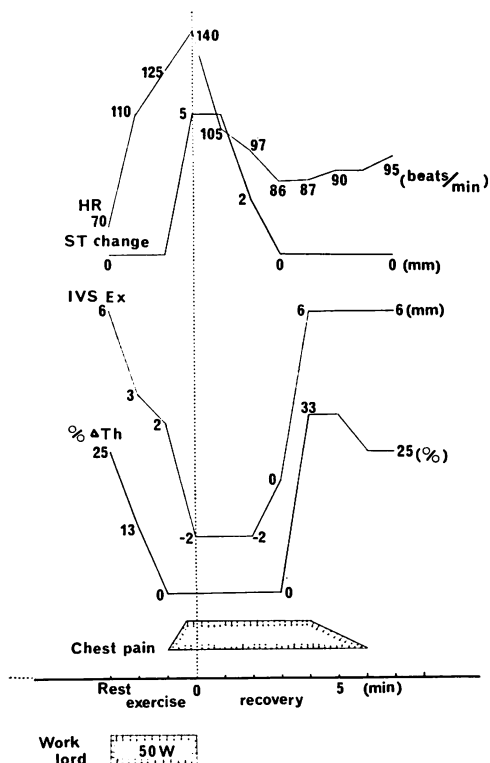


Fig. 8. Consecutive changes in IVS excursion, wall thickness, ST segment changes and subjective symptoms at rest, during exercise and recovery in a patient of Group 2 (Case 1 in Table 1).

の低下が壁動態の異常より遅くまで続いた。また Group 2 では心電図 ST segment の上昇が壁動態の改善よりも早く消失した。

文献

- 1) Guyton RA, McClenathan JH, Newman GE, Michaelis LL: Significance of subendocardial ST segment elevation caused by coronary stenosis in the dog. *Am J Cardiol* 40: 373, 1977
- 2) Ross J Jr: Electrocardiographic ST segment analysis in the characterization of myocardial ischemia and infarction. *Circulation* 53 (Suppl): 1-73, 1976

- 3) 池江喜信, 高橋陽二郎, 白名英二, 松崎益徳, 楠川禮造: 長時間監視用心エコー図プローベの開発とその臨床応用について. *J Cardiography* 9: 575, 1979
- 4) Pardee HEB: An electrocardiographic sign of coronary artery obstruction. *Arch Int Med* 26: 244, 1920
- 5) Tennant R, Wiggers CJ: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol* 112: 351, 1935
- 6) Hood WB, Covelli VH, Abelmann WH, Norman JC: Persistence of contractile behaviour in acutely ischemia myocardium. *Cardiovasc Res* 3: 249, 1969
- 7) Theroux P, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS: Regional myocardial function during acute coronary artery occlusion and its modification by pharmacologic agents in the dog. *Circulat Res* 35: 896, 1974
- 8) Kerber RE, Marous ML, Ehrhardt J, Wilson R, Abboud FM: Correlation between echocardiographically demonstrated segmental dyskinesia and regional myocardial perfusion. *Circulation* 52: 1097, 1975
- 9) Battler A, Froelicher VF, Gallagher KP, Kemper WS, Ross J Jr: Dissociation between regional myocardial dysfunction and ECG changes during ischemia in the conscious dog. *Circulation* 62: 735, 1980
- 10) Smith HJ, Kent KM, Epstein SE: Relationship between regional contractile function and ST segment elevation after experimental coronary artery occlusion in the dog. *Cardiovasc Res* 12: 444, 1978
- 11) Epstein SE, Redwood DR, Goldstein RE, Beiser GD, Rasing DR, Galancy DL, Reis RL, Stinson EB: Angina pectoris: Pathophysiology, evaluation and treatment. *Ann Intern Med* 75: 263, 1971
- 12) Yasue H, Omote S, Takizawa A, Nagao M, Miwa K, Tanaka S: Circadian variation of exercise capacity in patients with Prinzmetal's variant angina: Role of exercise induced coronary arterial spasm. *Circulation* 59: 938, 1979
- 13) Heyndrickx GR, Millard RW, McRitchie RJ, Maroko PR, Vatner SF: Regional myocardial functional and electrophysiological alterations after brief coronary artery occlusion in conscious dogs. *J Clin Invest* 56: 978, 1975