

運動負荷心エコー図：第 II 報：左前下行枝病変例の負荷中止後よりの回復期心室中隔動態

Exercise echocardiography: II. Interventricular septal wall dynamics in patients with left anterior descending coronary disease during recovery

内藤 秀敏
松崎 益徳
高橋陽二郎
松田 泰雄
小川 宏
佐々木 徹
久萬田俊明
楠川 禮造
高芝 潔*
池江 喜信*

Hidetoshi NAITO
Masunori MATSUZAKI
Yojiro TAKAHASHI
Yasuo MATSUDA
Hiroshi OGAWA
Toru SASAKI
Toshiaki KUMADA
Reizo KUSUKAWA
Kiyoshi TAKASHIBA*
Yoshinobu IKEE*

Summary

Supine ergometer exercise test was performed in 10 healthy subjects and 9 patients who had severe stenosis in the left anterior descending coronary artery [5 patients with stenosis proximal to the septal perforator (proximal LAD disease) and 4 patients with stenosis distal to the septal perforator (distal LAD disease)].

In healthy subjects and patients with distal LAD disease, the increment of septal excursion (IVS Ex) and percent systolic thickening of the septum (% Δ Th) during exercise returned to the pre-exercise level with a few minutes after exercise.

In patients with proximal LAD disease, IVS Ex decreased to 1.4 ± 1.2 mm during exercise from the pre-exercise level (7.4 ± 0.7 mm) and % Δ Th decreased to $6.4 \pm 5.1\%$ during exercise from the

山口大学医学部 第二内科
宇部市西区小串 1144 (〒755)
*済生会下関総合病院
下関市貴船町 3 (〒751)

The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine, Kogushi 1144, Nishi-ku, Ube 755
*Department of Cardiology, Saiseikai Shimonoseki Hospital, Kifune-cho 3, Shimonoseki 751

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 14-15, 1980

Received for publication October 24, 1980

pre-exercise level ($37.2 \pm 8.4\%$).

After exercise, IVS Ex and $\% \Delta$ Th increased to 8.6 ± 0.9 mm at 2 min and $38.0 \pm 9.8\%$ at 3 min respectively and then returned to the pre-exercise level.

End-diastolic wall thickness (WTh) did not change during and after exercise in healthy subjects and patients with distal LAD disease, while in patients with proximal LAD disease, WTh increased for a few minutes after exercise and returned to the pre-exercise level. The change of electrocardiogram and symptom of angina pectoris lasted longer than the abnormal wall motion.

Key words

Supine ergometer exercise Recovery Septal excursion Percent systolic thickening
 Electrocardiogram Angina pectoris

はじめに

Tennant & Wiggers¹⁾ の報告以来, 虚血状態下での心室壁動態に関する研究は多く報告されている。とくに近年, 臨床においても, 種々な検査法の発達により虚血心筋動態の観察が可能となってきた。今回我々は虚血状態下の real time な壁動態を解析する目的で, 梗塞の既往がなく左前下行枝に有意な狭窄を有する狭心症例に ergometer 負

荷心エコー法を施行し, 本冠動脈の支配領域である心室中隔の動態を観察し, とくに虚血極期(負荷中止直前)よりの回復期の壁動態の変化を経時的に分析した。

対象と方法

心筋梗塞の既往のない典型的な労作性狭心症例で, 左前下行枝に 75% 以上の狭窄を有し, ergometer 負荷で胸痛, 心電図胸部誘導にて, ST の

Table 1. Materials

No	Name	Age	Sex	IVS ex		$\% \Delta$ Th		Wall thickness		ST change		Chest pain	CAG
				rest	exercise	rest	exercise	rest	exercise	rest	exercise		
1	S M	65	M	5	4	31	15	13	13	0	-2	+	prox LAD
2	T A	57	M	9	2	63	13	8	8	0	-2.5	+	prox LAD
3	C S	46	F	8	4	33	6	9	8.5	0	-3	+	prox LAD
4	K M	57	M	8	-2	20	13	15	15	0	-1	+	prox LAD
5	K K	43	M	7	-1	50	-11	6	4.5	0	-2.5	+	prox LAD
mean±SD		53±8.0		74±1.5	1.4±2.8	372±187	64±11.3	102±37	9.8±4.2	0	-2.2±0.8		
6	S A	60	F	6	10	43	43	7	7	-1	-2	+	distal LAD
7	M F	47	M	6	7	30	40	10	10	0	-1	+	distal LAD
8	T K	30	M	10	12	83	117	6	6	-2	-6	+	distal LAD
9	T T	56	F	9	12	40	50	10	10	-1	-2	+	distal LAD
mean±SD		48.3±13.3		78±2.1	10.3±2.4	49±23.3	62.8±36.6	83±2.1	8.3±2.1	-1±0.8	-2.8±2.2		
10	K O	52	F	7	12	56	78	9	9	0	0	-	-
11	R U	23	M	8	13	63	100	8	8	0	0	-	-
12	S U	24	M	6	10	50	75	8	8	0	0	-	-
13	T U	34	M	8	11	63	75	8	8	0	0	-	-
14	M K	26	M	7	10	33	56	9	9	0	0	-	-
15	S U	24	M	7	11	63	88	8	8	0	0	-	-
16	K I	23	M	10	13	71	100	7	7	0	0	-	-
17	U I	25	M	6	7	43	57	7	7	0	0	-	-
18	T S	30	M	5	8	33	56	9	9	0	0	-	-
19	T I	23	M	6	11	43	57	7	7	0	0	-	-
mean±SD		28±9		78±1.6	10.8±2.0	51.8±13.4	74.2±17.8	8±0.8	8±0.8	0	0		

HR=heart rate; IVS=interventricular septum; CAG=coronary angiography; LAD=left anterior descending coronary artery; Prox=proximal

変化が生じ、全経過を通じて良好な心室中隔エコー図を記録でき、中隔枝分枝部より近位部に狭窄のある5例(男4, 女1), 年齢 54 ± 9 歳(平均 \pm 標準偏差)を対象とした。対照として中隔枝分枝部より遠位部に狭窄のある4例(男2, 女2), 年齢 48 ± 13 歳, また自覚的には他覚的にも異常を認めない健常成人10例(男9, 女1), 年齢 28 ± 9 歳を用いた (Table 1)。

Ergometer 負荷は仰臥位または左半側臥位にて行い、25ないし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か、下肢疲労感などにより負荷続行が不可能となるまで、あるいは年齢別最大心拍数の約85%に達するまで実施した。また検査の1週間前より胸痛時のニトログリセリン以外すべての薬剤は中止して行った。

UCG 装置はAloka製SSD 80またはAloka製SSD 110Sを用い、transducerは以前に報告した胸壁固定型⁴⁾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。記録部位は第3または第4肋間胸骨左縁より、従来の心室中隔-左室後壁方向で行った。

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。

各計測は Fig. 1 に示すごとく行った。すなわち心室中隔振幅は心電図のR波の頂点での中隔左室心内膜の位置より、心音図II音大動脈成分の時点までの最大偏位とした。拡張期中隔壁厚は

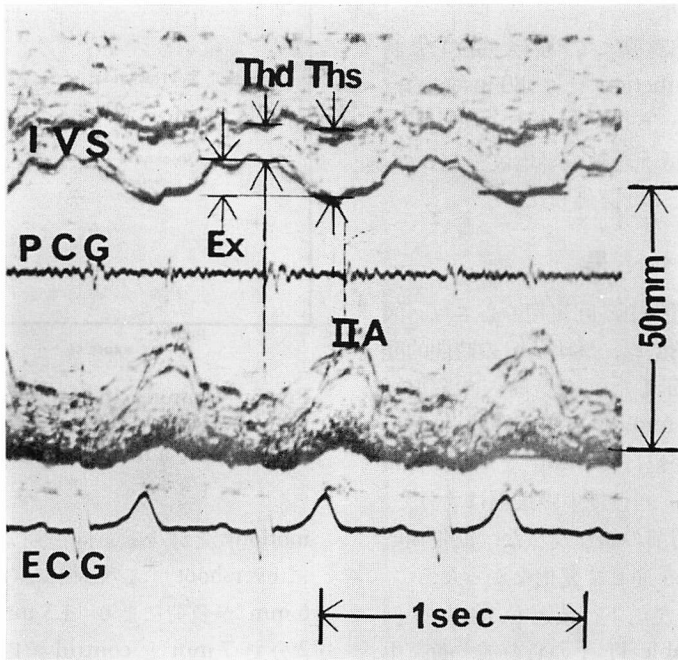


Fig. 1. The measurement of parameters about interventricular septal motion and thickness.

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

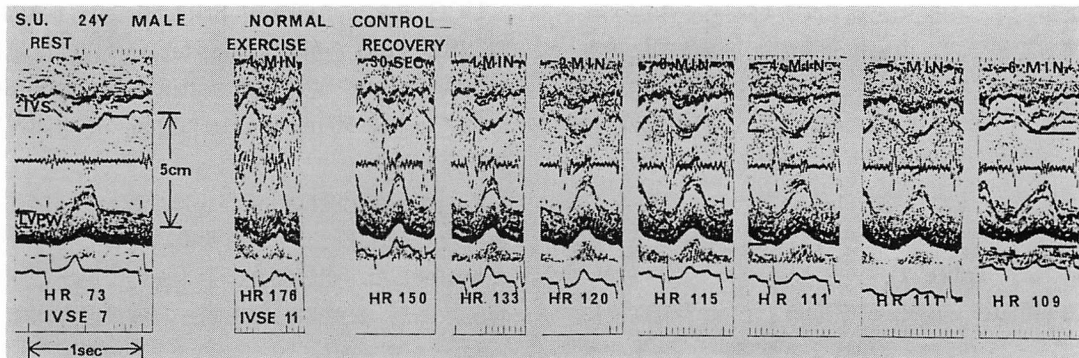


Fig. 2. Echocardiograms at rest, during exercise and recovery in a normal subject.

心電図の R 波の頂点で、収縮期中隔壁厚は心電図の R 波より心音図の IIA までの最大壁厚とした。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 %Δ Thickness として表示した [$\% \Delta Th = (WThS - WThD) / WThD \times 100$].

心電図の変化は胸部誘導にての最大偏位した誘導にて計測し、ST junction より 80 msec の点での基線よりの変化を ST segment の変化として mm で表示し、最低 5 心拍の平均値をとった。

狭心痛は本人の訴えより評価した。

結 果

正常例の運動前、運動中、回復期の心エコー図と収縮期振幅、拡張期壁厚、%Δ Th の時間的経過を Figs. 2, 3 に示した。負荷前、中隔振幅 7 mm、拡張期壁厚 8 mm、%Δ Th 63% であったが、負荷にて中隔振幅は 11 mm と増加、%Δ Th も 88% と増加し、回復期中隔振幅は 3 分で、%Δ Th は 2 分で負荷前の値に戻った。拡張期壁厚は 8 mm で全経過を通じて変化なかった。

Asynergy の生じた左前下行枝近位部狭窄例 (Patient No. 5 in Table 1) での負荷前、負荷中止直前、回復期のエコー図と収縮期中隔振幅、拡張期壁厚、%Δ Th、心電図変化、狭心痛の時間的経過を Figs. 4, 5 に示したが、中隔振幅は負荷前 7 mm が負荷により -1 mm (paradoxical

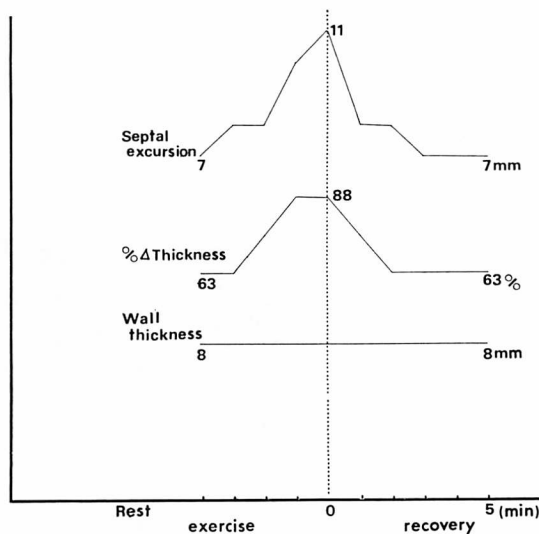


Fig. 3. Changes in interventricular septal motion and thickness at rest, during exercise and recovery in a normal subject (S. U., 24 yrs male).

motion) と減少し、回復期 2 分で control 値以上に overshoot する現象がみられた。壁厚は負荷前 6 mm が負荷により 4.5 mm と減少し、回復期 2 分で 7 mm と control 値以上になり回復期 4 分で control 値に戻った。%Δ Th は負荷前 50% が負荷により -13% となり、3 分で control 値以上に overshoot する現象がみられた。心電図 ST の低下は 5 分以上続いた。狭心痛は 5 分まで

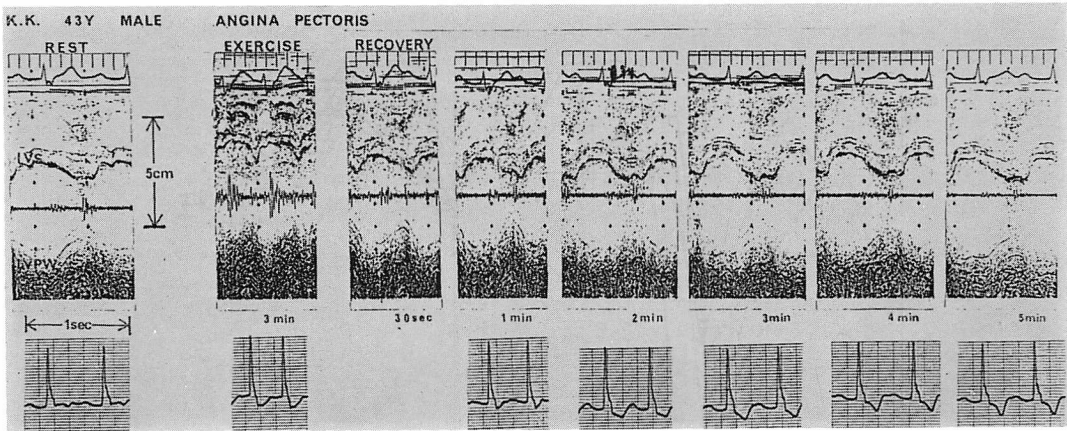


Fig. 4. Echocardiograms at rest, during exercise and recovery in a patient with effort angina.

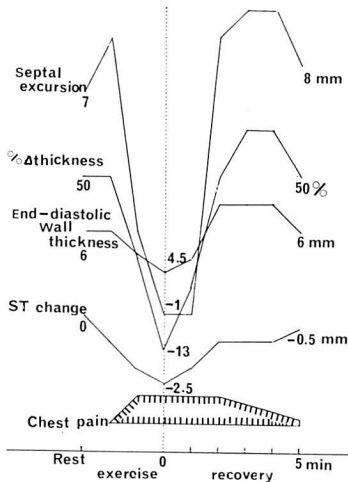


Fig. 5. Changes in interventricular septal motion, thickness, S-T change and chest pain at rest, during exercise and recovery in a patient with effort angina (K. K., 43 yrs male).

続いた。

1. 回復期における各種指標の経時的変化

1) 中隔運動振幅 (Fig. 6)

近位部狭窄例では安静時中隔振幅 7.4 ± 1.5 mm, 遠位部狭窄例 7.8 ± 2.1 mm, 正常例 7.0 ± 1.4 mm と有意差はなかったが, 近位部狭窄例では負荷により 1.4 ± 2.8 mm と減少し, 回復期 2 分

8.6 ± 2.1 mm と control 値以上になり, 5 分で control 値に戻った. 遠位部狭窄例では負荷にて 10.3 ± 2.4 mm と増加し, 4 分で control 値になり, 正常例では 10.6 ± 2.0 mm と増加し, 5 分で control 値に戻った.

2) 収縮期壁厚増加率 (Fig. 7)

負荷前近位部狭窄例で $\% \Delta Th$ は $37.2 \pm 18.7\%$, 遠位部狭窄例 $49.0 \pm 23.3\%$, 正常例 $51.8 \pm 13.4\%$ であり, いずれも正常範囲であった⁵⁾. 近位部狭窄例では負荷中止直前 $6.4 \pm 11.3\%$ に減少したが, 回復期 3 分で $38.0 \pm 9.8\%$ と control 値以上になり, 5 分で control 値に戻った. 遠位部狭窄例で負荷により $62.5 \pm 36.6\%$ に増加し, 回復期 3 分で control 値に戻った. 正常例では負荷により $72.7 \pm 17.3\%$ に増加し, 回復期 4 分で control 値に戻った.

3) 拡張期壁厚 (Fig. 8)

正常例, 遠位部狭窄例では負荷前, 負荷中, 回復期で壁厚の変化は見られなかったが, 近位部狭窄例では負荷中止後 1~2 分より, control 値以上に厚くなる現象 (平均 1 mm) が見られ, 4~5 分後に control 値に戻った.

4) 心電図変化 (Fig. 9)

近位部狭窄例では負荷前 ST segment の低下は 0.3 ± 0.6 mm であったが, 負荷により ST

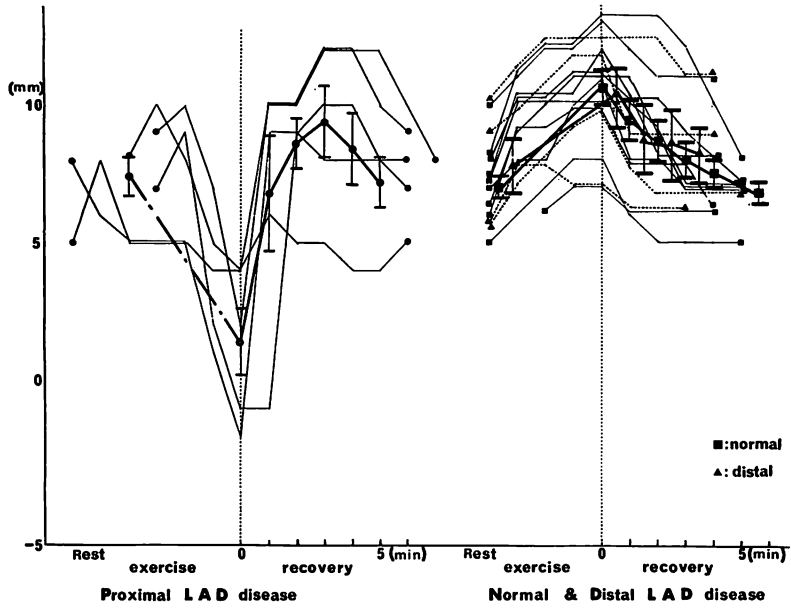


Fig. 6. Changes in interventricular septal excursion at rest, during exercise and recovery.

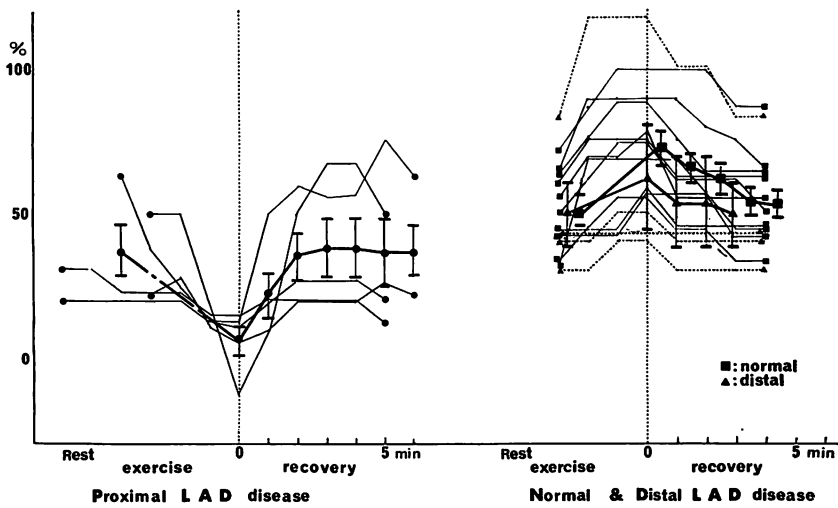


Fig. 7. Changes in percent systolic wall thickening (%Δ Thickness) of the interventricular septum at rest, during exercise and recovery.

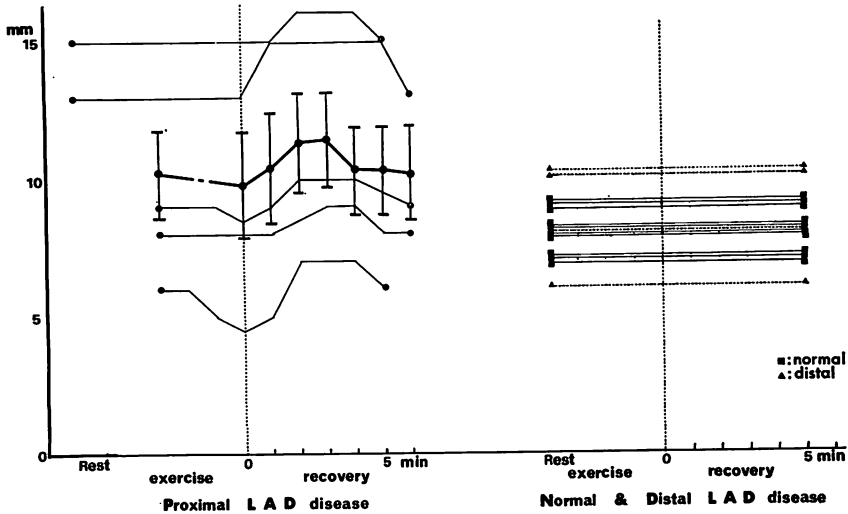


Fig. 8. Changes in end-diastolic wall thickness of the interventricular septum at rest, during exercise and recovery.

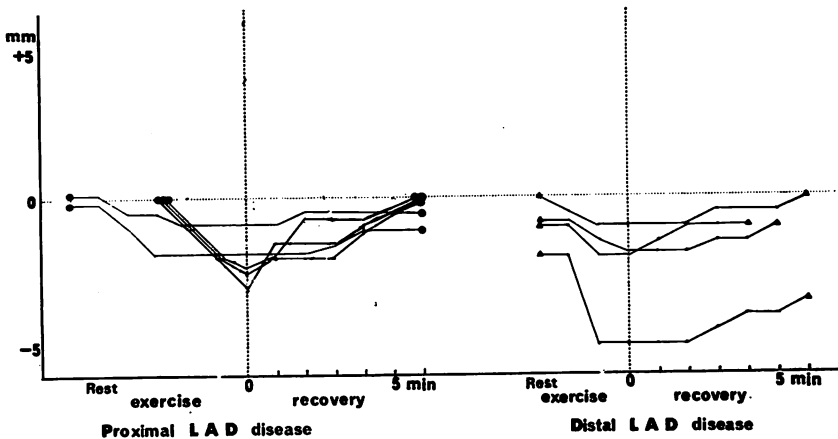


Fig. 9. ST changes in the electrocardiogram at rest, during exercise and recovery.

segment は 2.8 ± 0.3 mm と低下した。遠位部狭窄例では負荷前 ST segment の低下は 1.0 ± 0.8 mm であったが、負荷により 2.5 ± 1.7 mm へと低下し、両者とも ST segment の低下は5分以上続いた。

5) 狭心痛

近位部狭窄例 5 例、遠位部狭窄例 4 例とも負荷

中止前1分ごろより狭心痛が生じ、負荷中止後は心電図変化の改善前に消失した。

考案

虚血心筋の収縮異常に関する実験的報告は1935年の Tennant & Wiggers¹⁾ により始まり、以後医用機器の進歩により、Walton-Brodie strain

gauge arch 法²⁾, mercury-in-silastic tubing segment length gauge 法³⁾, 微小超音波クリスタル法⁶⁾, 心エコー図法⁷⁾, 心室造影法⁸⁾, radionuclide angiography 法⁹⁾などの方法により虚血時の壁動態について種々の報告が見られるようになってきた。臨床において虚血を発生させ壁動態を観察するために, 心筋酸素需要量を増加させる動的運動負荷法の1つである仰臥位 ergometer 負荷法を用い, 同時に心エコー図を記録し, 虚血発生から回復期の壁動態を検討した。運動負荷による虚血発生時の壁動態については以前に報告したごとく¹⁰⁾, 正常例では中隔振幅, 収縮期中隔壁厚増加率は増加し, 拡張期壁厚は変化なかった。左前下行枝遠位部狭窄例では正常例と同様の変化を示したが, 近位部狭窄例では中隔振幅の低下, 収縮期中隔壁厚増加率の減少, 拡張期壁厚の減少が認められた。

今回は asynergy の生じた左前下行枝近位部狭窄例での回復期の壁動態と心電図変化, 狭心痛について, 正常例, 遠位部狭窄例と比較検討した。近位部狭窄例では中隔振幅は負荷により減少したが, 回復期2分で control 値以上になる現象が認められた。この結果の詳細な機序は不明であるが, 運動開始にて, sympathetic tone は増加し, 心拍数, 収縮性も増加する。心筋の酸素消費量の増加とともに冠血流量は増加し, 中隔振幅は増加してくるが, 冠動脈の狭窄があるため心筋の酸素需要に供給が追いつかない状態, すなわち critical level を超えると振幅は減少してくるようになる。その後運動中止により急速に心筋の酸素需要は減少してくるが, sympathetic tone, 心拍数は依然増加しているため, 心筋酸素消費量と供給とのバランスが保たれたレベルで, 振幅が一時的に増加してくるのではないかと考えられる。しかし, Kerber ら¹¹⁾の冠動脈閉塞後の再灌流の実験では閉塞により減少した振幅が, 再灌流により増加はするが control 値以上に増加する現象は認められていない。このことから中隔振幅の control 値以上の増加は運動によるカテコラミンのある程度

の高値が続いた時期に, 心筋の酸素の需要と供給のバランスが critical level に戻ることに由来のかもしれないと思えた。この振幅の control 値以上の増加も5分で安静時のレベルに戻った。

収縮期壁厚増加率(%ΔTh)は近位部狭窄例では遠位部狭窄例, 正常例に比べて安静時でやや低下の傾向はあるも Komer ら⁵⁾の報告した正常値以内であった。この差は対象間の年齢差によるのかもしれない。%ΔTh は近位部狭窄例にて減少を示したが, 回復期3分で control 値以上になる現象が認められた。これも中隔振幅が回復期に一過性に増加するのと同様な機序によるのかもしれない。また中隔振幅は2分で control 値以上になるが, %ΔTh は振幅よりやや遅れて control 値以上になる矛盾が認められた。この機序は不明であるが心室中隔の右室側と左室側の虚血の程度の違い, 回復過程の違いなどによるのかもしれない。

拡張期壁厚は正常例, 遠位部狭窄例では負荷前, 負荷中, 回復期で壁厚の変化は見られなかったが, 近位部狭窄例では負荷中止後1~2分より一過性に control 値以上に厚くなる現象が認められた。Gaash ら¹⁴⁾の実験において, イヌの左前下行枝の3分間の閉塞後の再灌流1分で, 壁厚は control 値 9.0 ± 0.3 mm から 10.2 ± 0.2 mm へと厚くなる現象が生じ, また冠血流量も control 値より増加が認められ, 壁厚と冠血流量との正の相関を認め, 壁厚の増加は reactive hyperemia のためであろうとしている。しかし拡張期壁厚は左室径に左右される指標であり, 正確な壁厚の計測はその時点での正確な左室径を知らねばならないが, 今回の研究では左室径は全例では計測されておらず, 壁厚増加が reactive hyperemia を意味するかどうかは不明である。

負荷中止後の心電図変化と局所収縮状態との関係は非常に興味深いことであるが, 臨床例において虚血からの回復期の壁動態の改善と心電図変化の対比についての報告はない。

本研究では asynergy の生じた例で壁動態と心電図変化を対比した結果, 壁動態の改善が心電図

変化の改善より早期に生じた。これは、Ross ら¹³⁾の動物実験での ischemic segment length と心外膜心電図との対比において、壁運動は早期に改善するのに反し、心電図の改善はそれより遅れると報告していることに一致した。また、Smith ら¹⁴⁾は冠血流量が改善してもただちに ST の改善は見られず、冠血流量と心外膜心電図の ST の間には単純な正の相関はないと報告している。すなわち冠血流量の改善と電気的現象の改善は parallel に生じないのかもしれない。しかし、Heyndrickx ら¹⁵⁾の動物実験で5分あるいは15分の冠閉塞後の再灌流にて、いずれの場合も心電図変化は1分以内に元に戻ると報告しているごとく反対の意見もある。今回の体表面心電図とエコー図による中隔の壁動態の対比において、エコーでは中隔の一部のみを見ており、左前下行枝の支配領域の一部分である中隔の壁運動が改善しても、他の部分たとえば前壁などでは asynergy が残っている可能性があり、心電図 ST の変化はその虚血の部分をとらえている可能性は否定できない。

要 約

仰臥位 ergometer 負荷試験を正常10例と左前下行枝に有意な狭窄のある9例(近位部狭窄5例、遠位部狭窄4例)で行い、同時に心エコー法を用い心室中隔動態、心電図変化、臨床症状を運動負荷の前後で検討した。

正常例と遠位部狭窄例では中隔振幅 (IVSE_x)、収縮期中隔壁厚増加率 (%Δ Th) は運動負荷にて増加し、運動中止後、数分で安静時のレベルに戻った。

一方、近位部狭窄例では運動負荷にて中隔振幅は 7.4 ± 0.7 mm から 1.4 ± 1.2 mm と減少し、収縮期中隔壁厚増加率は $37.2 \pm 8.4\%$ から $6.4 \pm 5.1\%$ へと減少し、運動中止後一度は IVSE_x は 8.6 ± 0.9 mm, %Δ Th は $38.0 \pm 9.8\%$ へと安静時の値以上に増加した後、安静時のレベルに戻った。拡張期壁厚は正常例、遠位部狭窄例では負荷前、負荷中、負荷中止後と変化はなかったが、一

方、近位部狭窄例では負荷中止後安静時の壁厚より厚くなる現象がみられた。心電図変化、狭心痛は壁動態の改善後も続いた。

文 献

- 1) Tennant R, Wiggers CJ: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol* **112**: 351, 1935
- 2) Cotton MV, Bay E: Direct measurement of changes in cardiac contraction force. *Am J Physiol* **187**: 122, 1956
- 3) Hood WB, Covelli VH, Abelmann WH, Norman JC: Persistence of contractile behavior in acutely ischemic myocardium. *Cardiovas Res* **3**: 249, 1969
- 4) 池江喜信, 高橋陽二郎, 百名英二, 海老原博徳, 清水正雄, 野本良一, 村上勝人, 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
- 5) Komer RR, Edalji A, Hood WB: Effects of nitroglycerin on echocardiographic measurement of left ventricular wall thickness and regional myocardial performance during acute coronary ischemia. *Circulation* **59**: 926 1979
- 6) Theroux P, Franklin D, Ross J, Kemper WS: Regional myocardial function during acute coronary artery occlusion and its modification by pharmacologic agents in the dog. *Circulat Res* **35**: 896, 1974
- 7) Kerber RE, Abbound FM: Echocardiographic detection of regional myocardial infarction an experimental study. *Circulation* **49**: 1038, 1974
- 8) Herman HV, Heinle RA, Klein MD, Gorlin R: Localized disorder in myocardial contraction. Asynergy and its role in congestive heart failure. *New Engl J Med* **227**: 222 1967
- 9) Jengo JA, Mena I, Blaufuss A, Criley JM: Evaluation of left ventricular function (Ejection fraction and segmental wall motion) by single pass radioisotope angiography. *Circulation* **57**: 326, 1978
- 10) 高橋陽二郎, 松崎益徳, 内藤秀敏, 松田泰雄, 内田孝子, 弘山直滋, 塔間陽一, 佐々木 徹, 久萬田俊明, 楠川禮造, 海老原博徳, 高芝 潔, 谷本欣徳, 池江喜信: 運動負荷心エコー図. 労作性狭心症の ergometer 負荷における心室中隔壁厚と壁動態. *J Cardiography* **11**: 67, 1981
- 11) Kerber RE, Marcus ML, Ehrhardt J, Wilson R, Abbound FM: Correlation between echocardiographically demonstrated segmental dyskinesia

内藤, 松崎, 高橋, ほか

- and regional myocardial perfusion. *Circulation* **52**: 1097, 1975
- 12) Gaasch WH, Bernard SA: The effect of acute change in coronary blood flow on left ventricular end diastolic wall thickness. *Circulation* **56**: 593 1977
- 13) Ross J, Franklin D: Analysis of regional myocardial function, dimension, and wall thickness in the characterization of myocardial ischemia and infarction. *Circulation* **53** (Suppl 1): 1-88, 1976
- 14) Smith HJ, Singh BN, Norris RM, John MB, Hurley PJ: Change in myocardial blood flow and S-T segment elevation following coronary artery occlusion in dogs. *Circulat Res* **36**: 697, 1975
- 15) Heyndrickx GR, Millard RW, MiRitchie RJ, Maroko PR, Vatner SF: Regional myocardial function and electrophysiological alterations after brief coronary artery. *J Clin Invest* **56**: 978, 1975