

左室形状より分類した高血
圧症の運動負荷心エコー図：
とくに肥大型心筋症と対比
して

Exercise echocardiogra-
phy in different types of
hypertension classified
by left ventricular geo-
metry: Comparison with
hypertrophic cardiomyo-
pathy

浅井 幹夫
大木 崇
河原 啓治
竹村 晴光
福田 信夫
坂井 秀樹
富永 俊彦
村尾 明之
大島千寿子
仁木 敏晴
森 博愛

Mikio ASAI
Takashi OKI
Keiji KAWAHARA
Harumitsu TAKEMURA
Nobuo FUKUDA
Hideki SAKAI
Toshihiko TOMINAGA
Akiyuki MURAO
Chizuko OHSHIMA
Toshiharu NIKI
Hiroyoshi MORI

Summary

We investigated left ventricular (LV) function in 40 patients (pts) with hypertension (HT), 16 pts with hypertrophic cardiomyopathy (HCM), 3 pts with ASH and HT and in 27 control subjects by M-mode echocardiography using supine exercise (50 watts, 3 minutes).

The hypertensive subjects were echocardiographically divided into three subsets; the normal LV (17 cases), the hypertrophied LV (17 cases) and the dilated LV (6 cases). Similarly, pts with HCM were echocardiographically and cineangiographically divided into three subsets; ASH (asymmetric septal hypertrophy, 6 cases), APH (predominant apical hypertrophy, 6 cases) and DFH (diffuse left ventricular hypertrophy, 4 cases).

1. Changes of left ventricular dimension

1) Controls and HT: Stroke volume was increased during exercise in the controls, normal LV

徳島大学医学部 第二内科
徳島市蔵本町 2-50 (〒770)

The Second Department of Internal Medicine, School
of Medicine, The University of Tokushima, Kuramo-
to-cho 2-50, Tokushima 770

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981
Received for publication January 19, 1983

and hypertrophied LV groups by decreasing LV end-systolic dimension (LVDs), but it was increased in dilated LV group by increasing LV end-diastolic dimension (LVDD) (Frank-Starling mechanism).

LVDD was increased transiently in the controls and normal LV group during recovery, but its grade and duration were more pronounced in the latter. LVDD did not change significantly in hypertrophied and the dilated LV groups.

2) HCM: LVDD and LVDs did not change significantly during exercise in all 3 groups. LVDD was increased transiently during recovery in ASH group, but not in the other groups.

2. Changes of peak velocity of circumferential fiber shortening (Vcf) and the ratio of peak systolic blood pressure to LV end-systolic volume (PSP/LVVs)

1) Controls and HT: Peak Vcf was increased during exercise most markedly in the normal LV group, but it was not increased in the dilated LV group. PSP/LVVs was increased significantly during exercise in the controls, the normal and hypertrophied LV groups, but not in the dilated LV group.

2) HCM: Peak Vcf showed a significant increase during exercise in ASH group, but not in the other two groups.

3. Changes of the D/S ratio

The ratio of systolic to diastolic velocity of the LV posterior wall was expressed as a D/S. This ratio did not change significantly in the controls, HT and APH groups, but it was decreased significantly in ASH and DFH groups.

4. LV end-systolic wall stress and LVDs relationship (ESWst-LVDs)

An excellent linear correlation was observed between ESWst and LVDs at rest in the controls and HT. Changes of the slope of the regression lines produced by exercise were considered to be useful for the evaluation of LV function with different ventricular geometry.

It was concluded that changes of LV function caused by exercise are closely related to LV geometry in pts with HT and HCM.

Key words

Exercise echocardiography mechanism	D/S ratio	Hypertension Peak Vcf	Hypertrophic cardiomyopathy	Frank-Starling
-------------------------------------	-----------	-----------------------	-----------------------------	----------------

はじめに

高血圧症 (hypertension: HT) では慢性圧負荷により左室壁が肥厚することが知られている。しかしその肥厚様式は種々であり、本症の左心機能評価のさいには、左室形状を考慮して検討することが必要である^{1,2)}。

本研究では、M モード心エコー図および断層心エコー図を用いて HT の左室壁の肥厚様式を検討し、各病態における左心機能の運動負荷に対する反応について観察した。また、多彩な左室壁肥厚様式を示す肥大型心筋症 (hypertrophic cardiomyopathy: HCM) とも比較した。

対 象

研究対象は収縮期血圧 160 mmHg 以上あるいは拡張期血圧 90 mmHg 以上の未治療 HT 40 例、非閉塞性 HCM 19 例および正常例 (control) 27 例である (Table 1)。

HT 群は M モード心エコー図による Toshima ら¹⁾ の分類に従って、正常の左室形状を有する左室正常型高血圧症群 (normal LV, 17 例)、左室壁肥厚を有する左室肥大型高血圧症群 (hypertrophied LV, 17 例) および左室内腔拡大を有する左室拡大型高血圧症群 (dilated LV, 6 例) の 3 群に分類した。

非閉塞性 HCM 群については、断層心エコー図あるいは左室造影所見により主要な肥厚部位を

Table 1. Classification of the subjects

Diagnosis	No. of case	Age
Hypertension		
With the normal left ventricle (normal LV)	17	(yrs) 43±13
With left ventricular hypertrophy (hypertrophied LV)	17	47±10
With left ventricular dilation (dilated LV)	6	39±13
Hypertrophic cardiomyopathy (non-obstructive)		
Asymmetric septal hypertrophic type (ASH)	6	37±14
Apical hypertrophic type (APH)	6	45±11
Diffuse hypertrophic type (DFH)	4	48±7
Asymmetric septal hypertrophy with hypertension (ASH+HT)	3	48±10
Controls	27	30±10

検討し、Mモード心エコー図所見を加味して、非対称性心室中隔肥厚群 (asymmetric septal hypertrophic type, ASH, 6例)、心尖部肥厚群 (apical hypertrophic type, APH, 6例)、び慢性肥厚群 (diffuse hypertrophic type, DFH, 4例) の3群に分類し、さらに ASH+HT 群3例についても検討を加えた。

左室壁肥厚の評価については、ASH群はMモード心エコー図における左室拡張末期の心室中隔厚 15 mm 以上、左室後壁厚 11 mm 以下で、かつ心室中隔と左室後壁の壁厚比が 1.3 以上の例とした。DFH群は、拡張末期における心室中隔厚 15 mm 以上、左室後壁厚 12 mm 以上の条件をともに満たす例とした。また APH群は、断層心エコー図あるいは左室造影所見により主たる肥厚部位が心尖部にある例とした。正常および各群の安静時における左室壁厚および左室拡張末期径を **Table 2** に示す。

方 法

全例を軽度の左半側臥位とし、Mモード心エコー図法による通常的心尖部方向の心室中隔・左室後壁エコーグラム、II誘導心電図および心音図を同時記録しながら、50 watts (50回転/分)、3分間の単一運動負荷を行った。

記録は Aloka 製 SSD-110B および strip chart recorder (ECO-125S) を用い、安静時と運動負荷終了 15 秒前から終了後 3 分まで 50 mm/秒の紙送りで連続記録した (**Figs. 1, 2**)。

このさい、cuff型血圧計を用いて安静時、負荷時、負荷終了直後、1, 2 および 3 分後の血圧を

Table 2. The measurement values of the various M-mode echocardiographic parameters at rest

Group	IVSth (mm)	LVPWth (mm)	IVSth/LVPWth	LVDd (cm)
Controls	9.3±0.8	10.1±0.7	0.93	4.7±0.4
Normal LV	10.2±1.3	10.7±1.0	0.95	4.6±0.3
Hypertrophied LV	15.2±2.7	14.0±2.1	1.07	4.7±0.5
Dilated LV	9.8±0.7	11.9±0.7	0.82	5.8±0.2
ASH	18.9±3.7	10.6±1.7	1.80	4.2±0.3
APH	13.6±2.2	12.0±0.9	1.14	4.8±0.5
DFH	15.2±2.0	14.2±1.4	1.10	4.2±0.3
ASH+HT	18.5±1.6	10.0±0.2	1.85	4.5±0.2

(mean±S.D.)

IVSth=thickness of the interventricular septum at end-diastole; LVPWth=thickness of the left ventricular posterior wall at end-diastole; LVDd=left ventricular end-diastolic dimension. Other abbreviations are the same as shown in Table 1.

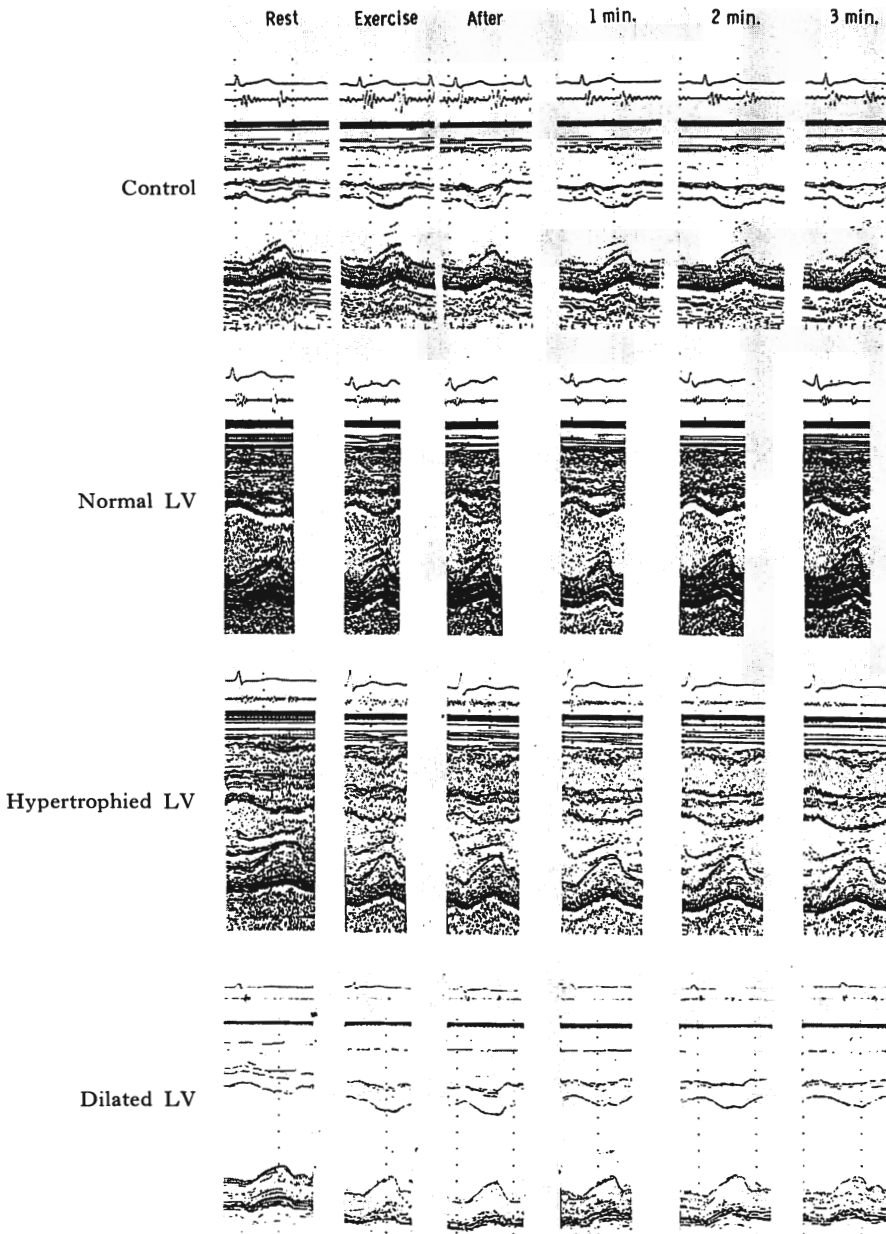


Fig. 1. Sequential records of M-mode echocardiogram at rest, during and after exercise in control and three groups of hypertension.

Exercise=during exercise; After=immediately after exercise. Other abbreviations are the same as shown in Table 1.

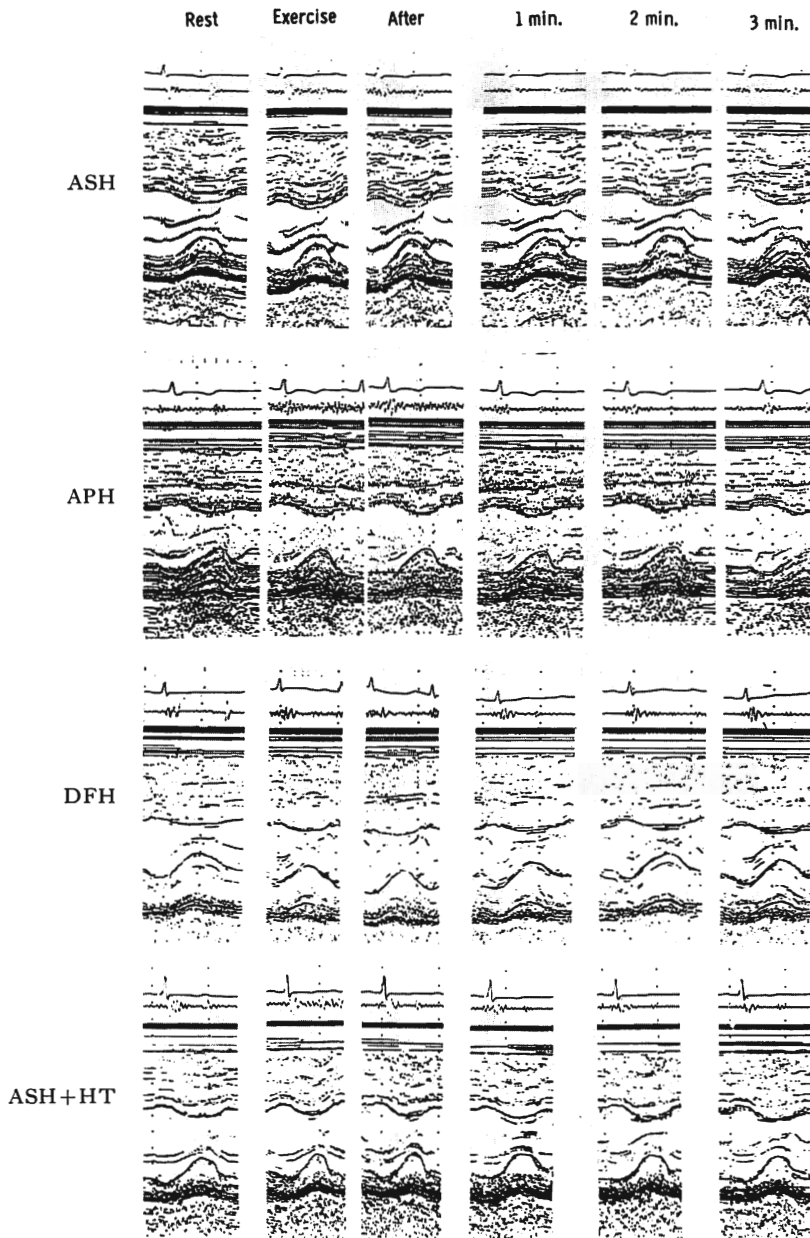


Fig. 2. Serial records of M-mode echocardiogram at rest, during and after exercise in each group.

Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

測定した.

運動負荷には Monark 製臥位 ergometer を用いた. 左室駆出時間および左室最大円周短縮速度の計測には Good Man 製 Medical Graphics Analyzer (TEAC-PS 80) を用いた.

心室中隔・左室後壁エコーグラムについて, 下記の諸項目を検討した. 計測は呼気終末の連続2心拍について行い, その平均値を用いた. なお有意差検定は同一群内ではすべて安静時の値と比較した. ASH+HT 群については, 例数が少なかったため統計的検討は行わなかった.

- 1) 心拍数: 同時記録した心電図の R-R 間隔より求めた.
- 2) 左室拡張および収縮末期径 (LVDd, LVDs): LVDd は心電図 R 波に一致する時点, LVDs は心音図 II 音に一致する時点で測定した.
- 3) D/S 比: 左室後壁エコーグラムを用い, 藤

野ら³⁾の方法により測定した.

4) 駆出時間 (ET): 中隔・後壁エコーグラムの左室内膜面を X-Y digitizer を用いてトレースし, 左室容積曲線を描かせ, その曲線の減少開始点から最小容積を示す時点までの時間を測定した (Fig. 3A).

5) 左室平均円周短縮速度 (mean Vcf): 次式により算出した.

$$\text{mean Vcf (circ/sec)} = \frac{\text{LVDd} - \text{LVDs}}{\text{LVDd} \cdot \text{ET}}$$

6) 左室最大円周短縮速度 (peak Vcf): 20 msec 間隔の左室内径変化曲線から得た左室円周短縮速度曲線の最大値を peak Vcf とした [Fig. 3(B)].

7) 最大収縮期血圧 / 左室収縮末期容積比 (peak systolic pressure/left ventricular end-systolic volume ratio, PSP/LVVs): 最大収縮期血

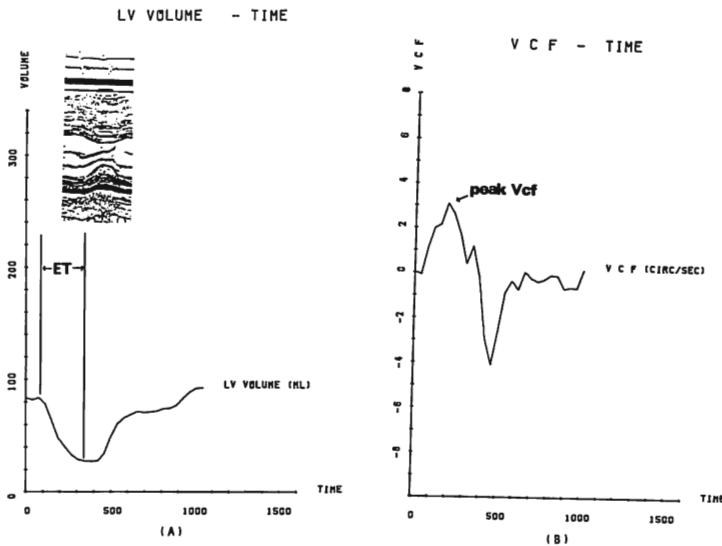


Fig. 3. Measurements of left ventricular ejection time (A) and peak velocity of circumferential fiber shortening (B).

(A) Computer plot of the left ventricular volume curve based on the left ventricular echocardiogram. Ejection time (ET) is measured from the beginning of the descending limb of the left ventricular volume curve to its nadir.

(B) Computer plot of the velocity of circumferential fiber shortening (Vcf) of the left ventricle. These curves are inscribed automatically by Good Man Medical Graphics Analyzer (TEAC-PS80).

圧 (PSP) は cuff 型血圧計を用い聴診法で測定した. LVVs は左室収縮末期径を用いて Teichholz の式により求めた.

8) 左室収縮末期壁応力 - 左室収縮末期径関係 (left ventricular end-systolic wall stress-end-systolic dimension relationship, ESWst-LVDs): 左室収縮末期圧としては収縮期血圧 (PSP) を用い⁴⁾, その時点において記録した心エコー図の LVDs および心室中隔・左室後壁厚から, 次式のごとく左室収縮末期壁応力 (ESWst) を算出した.

$$ESWst = \frac{PSP \cdot LVDs^2}{4 \cdot Wth \cdot (LVDs + Wth)} \text{g/cm}^2$$

Wth: 収縮末期の左室壁厚 [(中隔厚 + 後壁厚)/2]

結 果

1. 正常および各群の安静時における左室壁厚 (IVSth, LVPWth) と左室径 (LVDd)

Table 2 に各計測値を示す. これらの値を用い

て高血圧症 (HT) および肥大型心筋症 (HCM) の分類を行った.

2. 収縮期および拡張期血圧

収縮期血圧は運動負荷により全群で上昇し, 終了直後から低下したが, hypertrophied LV 群および dilated LV 群と APH 群では負荷終了1分後までに, control 群, normal LV 群および ASH 群は負荷終了2分後までに安静時の値に復帰した. 拡張期血圧はすべての群で負荷中は上昇したが, 負荷終了直後に安静時の値に復した [Figs. 4(A), (B)].

3. 心 拍 数

全群とも負荷により心拍数は増加し, 特に normal LV 群と dilated LV 群ではその程度が大きかった. また全群において負荷終了後1分間は急激に, その後は徐々に心拍数は減少した. しかし, control 群を除く全群において負荷終了3分後でも安静時より多い心拍数を示した [Figs. 5

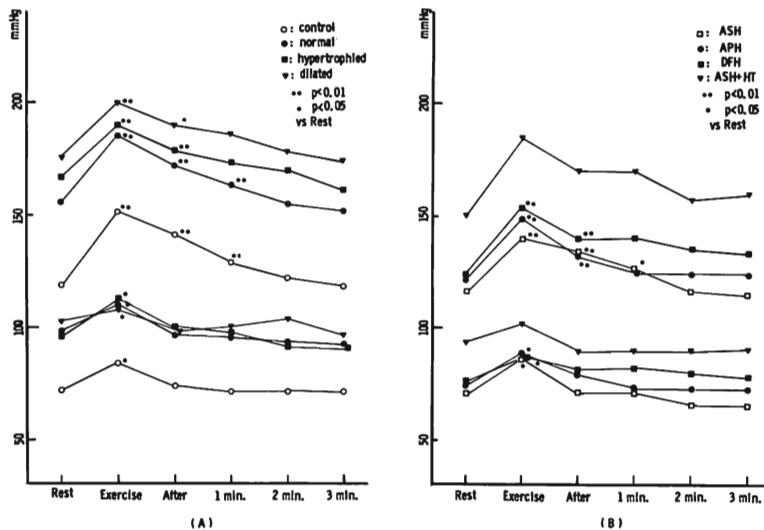


Fig. 4. Serial changes of the mean values of systolic and diastolic blood pressures at rest, during and after exercise in controls, hypertension, hypertrophic cardiomyopathy and ASH+HT groups.

(A) Controls and three groups of hypertension.

(B) Three groups of hypertrophic cardiomyopathy and ASH+HT group.

Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

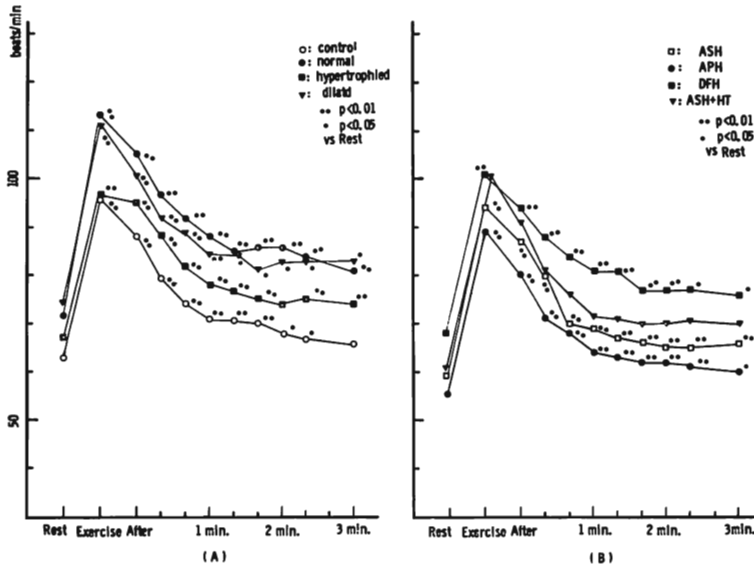


Fig. 5. Serial changes of the mean values of heart rate at rest, during and after exercise in each group.

(A) Controls and three groups of hypertension.

(B) Three groups of hypertrophic cardiomyopathy and ASH+HT group.

Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

(A), (B)].

4. 左室拡張末期径 (LVDd) および収縮末期径 (LVDs)

Control 群の LVDd は運動負荷により増加傾向を示したが、有意差はみられなかった。しかし、負荷終了直後から有意に増加し、その後は 40 秒まで増加が持続した。LVDs は負荷時には減少し、終了後は徐々に増大したが、負荷後 3 分においても安静時に比べて減少を示した。

Normal LV 群における LVDd は control 群と同様の傾向を示した。すなわち LVDd は負荷終了 20 秒後から 2 分までは増大し、その程度および持続はいずれも control 群より大であった。LVDs は control 群とほぼ同じ反応を示した [Fig. 6(A)].

Hypertrophied LV 群の LVDd は全経過を通じてほとんど変化しなかったが、LVDs は normal LV 群と同様の反応を示した。

Dilated LV 群の LVDd は運動負荷時に明らかに増加したが、終了直後から徐々に減少した。一方、LVDs は負荷時には他群と異なり増加傾向を示したが、終了直後には減少した [Fig. 6(B)].

ASH 群の LVDd は負荷中には有意な変化を示さなかったが、終了直後から 40 秒間は増加し、control 群に似た反応を示した。しかし LVDs は全経過にわたり有意な変化を示さなかった。APH 群および DFH 群では、運動負荷による LVDd と LVDs の有意な変化を認めず、ASH+HT 群では ASH 群に類似の反応を示した [Figs. 7(A), (B)].

5. 左室平均円周短縮速度 (mean VCF)

Control 群の mean VCF は、安静時 1.19 ± 0.16 circ/sec, 運動時 1.59 ± 0.24 circ/sec で増加率は 34% であった。高血圧症群における normal LV 群のこれらの値は各 1.18 ± 0.25 circ/sec, 1.67 ± 0.37 circ/sec, 42%; hypertrophied LV 群

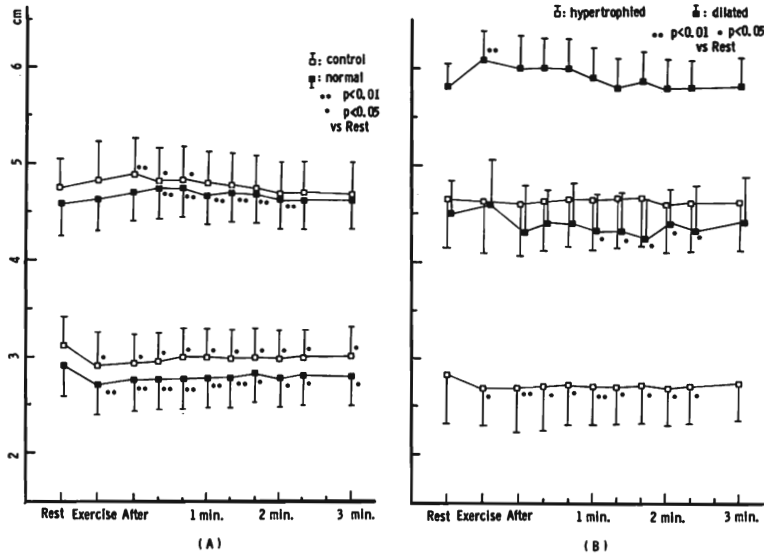


Fig. 6. Serial changes of the mean values and the standard deviations of end-diastolic and end-systolic dimensions at rest, during exercise in control and three groups of hypertension.

(A) control and normal LV groups; (B) hypertrophied and dilated LV groups. Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

では各 1.25 ± 0.24 circ/sec, 1.66 ± 0.26 circ/sec, 37% であったが, dilated LV 群では各 0.81 ± 0.16 circ/sec, 0.91 ± 0.17 circ/sec, 12% で, 他群に比べて低値であった [Fig. 8(A)].

なお dilated LV 群の負荷直後の mean VCF は 1.03 ± 0.29 circ/sec で, 安静時に比べて著明な増加を示した.

肥大型心筋症群においては, ASH 群のこれらの値は各 1.52 ± 0.24 circ/sec, 1.82 ± 0.16 circ/sec, 20%, APH 群では各 1.44 ± 0.30 circ/sec, 1.73 ± 0.36 circ/sec, 20%, DFH 群では各 1.35 ± 0.17 circ/sec, 1.68 ± 0.33 circ/sec, 24% であった. APH 群の運動負荷終了直後の mean VCF は著しく高値で, dilated LV 群に類似した反応を示した. なお肥大型心筋症各群の mean VCF の増加率は, いずれも control 群より低値であった [Fig. 8(B)].

6. 左室最大円周短縮速度 (peak VCF)

Control 群の peak VCF は安静時 2.4 ± 0.5

circ/sec, 運動時 2.7 ± 0.5 circ/sec であった. Normal LV 群では各 2.4 ± 0.6 circ/sec, 3.2 ± 0.7 circ/sec, hypertrophied LV 群では各 2.3 ± 0.6 circ/sec, 3.0 ± 0.8 circ/sec で, 何れも負荷により有意な増加を認めたが, dilated LV 群では各 1.5 ± 0.4 circ/sec, 1.9 ± 0.5 circ/sec と有意な増加を示さなかった.

ASH 群の peak VCF は安静時 2.8 ± 0.4 circ/sec 運動時 3.3 ± 0.5 circ/sec と有意に増加したが, APH 群では各 3.1 ± 1.1 circ/sec, 3.1 ± 0.6 circ/sec と全く変化しなかった. DFH 群では各 3.3 ± 0.7 circ/sec, 3.9 ± 0.3 circ/sec と有意な増加を示さず, ASH+HT 群では各 2.4 ± 0.1 circ/sec, 2.9 ± 0.9 circ/sec と変化を示した.

7. D/S 比

Control 群と normal LV 群は運動負荷により D/S 比の軽度の増加を認めたが, hypertrophied LV 群および dilated LV 群では変化しなかった. ASH 群と DFH 群では, 負荷により D/S 比は

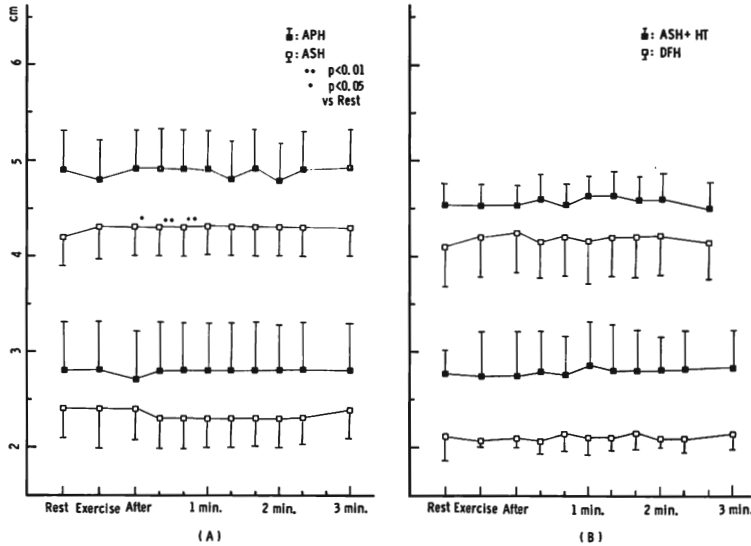


Fig. 7. Serial changes of the mean values and the standard deviations of left ventricular end-diastolic and end-systolic dimensions at rest, during and after exercise in three groups of hypertrophic cardiomyopathy and ASH+HT group.

(A) ASH and APH groups; (B) DFH and ASH+HT groups.

Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

減少した。APH 群では減少傾向を示したが、有意ではなかった。ASH+HT 群では ASH 群に類似の反応を示した (Fig. 9)。

8. 最大収縮期血圧 / 左室収縮末期容積比 (PSP/LVVs)

Control 群の PSP/LVVs 比は安静時 3.2 ± 0.7 mmHg/ml から運動時 5.1 ± 2.2 mmHg/ml に上昇した。Normal LV 群では各 5.1 ± 2.0 mmHg/ml, 7.4 ± 3.3 mmHg/ml, hypertrophied LV 群では各 6.2 ± 3.8 mmHg/ml, 7.9 ± 3.1 mmHg/ml と有意に増加したが, dilated LV 群では各 2.0 ± 0.5 mmHg/ml, 2.2 ± 0.7 mmHg/ml とほとんど増加しなかった (Fig. 10)。

なお, 肥大型心筋症については, M モード心エコー図法による容積測定には問題があるため, 本項目の検討からは除外した。

9. 左室収縮末期壁応力 - 左室収縮末期径関係 (ESWst-LVDs)

Control 群では, ESWst と LVDs の間に $r =$

0.92 の高い正相関があり, $ESWst = 32 LVDs - 38$ の回帰式が得られた。運動負荷により $r = 0.90$ となり, $ESWst = 36 LVDs - 31$ の回帰式に変化した。同様に, normal LV 群では安静時 $r = 0.72$, $ESWst = 41 LVDs - 55$, 負荷後は $r = 0.82$, $ESWst = 49 LVDs - 66$, hypertrophied LV 群では安静時 $r = 0.77$, $ESWst = 36 LVDs - 52$ から, 負荷後は $r = 0.71$, $ESWst = 39 LVDs - 54$, dilated LV 群では安静時 $r = 0.81$, $ESWst = 52 LVDs - 98$ から, 負荷後は $r = 0.87$, $ESWst = 55 LVDs - 99$ に変化した。とくに normal LV 群では, 他群に比べて運動負荷による ESWst-LVDs 関係の変化が最も著明であった (Fig. 11)。

なお, 壁応力測定上の困難性のため, 肥大型心筋症群においてはこの項目については検討しなかった。

考 察

従来, 健康人における運動時の左室径の変化に

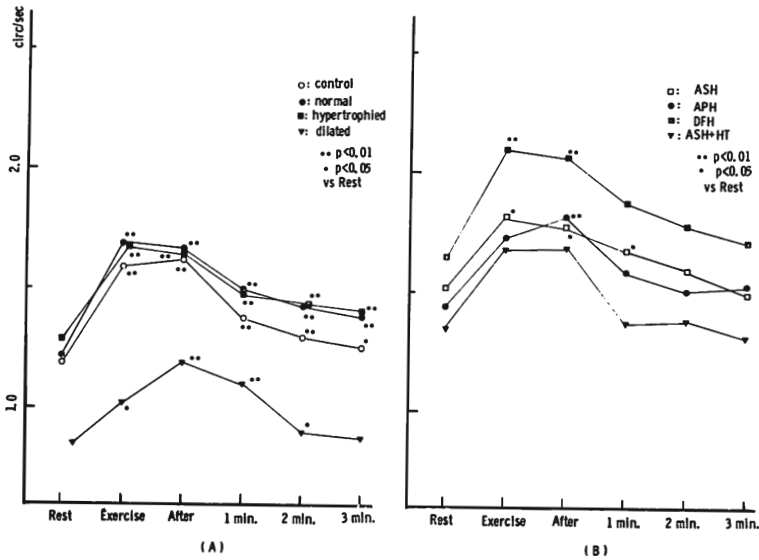


Fig. 8. Serial changes of the mean values of mean velocity of circumferential fiber shortening (mean Vcf) at rest, during and after exercise in each group.

(A) Control and three groups of hypertension; (B) three groups of cardiomyopathy and ASH+HT group.

Abbreviations are the same as shown in Table 1 and Fig. 1.

については多数の報告¹⁰⁾があるが、必ずしも一致した見解は得られていない。本研究においては、運動時の一回拍出量 (SV) の増加には主として左室収縮末期径 (LVDs) の減少が関与し、左室拡張末期径 (LVDd) は有意な変化を示さなかった。しかし回復期には LVDd の一過性増大が認められ、LVDs も徐々に前値に復する反応を示した。野田ら⁵⁾、Stein ら⁶⁾は、著者らと同じ方法を用いて運動負荷時の左心動態を観察し、運動時および回復期ともにほぼ同様の結果を報告している。

Slutsky ら⁷⁾は運動負荷 RI angiography を行い、運動時には安静時に比べて拡張期左室容積には変化がないことを報告している。他方、Weiss ら⁸⁾は運動により LVDd のみが増大し、その結果として SV が増加することを指摘している。彼らは半坐位で運動負荷しており、このような運動負荷方法の相違が我々の研究結果と異なる理由の 1 つであると思われる。

Crawford ら⁹⁾は、立位と仰臥位での運動時の左心動態について心エコー図的に検討し、前者においてのみ LVDd の増大が出現することを指摘している。このことには、立位と仰臥位における左室拡張能の差異が関与し¹¹⁾、その結果として左室径に変化を生じるものと考えられた。

一方、運動負荷終了直後の回復期における左室径の変化についての報告は少ない。本研究でみられた一過性の LVDd 増大については、野田ら⁵⁾、Stein ら⁶⁾は運動直後の急激な心拍数減少と増大した静脈還流の不均衡の結果生じると推測している。

左室平均円周短縮速度 (mean Vcf) は心収縮力の指標としてよく用いられている¹²⁾。本研究における正常群 (control) においても、運動負荷により mean Vcf の増大を認め、従来の報告¹³⁾と一致する結果を得た。左室最大円周短縮速度 (peak Vcf) は、より正確な左心収縮力を表わす指標で

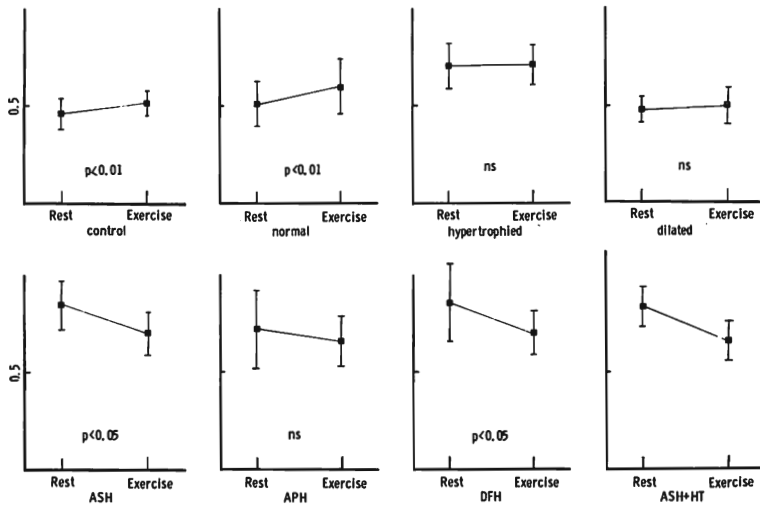


Fig. 9. D/S ratios at rest and during exercise in each group.

Mean values and standard deviations are indicated by bars.

D/S ratio=ratio of the velocity of the left ventricular posterior wall during systole to that during diastole; ns=not significant.

Other abbreviations are the same as shown in Table 1.

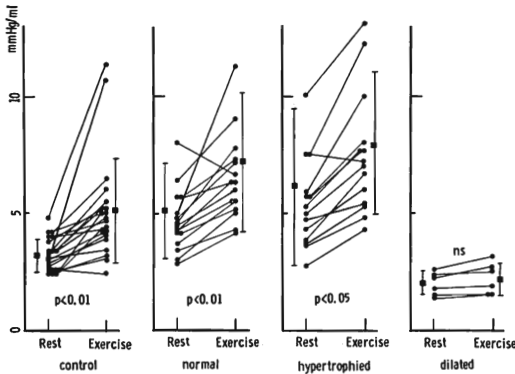


Fig. 10. Ratios of the peak systolic pressure to the left ventricular end-systolic volume (PSP/LVVs) at rest and during exercise in controls and three groups of hypertension.

Mean values and standard deviations are indicated by bars. ns=not significant.

Other abbreviations are the same as shown in Table 1.

ある²⁰⁾と考えられているため、本指標の運動負荷による変化についても検討した。Control 群では、運動により安静時に比べて peak VCF の有意な増大を認め、心収縮力の増大を表わす反応であると思われた。

正常左室型高血圧症群 (normal LV) の運動時における左心動態は control 群と同様な反応を示したが、特に mean VCF および peak VCF は最も著明な増加を示し、本群の hyperkinetic な左心機能が示唆された。回復期の LVDd の増大は control 群より大きく、かつ持続時間も長かった。

このことは、本群の左室が運動時に著明な心収縮力の増大により左心機能を維持しているが、突然の運動中止により急激に交感神経刺激が減少し、一過性に心収縮力低下状態になるためと考えられた。

左室肥大型高血圧症群 (hypertrophied LV) の運動時における左心動態は、normal LV 群と同様であったが、mean VCF および peak VCF は

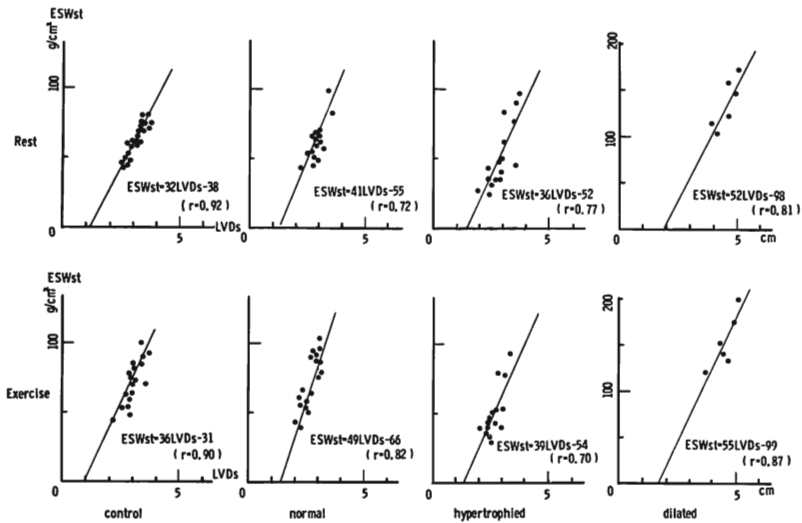


Fig. 11. Correlations between left ventricular end-systolic wall stress (ESWst) and left ventricular end-systolic dimension (LVDs) at rest and during exercise in controls and three groups of hypertension.

Abbreviations are the same as shown in Table 1.

control 群に近い増加率を示し、本群の左心機能がよく代償されている所見を表現すると思われた。しかし、回復期の LVDd は全く変化せず、これは本群では心室壁肥厚による拡張障害があるためと考えられた。

左室拡大型高血圧症群 (dilated LV) では他群と異なり、運動時の LVDd は明らかに増大し、LVDs も増加傾向を示した。運動負荷により mean Vcf は軽度に増加したが、peak Vcf は全く増加せず、本群の左心機能低下が示唆された。一方、回復期の LVDd は徐々に前値に復する反応を示した。このことは、本群においては、運動負荷時の心拍出量増大を心収縮力増大により対処できず、LVDd を増加させて Frank-Starling 機構を利用して対処するものと推測された。杉下ら¹⁴⁾は諸種心疾患の mean Vcf と LVDd の関係について検討し、運動負荷時に mean Vcf の増加が十分でない場合には、LVDd の増大をきたすことを報告している。

肥大型心筋症群 (HCM) では、運動負荷によ

る左室径の変化を認めず、かつ mean Vcf の増加率も control 群に比べて低値を示し、本群では左心機能の低下があることが示唆された¹⁵⁾。特に心尖部肥厚群 (APH) の peak Vcf は、運動負荷によりほとんど増加せず、他の HCM 群に比べて強い心収縮障害の存在が示唆された。非対称性中隔肥厚群 (ASH) においてのみ回復期の LVDd の増大を認め、本病態では他の HCM 群に比べて左室拡張障害が軽度であると思われた。ASH+HT 群の運動負荷時の左心動態は、ASH 群に類似した反応を示し、増加した後負荷の影響は明らかでなかった。これらの結果から、HCM 群では肥厚部位とは無関係に運動時の左心機能が障害されていると思われた。

しかし、HCM のさいには、従来から左室拡張障害の存在が重視されており、運動負荷時にはこの拡張障害の程度が左心機能を評価する上で重要な因子になる可能性があるため、拡張障害の指標として左室後壁の D/S 比について検討した。HCM 群では、control 群および HT 群と異なり、

運動負荷により D/S 比は減少傾向を示し, 特に ASH 群および DFH 群では有意に減少し, 運動による左室拡張障害の相対的改善が示唆された. すなわち, これら両群の変化は, 左室容積曲線からみれば, 安静時に延長した等容性拡張期が運動負荷により相対的に減少することによると考えられ, 両群の左室拡張障害は本研究で用いた運動量では左心機能を制限する因子とはなり難いことが推測された.

最近, 新しい心収縮力の指標として前負荷および後負荷に影響を受けない E_{max} ¹⁶⁾ が臨床的に用いられるようになった. Nivatpumin ら¹⁷⁾は左室収縮末期圧・容積比が E_{max} と良く相関し, かつ算出方法が簡単であるため, E_{max} に代用できると報告している. 一般に, 動脈に明らかな狭窄などの所見を認めない限り, cuff 型血圧計を用いて測定した上腕動脈圧は左室収縮末期圧に相関するため⁴⁾, 本研究では control 群および HT 群の最大収縮期血圧 / 左室収縮末期容積比 (PSP/LVVs) を求め, 各群における運動時の本指標の変化から左心収縮性の評価を試みた.

その結果, dilated LV 群では運動による PSP/LVVs 比の増加を認めず, 本群では左心収縮力の低下が明らかであると考えられた. E_{max} を異なる左室形状を有する HT 群および HCM 群と比較することに問題はあるが¹⁸⁾, 同一群内において心収縮性の変化を検討することは可能であると思われた. しかし, HCM 群では左室容積を計測することが困難なため, 本研究では検討しなかった.

慢性圧負荷により変形した左室は, 同じレベルの収縮期血圧に対しても異なった壁応力を示すが, 壁応力 - 左室内径関係は左室形状の特徴に従って一定の相関分布を示すと考えられる. このような立場に立って, 運動負荷による壁応力 - 左室内径関係の変化について検討し, 変形した左室を有する HT 各群の心機能評価を試みた. Control 群では両者間に $r=0.92$ の高い正相関があり, 運動負荷によっても相関係数は変化しなかったが,

両者間の回帰式の傾きは運動負荷により増加した. すなわち, 同程度の左室内径であっても, 壁応力が増加すれば心収縮力は増加すると考えられた.

Normal LV 群では, 運動負荷により両者の回帰式の傾きは著明に増大し, 心収縮力の動員が大であると思われた. Hypertrophied LV 群では, control 群と類似した変化を示し, 本群では圧負荷に対する肥厚による代償機構¹⁹⁾がよく理解された. Dilated LV 群では, 他群に比べて安静時に両者の回帰式は右方に移動し, 運動負荷により回帰式の傾きが増大した. この所見は, 本群における左心収縮力の低下を反映するが²⁰⁾, 運動制限を余儀なくされる程の低下ではないと考えられた.

以上の所見から左室の形状の相違により運動時の左心動態は異なると考えられ, 左心機能評価の際には左室 geometry に留意することが重要であると思われた.

要 約

我々は M モード心エコー法を用いて高血圧症 (HT) および肥大型心筋症 (HCM) 患者における臥位運動負荷時の左心機能について検討し, control 群と対比検討した.

HT は心エコー図法により正常左室をもつ正常型高血圧症 (normal LV) 17 名, 心肥大を示す肥大型高血圧症 (hypertrophied LV) 17 名, 心拡大を示す拡大型高血圧症 (dilated LV) 6 名の 3 群に分類し, また HCM はその肥厚部位別に非対称性心室中隔肥厚型 (ASH) 6 名, 心尖部肥厚型 (APH) 6 名, び慢性肥厚型 (DFH) 4 名の 3 群に分類した.

1. 左室径の変化

1) Control および HT 群: 運動負荷により control, normal LV, hypertrophied LV の 3 群では左室収縮末期径 (LVDs) の減少により一回拍出货量 (SV) が増加したが, dilated LV では左室拡張末期径が増大し, SV が増加した (Frank-Starling mechanism). 回復期には control および nor-

mal LV で一過性の LVDd の増加を示したが、normal LV でその程度が大きく、持続時間も長かった。他群の LVDd は有意な変化を示さなかった。

2) HCM: 運動時の LVDd および LVDs は全群で有意な変化を示さなかった。回復期には ASH で LVDd の一過性の増加を示したが、他群は変化を示さなかった。

2. peak Vcf および最大収縮期血圧/左室収縮末期容積比 (PSP/LVVs)

1) Control および HT: 運動負荷により peak Vcf は normal LV で最も著しい増大を示したが、dilated LV では増大しなかった。

PSP/LVVs は control, normal LV および hypertrophied LV で運動負荷により有意に増加した。Dilated LV では有意に増大しなかった。

2) HCM: ASH では peak Vcf は運動負荷により増加を示したが、他群は全く増加を示さなかった。

3. D/S 比

Control, HT および APH では、この比は軽度増加またはほとんど変化を示さなかったが、ASH および DFH では逆に有意な減少を示した。

4. 左室収縮末期壁応力 - 左室収縮末期径 (ESWst-LVDs) 関係

Control および HT では、安静時全群で良好な直線関係を示したが、運動負荷による同関係式の傾斜の変化は、異なる左室形状をもった左心機能評価に有用であると思われた。

以上より HT および HCM の運動負荷に対する左心機能は、その左室形状に関係しているとの結論を得た。

文 献

- 1) Toshima H, Koga Y, Yoshioka H, Akiyoshi T, Kimura N: Echocardiographic classification of hypertensive heart disease. *Jpn Heart J* **16**: 377, 1975
- 2) Guazzi M, Fiorentini C, Olivari MT, Polese A: Cardiac load and function in hypertension. *Ultrasonic and hemodynamic study. Am J Cardiol* **44**: 1007, 1979
- 3) 藤野武彦, 伊東盛夫, 金谷庄蔵, 真柴裕人, 平田経雄: 左室後壁 UCG トライアングル評価(予報) —D/S ratio について—. *日超医講演論文集* **24**: 117, 1973
- 4) Slutsky R, Karlinar J, Gerber K, Battler V, Gregoratos G, Peterson K, Ashburn W: Peak systolic blood pressure / end-systolic volume ratio: Assessment at rest and during exercise in normal subjects and patients with coronary disease. *Am J Cardiol* **46**: 837, 1980
- 5) 野田汎史, 荻田啓子, 天野直美, 紅露恒男, 伊藤良男, 赤池 陽, 木暮 喬: 運動負荷心エコー図(第一報): 健常者の臥位 Ergometer 単一水準負荷法による左心機能評価への試み. *J Cardiography* **8**: 237, 1978
- 6) Stein RA, Michielli D, Fox EL, Krasnow N: Continuous ventricular dimensions in man during supine exercise and recovery. *Am J Cardiol* **41**: 655, 1978
- 7) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, Schuler G, Pfister M, Peterson K, Ashburn W: Response of left ventricular volume to exercise in man assessed by radionuclide equilibrium angiography. *Circulation* **60**: 565, 1979
- 8) Weiss JL, Weisfeldt ML, Mason S, Garrison JB, Livergood SV, Fortuin NJ: Evidence of Frank-Starling effect in man during severe semisupine exercise. *Circulation* **59**: 655, 1979
- 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, 1979
- 10) Horwitz LD, Atkins JM, Leshin SV: Role of the Frank-Starling mechanism in exercise. *Circulat Res* **31**: 868, 1972
- 11) Parker J, Case R: Normal left ventricular function. *Circulation* **60**: 4, 1979
- 12) Karliner JS, Gault H, Eckberg D, Mullin CB, Ross J Jr: Mean velocity of fiber shortening. A simplified measure of left ventricular myocardial contractility. *Circulation* **44**: 323, 1971
- 13) Kraysenbuehl HP: Evaluation of left ventricular function by handgrip. *Eur J Cardiol* **1**: 283, 1974
- 14) 杉下靖郎, 小関 迪, 松田光生: 動的運動負荷心エコー図法による左心機能予備力の評価. *J Cardiography* **10**: 689, 1980
- 15) 安田寿一, 坂本三哉, 工藤俊彦, 木村 孝: 特発性心筋症における運動負荷時の循環動態. 厚生省特定

- 疾患 特発性心筋症調査研究班 昭和 52 年度研究報告集: 133, 1978
- 16) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circulat Res* **32**: 314, 1973
 - 17) Nivatpumin T, Ratz S, Sheuer J: Peak left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio: A sensitive detector of the left ventricular disease. *Am J Cardiol* **43**: 969, 1979
 - 18) Sasayama S, Franklin D, Ross J: Hyperfunction with normal inotropic state of the hypertrophied left ventricle. *Am J Physiol* **232**: H418, 1977
 - 19) Gunther S, Grossman W: Determinant of ventricular function in pressure-overload hypertrophy in man. *Circulation* **59**: 679, 1979
 - 20) Paulsen W, Bougher DR, Persaud J, Devries L: Aortic regurgitation. Detection of left ventricular dysfunction by exercise echocardiography. *Br Heart J* **46**: 380, 1981