

運動負荷心エコー図による
心予備能の評価：虚血性心
疾患と健常例との対比

Evaluation of cardiac
reserve in patients with
angina pectoris by dy-
namic exercise echocar-
diography

水谷 泰樹
中野 佐上
岩瀬 敬紀
佐本 哲男
藤浪 隆夫

Yasuki MIZUTANI
Sagami NAKANO
Takanori IWASE
Tetsuo SAMOTO
Takao FUJINAMI

Summary

To evaluate cardiac reserve in patients with angina pectoris, 10 healthy control subjects and 15 patients with angina pectoris were examined by exercise echocardiography. Exercise on the bicycle ergometer in supine position was imposed at 25 watts per min initially and the exercise was increased by 25 watts every 3 min until attainment of either maximal predicted heart rate or ST segment depression in the electrocardiogram (ECG) or appearance of severe chest pain. Blood pressure, two-dimensional echocardiogram at the level of the papillary muscle in the short-axis view (Fig. 1) and 12 leads ECG were recorded at the end of each exercise level. Cardiac response to the exercise was evaluated by blood pressure, areas of left ventricular cavity at the end diastole and end systole, percent change of the area, ejection fraction and mVCF, as shown in Figs. 2, 3 and 4. From these parameters, the behavior of cardiac response to exercise was divided into four types (cf. Fig. 5).

Type A: left ventricular volume was increased slightly at the initial stage of exercise, and thereafter, the cardiac response was maintained by a gradual increase of myocardial contractility.

Type B: initial response to exercise was similar to type A, but cardiac output was maintained only with an increase of heart rate in further exercise load.

Type C: left ventricular contractility and volume were changed little throughout exercise test.

Type D: decreased left ventricular contractility and increased left ventricular volume were observed from 25 watts load of exercise.

Most of the control subjects responded as type A. Patients with angina who underwent 125 watts exercise showed type B response, while those who tolerated only 75 watts exercise revealed type C or type D (Table 1). The latter indicates decreased cardiac reserve to exercise. From the results of

名古屋市立大学医学部 第三内科
名古屋市瑞穂区瑞穂町字川澄1 (〒467)

The Third Department of Internal Medicine, Na-
goya City University, Medical School, Mizuho-cho,
Mizuho-ku, Nagoya 467

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981

Received for publication November 11, 1981

10 patients who showed ST depression during exercise, deterioration of left ventricular contractile function appeared before ST segment depression, indicating that a change in mechanical pump function preceded electrical function of the myocardium (Fig. 6).

It may be concluded that serial changes of cardiac parameters obtained from dynamic exercise echocardiography with an area-based method is useful to identify decreased cardiac reserve in patients with angina pectoris.

Key words

Supine ergometer exercise

Two-dimensional echocardiography

Cardiac reserve

はじめに

虚血性心疾患症例の左心機能の評価にはその予備能を知ることが重要で、この目的のため、運動時に心エコー図を用いた研究報告もみられるようになった^{1,2)}。運動負荷時の心エコー図の評価には、運動中の心臓軸の変化、呼吸の影響、トランスデューサーの固定法等の問題点はあるが、形態の変化をとらえ、計測し得る点から、心機能予備能の判定に有用な手段と考える。そこで我々は心筋梗塞の既往のない労作性狭心症の患者に自転車エルゴメーターを用いて運動負荷試験を施行し、断層心エコー図を記録して、運動に対する心反応様式を健常者のそれと比較検討した。

対象および方法

対象は安静時にはアシンナジーのない労作性狭心症 15 例 (男 12 例, 女 3 例, 平均年齢 53.4 歳) で全例洞調律である。対照として心疾患を有さない健常男子 10 例, 平均年齢 26.5 歳を選んだ。

被検者に仰臥位自転車エルゴメーター運動負荷試験を施行し、超音波心断層装置 (東芝製 SSH-11A) を用いて乳頭筋レベルで左室短軸断層像を描出し、ビデオテープ (ビクター製 CR-6060) に収録した。超音波ビームは原則として第 3 あるいは第 4 肋間胸骨左縁より挿入し、良好な画像が得られるようにトランスデューサーを手で固定し、同時に左室短径の M モード心エコー図をラインスキャンレコーダー (東芝製 LSR-20A) を用い記録した。紙送り速度は 50 mm/sec で、心音図、

心電図第 II 誘導とともに記録し、左室駆出時間、心拍数を求めた。また 12 誘導心電図を各負荷段階で記録し、ST 変化をチェックし、血圧もカフ法にて各段階ごとに測定した。

ビデオテープに収録した左室短軸断層像はディスクビデオ (ソニー製) に撮り直し、その像をスローモーション、ストップモーション、コマ送りで観察して、収縮末期と拡張末期の左室心内膜面を決定し、それぞれトレースした (Fig. 1)。そのトレースした断面よりジキタイザー (Fair Field CT) を用い、左室内径 (LVDd, LVDs) と面積 (Area D, Area S) を計測した。トレースは熟練者 3 人が各自施行し、内径と面積はそれらの値の平均値をとり、負荷前、負荷中の各収縮性指標を算出した。なお面積変化率 (% Area change) は $[(\text{Area D} - \text{Area S}) / \text{Area D}] \times 100$, EF, mVcf は左室内径と左室駆出時間より計算した。エルゴメーターは電子制動型 (建部製 EM-401A) を使用し、負荷法は毎分 50 回転で 3 分ごとに 25 watts ずつ増加する多段階漸増式を用いた。負荷量は狭心痛が誘発されるか、下肢の筋肉の疲労により続行が不可能になるまでとした。健常者は 150~175 watts まで施行し得たが (以下健常者群)、狭心症群では 75 watts まで負荷できた 8 例, 平均年齢 58.9 歳 (以下 75 watt 群) と 100~125 watts までできた 7 例, 平均年齢 46.5 歳 (以下 125 watt 群) の 2 群に分けた。

結 果

負荷前、負荷中の諸指標の変化

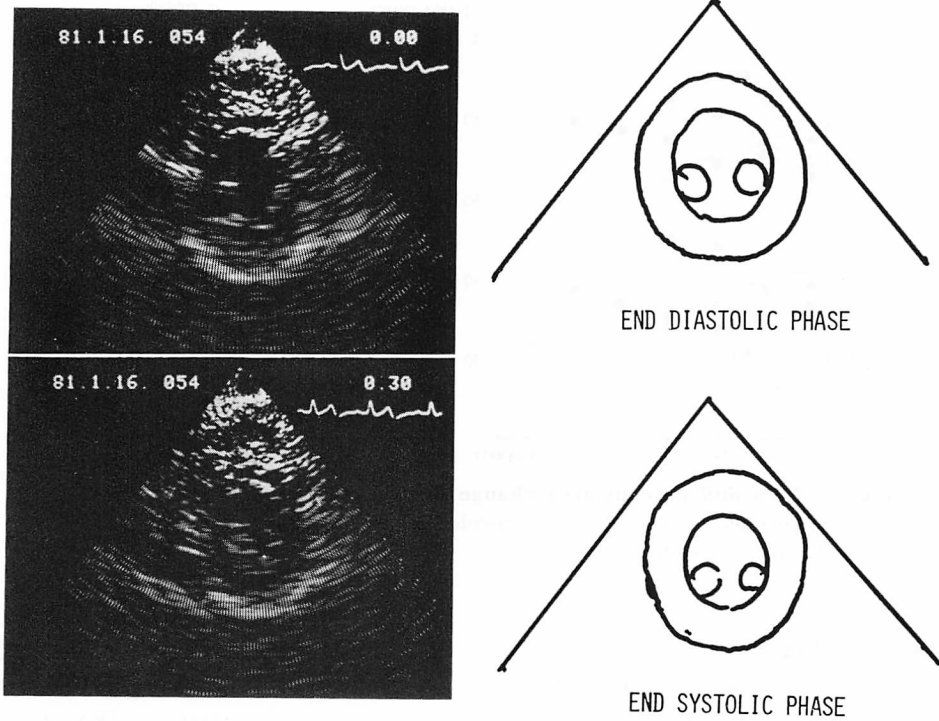


Fig. 1. Two-dimensional echocardiographic images and their endocardial traces at the end diastole and end systole at the papillary muscle level.

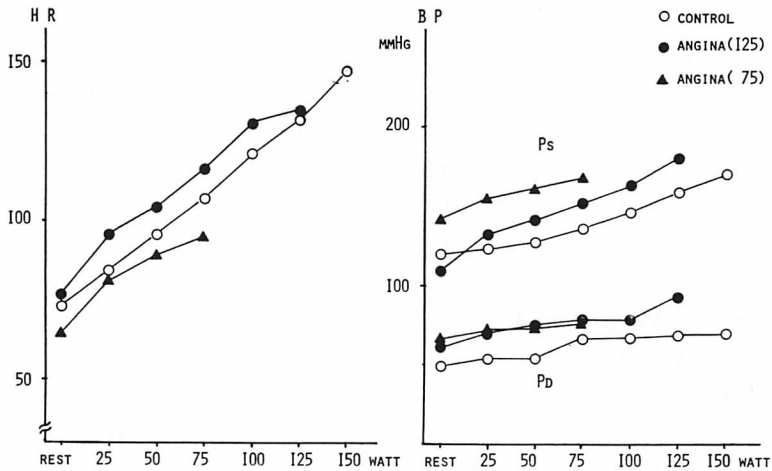


Fig. 2. Changes in the heart rate and blood pressure during exercise.

The patients are divided into two groups according to the load; 75 watts load (dark triangle) or 125 watts load (closed circle).

HR=heart rate; Ps=systolic blood pressure; Pd=diastolic blood pressure.

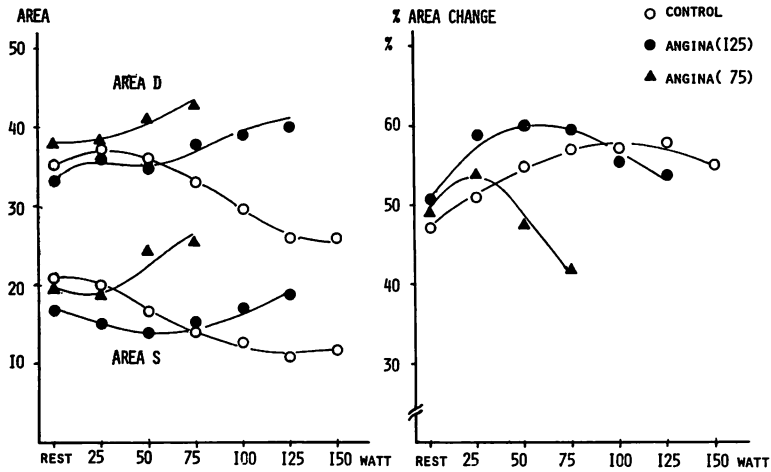


Fig. 3. Area and percent area change during exercise.

Note a marked increase of left ventricular volume in patients with angina.
D=diastole; S=systole.

1. 心拍数と血圧 (Fig. 2)

負荷前の心拍数は 75 watt 群で 64.7 ± 6.8 と 125 watt 群, 健常者群と比べ少ない傾向にあったが, 3 群とも負荷量の増大とともに急速に上昇した. 狭心症群では亜最大負荷に近づくとその増加度は減少傾向を示した.

拡張期圧は 3 群ともその上昇度は少なかったが, 収縮期圧は負荷量の増加に伴って増加した. 健常者群は若年男子を選んでいるため, 全般に低値を示したが, 狭心症群では負荷早期に収縮期圧は上昇し, 75 watt 群の 75 watts 負荷にて 168 ± 32 mmHg, 125 watt 群の 125 watts で 180 ± 40 mmHg と健常者の 150 watts の血圧値 170 ± 20 mmHg により少ない負荷量で達した.

2. 左室短軸像面積とその変化率 (Fig. 3)

左室拡張末期断面面積 Area D は健常者群では 25 watts 負荷で 37.4 ± 5.4 cm² と前値 35.7 ± 4.6 cm² と比べ軽度増大するが, 以後負荷の増加に伴い徐々に減少し, 150 watts では 26.3 ± 2.5 cm² となった. 125 watt 群は 50 watts まで健常者群に似た反応 (前; 33.4 ± 5.0 cm², 25 watts; 37.0 ± 3.9 cm², 50 watts; 35.3 ± 2.1 cm²) を呈した

が, 以後漸次増大し 75 watts 以上では健常者群と有意差 ($p < 0.1$) を認めた. 75 watt 群では健常者群と比較し, 安静時より 38.8 ± 6.8 cm² と有意 ($p < 0.1$) に大きく, 負荷初期より増大の一途をたどった.

左室収縮末期断面面積 Area S は, 健常者群では徐々に縮小し, 安静時 20.9 ± 3.3 cm² から 175 watts で 11.7 ± 1.5 cm² へと減少した. 125 watt 群は安静時 16.4 ± 2.3 cm² から 50 watts で 14.1 ± 1.1 cm² へと減少したが, 以後拡大し 125 watts で 18.3 ± 3.4 cm² となった. 75 watt 群では 50 watts より著明に拡大し, 安静時の 19.9 ± 8.7 cm² から 75 watts の 25.5 ± 13.3 cm² に増加して他の 2 群との間に有意差 ($p < 0.005$) を認めた.

% Area change (収縮末期と拡張末期面積の変化率)は健常者群では負荷量増大に伴い漸増し, 安静時の $48.0 \pm 5.0\%$ から 125 watts の $58.3 \pm 4.4\%$ となり, 175 watts で $55.3 \pm 4.8\%$ と軽度低下したが, 安静時に比較すると有意 ($p < 0.005$) に増加していた. 125 watt 群は 50 watts で最大値を示し, 以後徐々に低下した. 125 watts で $54.1 \pm 6.3\%$ となったが健常者群と同様, 安静時

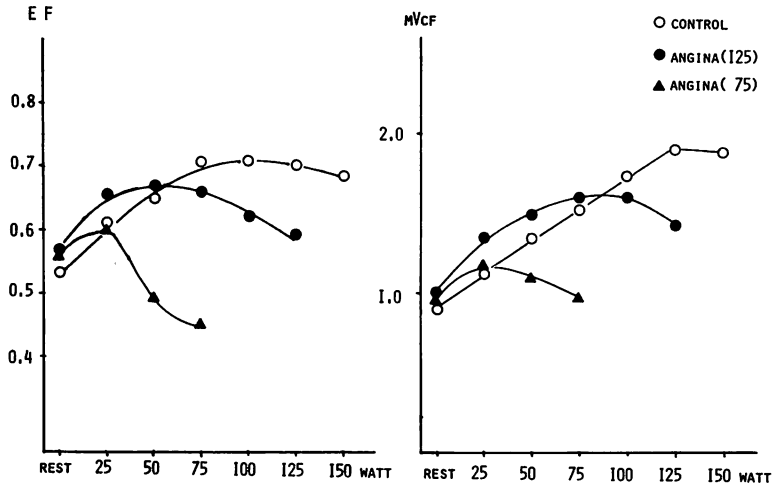


Fig. 4. Changes in ejection fraction and mean mVCF in the course of exercise.

Note decreased myocardial contractility in patients with angina pectoris, particularly in patients who tolerate only 75 watts load.

の $50.3 \pm 7.9\%$ と比較すると有意 ($p < 0.05$) に増加していた。75 watt 群では安静時 $50.2 \pm 13.4\%$ から 25 watts で軽度増加したが、75 watts では $44.3 \pm 16.3\%$ となり安静時より低くなる傾向にあった。

3. EF と mVCF (Fig. 4)

EF は健常者群で安静時 0.53 ± 0.06 から負荷量 75 watts で 0.64 ± 0.06 と最大値を示し、以後 150 watts の 0.67 ± 0.05 まで不変であった。125 watt 群は安静時 0.57 ± 0.08 が負荷量 50 watts で 0.67 ± 0.04 と最大値となり、以後漸減し 125 watts では 0.59 ± 0.06 とほぼ安静時に近い値になった。75 watt 群では安静時 0.56 ± 0.14 から 25 watts で、 0.60 ± 0.02 と軽度上昇するも以後は激減し、75 watts で 0.45 ± 0.13 と安静時より低くなる傾向にあった。

mVCF は健常者群で安静時 0.93 ± 0.13 から 125 watts の 1.90 ± 0.36 まで直線的に増加し、150 watts では 1.89 ± 0.45 と 125 watts と同値を示した。125 watt 群では安静時の 1.00 ± 0.19 から徐々に増加し、75 watts で 1.60 ± 0.14 、100 watts で 1.60 ± 0.20 とプラトーを形成し、

125 watts で 1.43 ± 0.13 と軽度低下した。75 watt 群では安静時 0.95 ± 0.28 が 25 watts で 1.16 ± 0.37 と軽度増加する傾向があったが、以後低下し 75 watts では 0.79 ± 0.39 となった。

4. 運動負荷に対する心反応様式 (Fig. 5)

今回我々が対象とした 25 例の運動負荷に対する心反応様式を、Fig. 5 に示すごとく 4 型に分け得た。Type A では Area D は負荷初期軽度拡大するも以後 Area S と同様徐々に縮小し、% Area change, EF, mVCF は負荷量増大とともに増加した。亜最大負荷に達すると % Area change, EF, mVCF は低下し、同時に Area S, Area D も拡大した。Type B では Area D は負荷初期に軽度拡大するが、以後縮小せずそのままの大きさを保ち Area S のみ縮小した。% Area change, EF, mVCF は負荷とともに増加するが、すぐにプラトーに達し、亜最大負荷に近づくと % Area change, EF, mVCF は低下し、Area D, Area S は拡大した。Type C では負荷に対し、各パラメーターはほとんど変化せず、亜最大負荷に近づくと % Area change, EF, mVCF は低下し、Area D, Area S が拡大した。Type D では Area D,

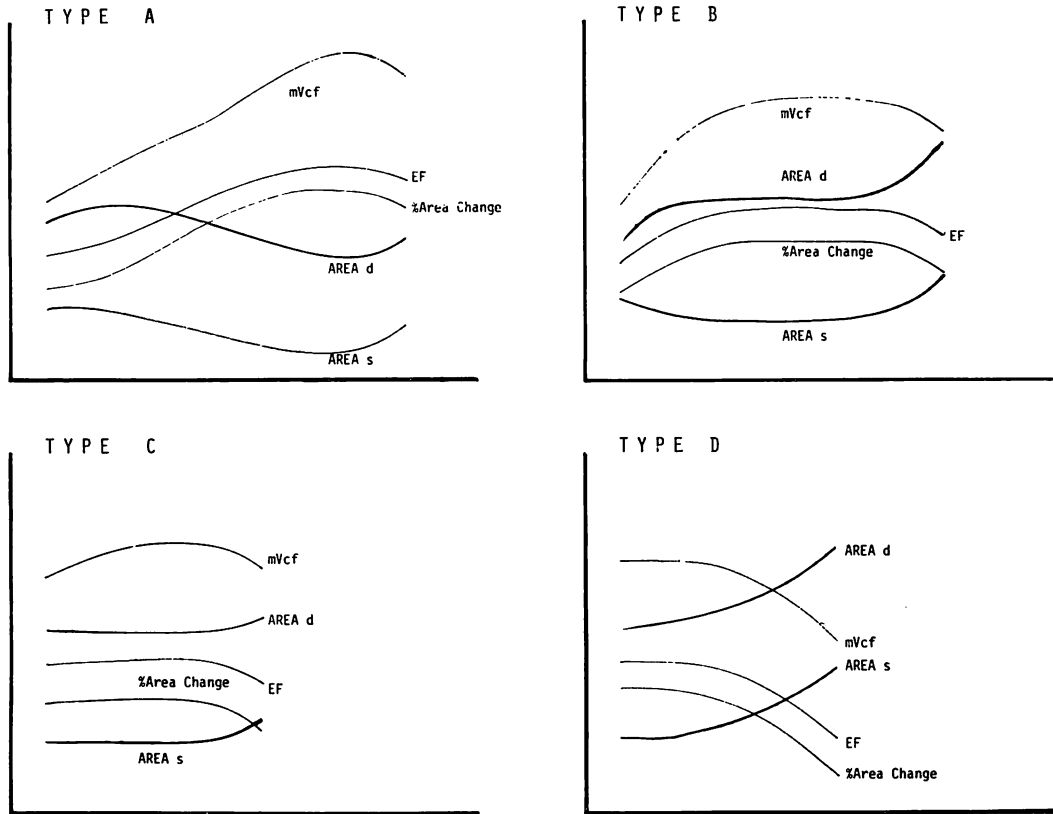


Fig. 5. Four types of cardiac response for exercise.

Area S は負荷初期より拡大の一途をたどり, % Area change, EF, mVCF は徐々に低下した.

Table 1 は対象の type 別の分布を示す. 若年健康常者は type A と type B に, 狭心症の 125 watt 群は type B と type C に, 75 watt 群は type C と type D に含まれていた.

5. 心電図 ST 変化と収縮性の変化

運動負荷中に ST 低下を認めた症例は 10 例 (125 watt 群 4 例, 75 watt 群 6 例) あり, それらは Area D と Area S が拡大し, % Area change や EF, mVCF が低下してから生じた. その 1 例を Fig. 6 に呈示する. 56 歳の男性で, ほぼ同時期に施行した運動負荷心筋イメージ法で, 運動直後には前壁中隔と下壁にイメージの欠損を認め, 4 時間後の両分布像で欠損は消失した. 25 watts で

Area S が小さくなり % Area change が上昇するも, 50 watts ですでに Area S が大きくなり

Table 1. Frequency distribution of four types of cardiac response in control and patients with angina

Type	Control (N=10)	Angina (125) (N=7)	Angina (75) (N=8)
A	8 (80%)		
B	2 (20%)	5 (71%)	
C		2 (29%)	2 (25%)
D			6 (75%)

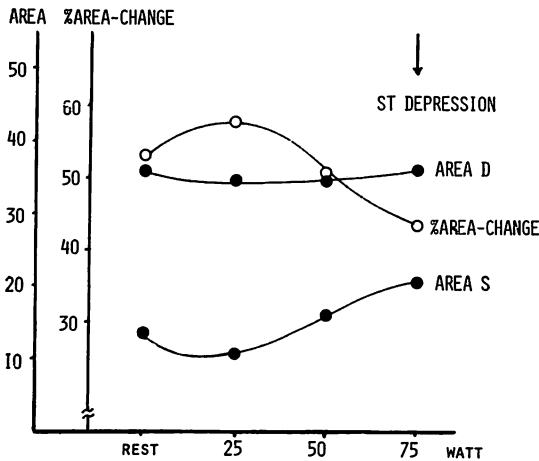


Fig. 6. Changes of cardiac parameters in a patient (56-year-old man) who demonstrates ST depression at 75 watts load.

Note deterioration of left cardiac function precedes electrocardiographic deterioration.

始め、% Area change も徐々に減少し、収縮性は低下してきていた。75 watts ではさらに収縮性は低下したが、その時点で心電図 ST が低下し、運動負荷を中止した。

考 察

労作性狭心症の安静時の心機能は正常範囲内の場合が多く、労作に対する心予備能を知るためには、運動負荷によりその間の収縮性指標を求めることが必要である。この目的のために最近種々の方法が施行されているが、その中で超音波心断層法を用いる運動負荷エコー法は実時間で心室の壁運動を経時的かつ詳細に観察できる利点を持つ有用な手段と考える。そこで我々は労作性狭心症の患者に仰臥位自転車エルゴメーター負荷試験を施行し、運動に対する心反応様式を健常者のそれと比較検討した。

心室筋の虚血時の壁動態、とくにアシナジーに関する動物実験、臨床的研究³⁻⁵⁾は数多く出されており、心筋の虚血は左室全体の機能低下と同時に局所機能も低下し、壁の異常運動を来すことが知

られている。したがって、運動負荷テストによってアシナジーの出現が予想される虚血心の心予備能を、Mモード心エコー図のみで評価することは問題があり、最近では断層心エコー図法による評価が試みられている。

Moynihan ら⁶⁾は左室壁の異常運動を定量的に評価するため、断層心エコー図法を用いて僧帽弁レベル、乳頭筋レベルでの左室短軸像を詳細に分析し、僧帽弁レベル、あるいは乳頭筋レベルの固定軸 area method はその再現性と変動率に差がなかったと述べている。Parisi ら⁷⁾は area method は linear method よりも局所収縮能を評価する正確さの点で優れていると報告している。また Gueret ら⁸⁾は左冠動脈前下行枝の閉塞実験で僧帽弁レベルでは壁異常運動が出現しにくいこと、収縮末期容積と左室駆出率のシネ左室造影法との対比で、乳頭筋レベルのほうが僧帽弁レベルよりもよい相関が得られたと述べている。Crawford ら⁹⁾はエコー図法で負荷方法による差、すなわち臥位と立位の自転車エルゴメーター運動負荷に対する反応を検討しているが、その中で臥位は安静時には LVDd が立位よりも大きい、% LVD, LVDs, Ps (収縮期血圧) はほぼ等しく、運動に対する変化は同じパターンをとることを示している。これらのことから超音波心断層装置にて乳頭筋レベルの左室短軸像による area method は、運動負荷に対する虚血心の心応答性を評価するに適すると考える。

今回の労作性狭心症例は負荷量により 75 watts までできた 75 watt 群と、100~125 watts までできた 125 watt 群の 2 群に分かれた。健常者群と 125 watt 群は予測心拍数 (THR) の約 85% まで達したが、75 watt 群では 95.5 ± 12.0 と THR (140) に比べて低値であった。しかし、心電図上 ST 低下や胸部痛がこの群では全例に出現しており、強い心筋の虚血により著しい心予備能の低下を示している。

血圧の反応は収縮期血圧は運動量に比例して上昇したが、拡張期血圧は軽度しか変化せず諸家の

報告に一致した。

我々は運動負荷に対する心応答性を左室拡張末期断面積 (Area D), 収縮末期断面積 (Area S) と収縮性指標の % Area change, EF, mVCF の変化より 4 型に分類し得た。

Type A は左室拡張期容積の負荷初期の軽度増大と, % Area change に示されるごとく左室収縮性の増加により運動に対応する。負荷初期の左室容積の増大は還流血液量の増加により compliance が保たれ, Starling 効果の動員を示すと考えられる。これには健常者群しか含まれておらず心予備能が十分存在し, 運動に対する正常反応様式と考える。

Type B は負荷初期から中期にかけて type A と類似の反応を示すものの, 中期から後期にかけて左室容積, 心収縮性の指標はプラトーを形成し, 運動に対する心拍出量の増加を心拍数の増加に依存し, 心収縮力の動員に限界を認めるタイプである。このタイプには健常群の 20% と 125 watt 群の 71% が含まれて, 心筋虚血とともに加齢の影響も考慮しなければならない。

Type C は負荷初期から後期にかけて左室容積, % Area change がほとんど変化しないタイプで, 安静時より左室容積の大きなものが多く, 少ない負荷量で収縮性は低下し, 左室容積は一層増大する。明らかに心予備能の低下を示す。

Type D は負荷初期より収縮性の指標は減少し, 左室容積は増大してしまうもので, 心予備力の最も少ないタイプと考える。Type C には 125 watt 群の 29% と 75 watt 群の 25% が, type D には 75 watt 群の 75% が含まれており, 広範な心筋虚血により心収縮力が低下したものと考える。

運動負荷中の左室内径と収縮性指標に関しては種々報告されている。Zwehl ら¹⁰⁾は断層心エコー図法による健常者の 125 watts までの運動負荷で, 収縮末期面積 (Area S) は小さくなるが拡張末期面積 (Area D) は不変で, % Area change が上昇すると述べている。杉下ら¹¹⁾は心疾患例を

心機能分類 (NYHA) により I~III 度に分け, 心拍数 100/min までの運動負荷を行い, それぞれ左室径と mVCF の変化を観察している。健常者および心疾患 I 度の一部は運動時 Dd は減少し mVCF は増加, I 度のかかなり多くの例は運動時 mVCF 増加とともに Dd も軽度増加, II 度の多くは運動中 mVCF は不変ないしやや増加し Dd も増加, III 度の多くの安静時 Dd は大きく運動時それは増加ないし軽度増加傾向を示し, mVCF は低下したと報告している。Zwehl らの健常者の心応答性は我々の分類の type A と type B の中間に位置し, 杉下ら¹¹⁾の報告での健常者と I 度の一部は type A に, I 度の多くは type B に, II 度の多くは type B と type C の中間, あるいは type C に, III 度は type C あるいは type D にそれぞれ相当すると考えられる。

以上のように運動負荷に対する左室容積, 収縮性は心予備力の差により, またその負荷量の程度により異なると予想され, その結果の判定には今回のごとく各負荷段階で各指標を計測し, その変動様式をみることに有用と考える。

また, 冠疾患の心予備能を求めるさいに, 加齢の影響を考慮しなければならない。今回の対照とした健常者は平均年齢 26.5 歳の男子で, 虚血群と対比するには不適である。Port ら¹²⁾は最大負荷時の EF は加齢とともに減少すると述べており, 今後は虚血の心機能への影響を年齢に対応した健常者と検討する必要がある。

最後に虚血心の運動負荷時の変化として, アシナジーや収縮性の低下, すなわち機械的变化と心電図 ST 低下という電気的变化のいずれが先に出現するかについて, 従来より関心が持たれてきた。今回の研究では 10 例に ST が低下したが, そのいずれも収縮性指標が低下してから出現しており, 機械的变化が先行した。Mason ら¹³⁾は左室の収縮性の低下, アシナジーの出現のほうが電気的变化より早いと述べており, 我々の成績と一致している。また Heyndrickx ら¹⁴⁾は冠動脈を

結紮し、再開通させる実験で、機械的機能のほうが電気的変化よりも回復が遅れると報告している。今回はこの回復過程については計測していないが、今後検討を加えたいと考えている。

結 語

虚血性心臓病の労作に対する心予備力を評価する目的で、労作性狭心症 15 例、健常男子 10 例に臥位自転車エルゴメーターによる運動負荷を行い、断層心エコー図法により検討した。左室乳頭筋レベルの短軸断層面の計測により、運動負荷に対する心反応様式を次の 4 型に分類し得た。

Type A: 左室拡張期容積が負荷初期に軽度拡大するが、以後心収縮性の増加により運動に対応する。健常者の大部分がこの様式を示し、正常の心応答様式と考える。

Type B: 負荷中期までは type A と類似の反応を示すが、以後心拍出量の増加を心拍数の増加で対応する。健常者の一部と 125 watts まで運動の可能であった狭心症例の一部が含まれた。

Type C: 負荷初期から後期にかけて左室容積、収縮性はほとんど変化しない。

Type D: 負荷初期より収縮性は低下し、左室容積は拡大する。

狭心症患者は type C と type D に多く、虚血による左室収縮予備力の低下を示した。また、運動負荷中心電図 ST の低下を認めた症例は 10 例あった。左室の収縮力が低下し、左室腔の拡張が遅れて心電図変化を生じ、機械的変化は電気的変化より早く出現した。

要 約

虚血性心臓病の労作に対する心予備能を評価する目的で、労作性狭心症 15 例、健常男子 10 例に臥位自転車エルゴメーターによる運動負荷を施行した。負荷法は毎分 50 回転で 3 分ごとに 25 watts ずつ増加していく多段階漸増式を用い、負荷量は予測心拍数に達するか、心電図上 ST の低下、あるいは胸部痛が出現するまでとした。各負荷段階

ごとに超音波心断層装置にて乳頭筋レベルの左室短軸像を、M モード心エコー図、心音図、12 誘導心電図、血圧とともに記録した (Fig. 1)。そして Figs. 2~4 に示すごとく、各負荷段階ごとに左室拡張末期断面積、収縮末期断面積、その変化率、mVCF を求め、これらの各指標の運動負荷に対する変動様式より心応答性を大きく 4 型に分けた (Fig. 5)。Type A: 左室拡張期容積が負荷初期に軽度拡大するが、以後心収縮性の増加により運動に対応する。Type B: 負荷中期までは type A と類似の反応を示すが、以後心拍出量の増加を心拍数の増加で対応する。Type C: 負荷初期から後期にかけて左室容積、収縮性はほとんど変化しない。Type D: 負荷初期より収縮性は低下し、左室容積は拡大する。健常者の大部分は type A に含まれ、これは正常の心応答様式と考える。一方、労作性狭心症は 125 watts まで負荷できた群 (以下 125 watt 群) と 75 watts までの群 (以下 75 watt 群) に分かれたが、125 watt 群は type B と type C に、75 watt 群は type C と type D 型にそれぞれ含まれていた (Table 1)。そして type C、type D は心予備能が低下した状態で、狭心症群は広範な心筋虚血により収縮力が低下したものと考える。また今回の研究では、運動中心電図 ST の低下が 10 例に認められたが、そのいずれも収縮性指標が低下してから出現しており、機械的変化が電気的変化に先行した。以上、断層心エコー図法により得られる心収縮性諸指標と容積の運動負荷に対する変動様式を検討することは、虚血性心臓病の予備能の評価に有用であった。

文 献

- 1) Morganroth J, Chen CC, David D, Sawin HS, Naito M: Exercise cross sectional echocardiographic diagnosis of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 45: 404, 1980
- 2) Sugishita Y, Koseki S: Dynamic exercise echocardiography. *Circulation* 60: 743-752, 1979
- 3) Jengo JA, Oren V, Conant R, Brizendine M, Nelson T, Uszler JM, Mena I: Effects of maximal

- exercise stress on left ventricular function in patients with coronary artery disease using first pass radionuclide angiocardigraphy. *Circulation* **59**: 60-65, 1978
- 4) Kisslo JA, Robertson D, Gilbert BW, Ramm OV, Behar VS: A comparison of real-time, two-dimensional echocardiography and cineangiography in detecting left ventricular asynergy: *Circulation* **55**: 134-141, 1977
 - 5) Weiss JL, Bulkley BH, Hutchins GM, Mason SJ: Two-dimensional echocardiographic recognition of myocardial injury in man: comparison with postmortem studies. *Circulation* **63**: 401-408, 1981
 - 6) Moynihan PF, Parisi AF, Feldman CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography. 1. Analysis of methods. *Circulation* **63**: 752-750, 1981
 - 7) Parisi AF, Moynihan PF, Folland ED, Feldman CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography. II. Accuracy in coronary artery disease. *Circulation* **63**: 761-767, 1981
 - 8) Gueret P, Meerbaum S, Wyatt HL, Uchiyama T, Lang T, Corday E: Two-dimensional echocardiographic quantitation of left ventricular volumes and ejection fraction. Importance of accounting for dyssynergy in short-axis reconstruction models. *Circulation* **62**: 1308-1318, 1980
 - 9) Crawford MH, White DH, Amon KW: Echocardiographic evaluation of left ventricular size and performance during handgrip and supine and upright bicycle exercise. *Circulation* **59**: 1188-1206, 1979
 - 10) Zwehl W, Gueret P, Meerbaum S, Holt D, Corday E: Quantitative two dimensional echocardiography during bicycle exercise in normal subjects. *Am J Cardiol* **47**: 866-873, 1981
 - 11) Sugishita Y, Koseki S, Matsuda M: Evaluation of left ventricular reserve by dynamic exercise echocardiography. *J Cardigraphy* **10**: 689-696, 1980 (in Japanese)
 - 12) Port S, Cobb FR, Coleman RE, Jones RH: Effect of age on the response of the left ventricular ejection fraction to exercise. *N Engl J Med* **303**: 1133-1137, 1980
 - 13) Mason SJ, Weiss JL, Weisfeldt ML, Garrison JB, Fortuin NJ: Exercise echocardiography. Detection of wall motion abnormalities during ischemia. *Circulation* **59**: 50-59, 1979
 - 14) Heyndrickx GR, Willand 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**: 978-985, 1975