

運動負荷心エコー図法による右室負荷疾患における左心動態の検討：とくに肺高血圧症と心房中隔欠損症との対比

Left ventricular function in patients with right ventricular overload evaluated by exercise echocardiography: Comparison of pulmonary hypertension and atrial septal defects

石本 武男
浅井 幹夫
富永 俊彦
大櫛日出郷
田岡 雅世
大島千寿子
福田 信夫
大木 崇
仁木 敏晴
森 博愛

Takeo ISHIMOTO
Mikio ASAI
Toshihiko TOMINAGA
Hidesato OHKUSHI
Masayo TAOKA
Chizuko OHSHIMA
Nobuo FUKUDA
Takashi OKI
Toshiharu NIKI
Hiroyoshi MORI

Summary

To evaluate left ventricular function in patients (pts) with right ventricular overload, exercise echocardiographic studies using a bicycle ergometer were performed for seven pts with pulmonary hypertension (PH), two with cor pulmonale (CP) and 16 with atrial septal defects (ASD), and the results were compared with those of 10 (control I) and 27 (control II) normal persons. These subjects were categorized in two study groups; study I consisting of PH, CP and control group I with an exercise workload of 25 watts for 3 min; and study II consisting of ASD and control group II with an exercise workload of 50 watts for 3 min.

The results were as follows:

1. M-mode echocardiography revealed that:

1) During exercise, the stroke volume (SV) was increased with a significant decrease of left ventricular end-systolic dimension (LVDs), but without a change in left ventricular end-diastolic dimension

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, Faculty
of Medicine, University of Tokushima, Kuramoto-cho
2-50, Tokushima 770

Received for publication December 5, 1983 (Ref. No. 27-48)

(LVDd) in control groups I and II, with a marked increase of LVDd and a slight decrease of LVDs in the ASD group. By contrast, the SV in the PH group tended to decrease during exercise with a slight decrease of LVDd, but without a significant change in LVDs.

2) Right ventricular dimension (RVD) was significantly increased during exercise in the PH group, but was decreased in the ASD group. In control groups I and II, RVD did not change during exercise.

3) In ASD, and control groups I and II, the peak velocity of circumferential fiber shortening (V_{CF}) was increased during exercise, and the peak negative V_{CF} was significantly decreased. However, these parameters exhibited impaired responses during exercise in the PH group.

4) Abnormal interventricular septal (IVS) motion at rest tended to become normal during exercise in 12 of 16 pts with ASD. In all pts with PH, however, IVS motion did not change substantially during exercise.

5) There were similar parameter responses between the PH and CP groups.

2. Two-dimensional echocardiography showed that :

1) The left ventricular short-axis view demonstrated a diastolic left ventricular configuration which changed from oblique to relatively circular orientation during exercise in the ASD group.

2) In four of five pts with PH, the diastolic configuration of the left ventricle was oblique because of a loss of the normal curvature of the IVS at rest and during exercise. The diastolic left ventricular configuration improved during exercise in only one pt with PH, with slightly elevated pulmonary arterial systolic pressure as in the ASD group.

It was concluded that 1) in the ASD group cardiac output is increased during exercise by diminishing a left to right shunt at the atrial level and by increasing the left ventricular filling rate, with resulting improvement in diastolic left ventricular configuration, but 2) in the PH group, the left ventricular pump function and contractile reserve were impaired, and the decreased SV is probably due to diminished left ventricular inflow as a result of right ventricular pump dysfunction during exercise.

Key words

Left ventricular function Right ventricular overload Exercise echocardiography Pulmonary hypertension Atrial septal defect Interventricular septum

はじめに

右室圧負荷を主病態とする肺高血圧症 (pulmonary hypertension: PH) では、肥大および拡大した右室の圧排により左室の形態異常をきたすことが知られており、この事実が、本症の左心機能の評価するうえで一定の結論が得られない主要原因となっている^{1,2)}。

本研究では運動負荷心エコー図法を用いて PH 症例の左心動態を観察し、右室容量負荷疾患である心房中隔欠損症 (atrial septal defect: ASD) との差異について対比検討した。

対象と方法

対象は運動負荷耐容量の違いにより、study I

および II グループに区別した (Table 1)。

Study I では各種心疾患に起因しない慢性の肺高血圧症 (PH 群) 7 例 (原発性肺高血圧症 3 例, 反復性肺塞栓症 1 例, 全身性強皮症などの膠原病に合併した肺高血圧症 3 例), 慢性閉塞性肺疾患による肺性心 (cor pulmonale: CP 群) 2 例, および PH 群に年齢を match させた control-I 群 10 例の計 19 例を用いた。各平均年齢は PH 群 45 ± 12 歳, CP 群 56 ± 2 歳, control-I 群 44 ± 11 歳である。

Study II では二次孔型心房中隔欠損症 (ASD 群) 16 例と対照健常者 (control-II 群) 27 例の計 43 例を用い、各平均年齢は ASD 群 36 ± 13 歳, control-II 群 30 ± 10 歳である。

対象は全例洞調律で、高血圧、狭心症あるいは

Table 1. Subjects

		No. of cases	Age Mean±SD (range)
Study I	Pulmonary hypertension (PH)	7	45±12 (23-58)
	Cor pulmonale (CP)	2	56±2 (54-58)
	Control-I	10	44±11 (29-65)
Study II	Atrial septal defect (ASD)	16	36±13 (16-57)
	Control-II	27	30±10 (19-53)

In study I an exercise by workload for 25 watts, 3 min, and study II for 50 watts, 3 min.
SD=standard deviation.

心筋梗塞の既往を有する例は対象から除外した。
運動負荷方法は被検者を軽度の左半側臥位とし、Monark 製臥位エルゴメーターを用いて、study I は 25 watts, study II は 50 watts の各々 3 分間の単一水準負荷とした。M モード心エコー図の心室中隔・左室後壁エコーグラム、心電図、心音図を、安静時および運動負荷終了 15 秒前より終了 3 分後まで、strip chart recorder (ECO-125S) に 50 mm/秒 の紙送り速度で連続的に記録した。なお、規定の運動量に達し得ない例では、負荷中止直前から終了後 3 分まで上記の方法で記録した。また超音波断層図法を用い、PH 群 5 例と ASD 群 12 例における安静時および運動時の乳頭筋レベルでの左室短軸像を観察し、拡張末期、収縮後期、拡張早期の各時相における静止画像をポラロイドフィルムに記録した。使用した装置は Aloka 製 SSD-110B および東芝製電子走査型超音波断層装置 SSH-11A である。

得られた記録より、以下の諸項目について検討した。

心拍数 (HR): 心電図の R-R 間隔より求めた。

左室拡張末期径 (LVDd): 心電図 R 波の頂点で測定した。

左室収縮末期径 (LVDs): 心音図 II 音大動脈成分の開始点で測定した。

右室径 (RVD): LVDd と同様の方法で測定した。

一回拍出量 (SV): Teichholz 法³⁾により、

LVDd および LVDs を用いて算出した左室容積より求めた。

左心拍出量 (CO): HR に SV を乗じて求めた。

左室最大円周短縮速度 (peak Vcf): 心室中隔・左室後壁エコーグラムの左心内膜面をトレースし、Good Man 製 medical graphics analyzer を用いて得られた Vcf 曲線の最大値を求めた。

左室最大円周拡張速度 (peak negative Vcf): peak Vcf と同様の方法を用いて、その最小値を求めた。

拡張末期および収縮後期における左室短軸断面積 (CSAed および CSAIs): 前述の analyzer を用いて、その左室短軸像の心内膜面をトレースすることにより求めた。

駆出率 (EF): 次式を用いて算出した。

$$EF = (CSAed - CSAIs) / CSAed$$

以上諸項目の計測は呼気終末時の 3 心拍について行い、それらの平均値を使用した。なお、血圧の計測にはカフ型血圧計を用い、安静時、運動時、運動負荷終了直後、負荷後 1, 2 および 3 分後に測定した。

有意差検定には F および t 検定を用いたが、CP 群については少数例のため検定を行わなかった。

成 績

1. 一般検査成績

心臓カテーテル検査を施行した PH 群 7 例の

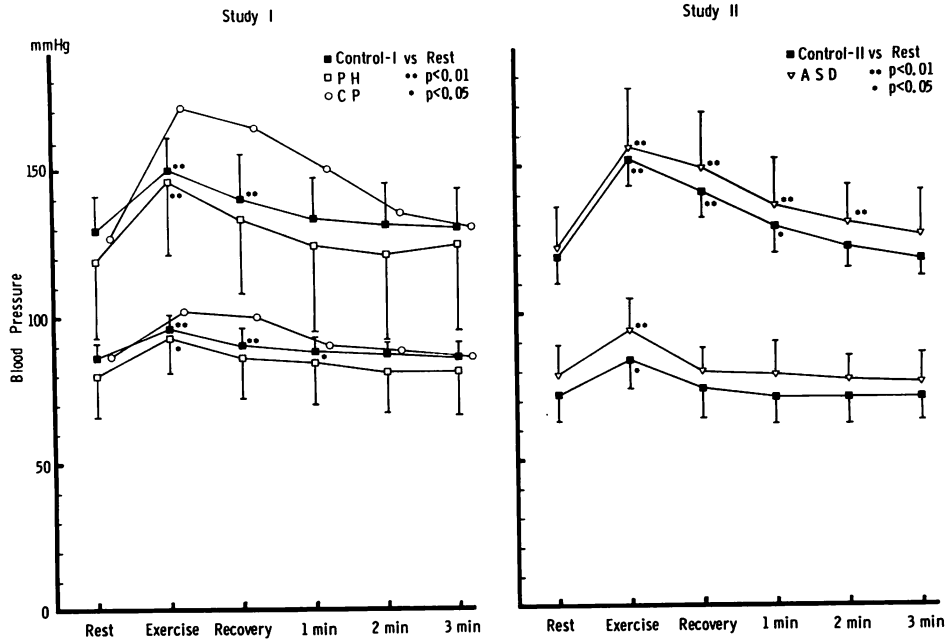


Fig. 1. Sequential changes of systolic and diastolic blood pressures at rest, during exercise and recovery in the control, PH, CP and ASD groups.

PH=pulmonary hypertension; CP=cor pulmonale; ASD=atrial septal defect.

安静時肺動脈収縮期圧は 71 ± 19 mmHg, 拡張期圧は 42 ± 12 mmHg, 平均圧は 51 ± 16 mmHg であった. また ASD 群 13 例では同様に, 26 ± 8 mmHg, 11 ± 5 mmHg, 16 ± 6 mmHg であった. なお, ASD 群の肺体血流比は平均 2.5 ± 0.7 であった.

心音図法あるいはパルス・ドプラー法により検出した安静時の三尖弁逆流は, PH 群の 3 例, ASD 群の 2 例に認められたが, いずれも中等度以下の逆流であった.

2. 収縮期および拡張期血圧 (Fig. 1)

収縮期血圧は負荷により全群で上昇したが, PH 群は control-I 群より早期に回復したのに対し, ASD 群では control-II 群に比べて回復の遅れを認めた. 拡張期血圧は収縮期血圧ほど著明ではないが, 負荷中, 全群で上昇し, PH 群および ASD 群では負荷終了直後に安静時の値に復した. CP 群の負荷時における収縮期および拡張期血圧

は, PH 群および control-I 群に比べてともに増加の割合が大であり, 回復も緩徐な傾向を示した.

3. 心拍数 (Fig. 2)

PH 群は control-I 群に比べて負荷中における心拍数の増加は大であり ($p < 0.05$), さらに負荷直後の回復は遅れる傾向を示した. CP 群の心拍数は PH 群と類似の反応であった.

一方, ASD 群も control-II 群に比べて, 負荷中における心拍数の増加は大であり, 負荷終了 3 分後においても安静時より多い心拍数を維持した.

Control-II 群は control-I 群に比べて, 心拍数の回復は遅れる傾向にあった.

4. M モード心エコー法による検討

1) 心室中隔運動 (Fig. 3)

安静時に心室中隔の異常運動を認めた ASD 群 16 例中 12 例は, 負荷により正常化の傾向を示し

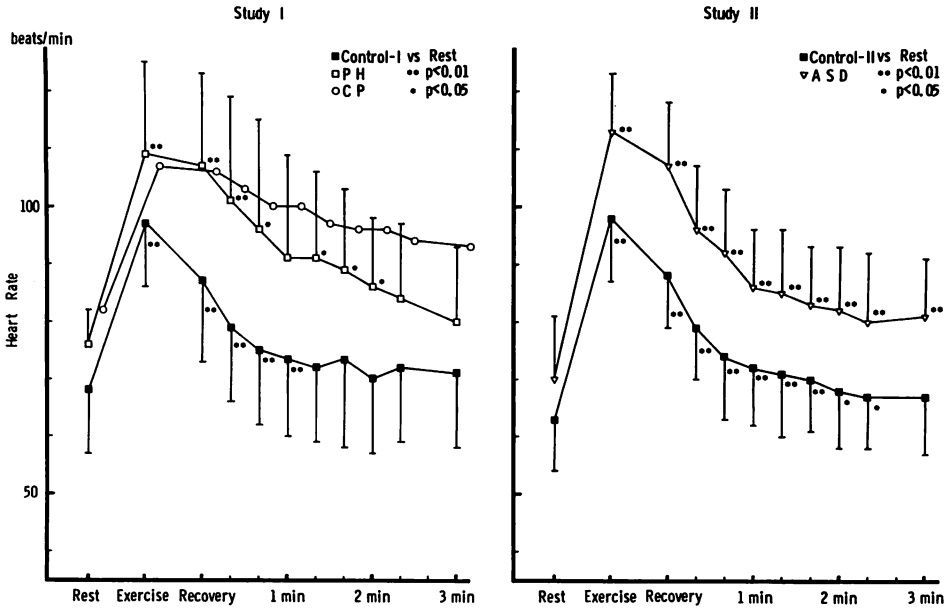


Fig. 2. Sequential changes of heart rate at rest, during exercise and recovery in the control, PH, CP and ASD groups.

Abbreviations are the same as in Fig. 1.

た (Fig. 3, 右図).

しかし、PH 群の心室中隔運動は負荷によってほとんど変化を認めなかった (Fig. 3, 左図).

2) 左室拡張末期および収縮末期径 (LVDd および LVDs) (Fig. 4)

Control-I 群の LVDd は、負荷中においても安静時と差異を認めなかった。しかし、負荷終了 20 秒後に一過性に LVDd の増加傾向がみられたが、その後は再び安静時の値に復した。LVDs は安静時に比べて、負荷中、有意な減少を示したが、負荷終了後より徐々に安静時の値に復した。

一方、PH 群の LVDd は、負荷中、有意な減少を示したが、負荷後には前値に回復した。しかし、LVDs は全経過を通じて有意な変化を示さなかった。

他方、CP 群における LVDd, LVDs の変化には一定の傾向を認めなかった。

Control-II 群の LVDd, LVDs は、全経過を

通じ、基本的には control-I 群と類似の反応を示した。

ASD 群の LVDd は他群と異なり、負荷中、有意な増大がみられた。LVDs は、負荷中、有意に減少したが、その程度は LVDd の変化に比べて軽度であった。

3) 一回拍出量 (SV) および心拍出量 (CO) (Table 2)

前述の左室径から Teichholz 法を用いて求めた SV は、control-I 群では安静時 68 ± 10 ml, 運動時 78 ± 10 ml と有意な増加を示したが ($p < 0.01$), PH 群は安静時 40 ± 11 ml, 運動時 35 ± 16 ml と減少傾向を示した。

さらに CO は、control-I 群では安静時 4.5 ± 1.0 l/min, 運動時 7.4 ± 1.6 l/min ($p < 0.01$), PH 群は安静時 3.0 ± 0.8 l/min, 運動時 3.8 ± 1.0 l/min ($p < 0.05$) であり、両群ともに負荷により有意な増大を認めたが、PH 群の増大の程度は control-

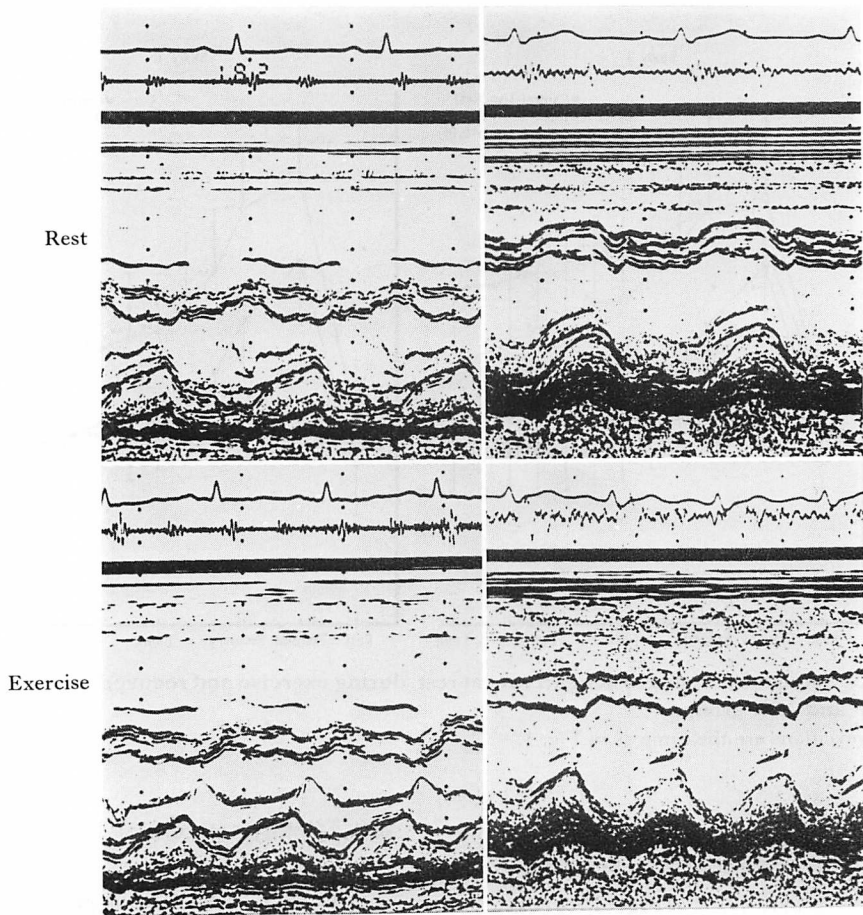


Fig. 3. M-mode echocardiograms of patients with PH and ASD at rest and during exercise.

Left panel (PH: 44-year-old woman): There is no substantial change in the interventricular septal motion between at rest and during exercise.

Right panel (ASD: 33-year-old woman): Paradoxical motion of the interventricular septum is evident at rest. During exercise, the abnormal septal motion returns to a relatively normal motion.

Abbreviations are the same as in Fig. 1.

Table 2. Effects of exercise on stroke volume and cardiac output in the control, PH and ASD groups

Subjects	Stroke volume (ml)			Cardiac output (l/min)		
	Rest	Exercise	p value	Rest	Exercise	p value
PH	40±11	35±16	ns	3.0±0.8	3.8±1.0	p<0.05
Control-I	68±10	78±10	p<0.01	4.5±1.0	7.4±1.6	p<0.01
ASD	39±10	52±12	p<0.01	2.7±0.9	5.8±1.1	p<0.01
Control-II	65±12	75±15	p<0.01	4.1±0.8	7.2±1.3	p<0.01

All values are mean±SD. ns=not significant. Abbreviations are the same as in Fig. 1.

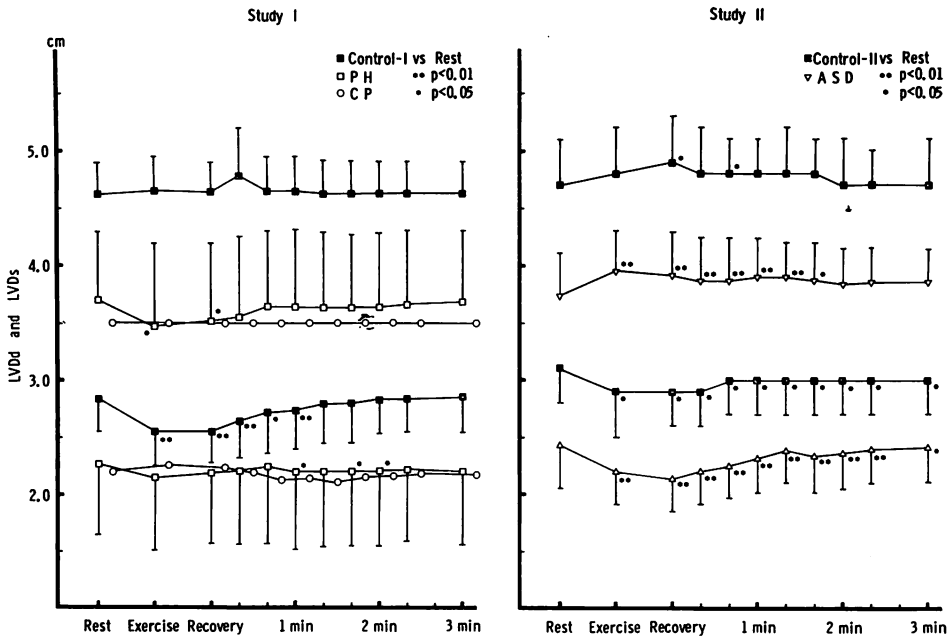


Fig. 4. Sequential changes in left ventricular end-diastolic and end-systolic dimensions (LVDd and LVDs) at rest, during exercise and recovery in the control, PH, CP and ASD groups.
Abbreviations are the same as in Fig. 1.

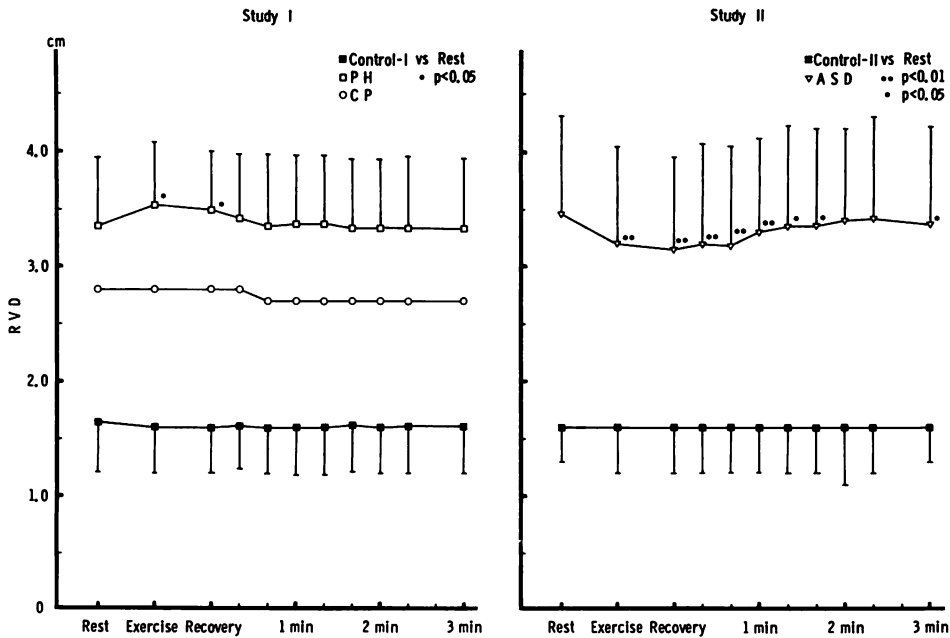


Fig. 5. Sequential changes in right ventricular dimension (RVD) at rest, during exercise and recovery in the control, PH, CP and ASD groups.
Abbreviations are the same as in Fig. 1.

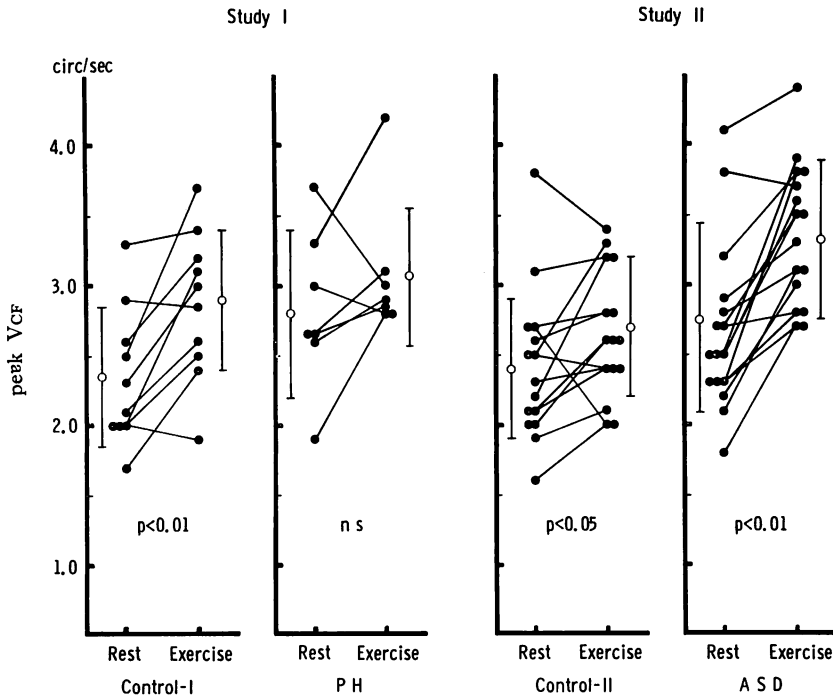


Fig. 6. Changes in peak VCF measured by echocardiographic method by exercise in the control, PH and ASD groups.

VCF=velocity of circumferential fiber shortening; circ/sec=circumference/sec; ns=not significant. Open circles with bars indicate mean±SD. Other abbreviations are the same as in Fig. 1.

I 群に比べて明らかに低値であった。

一方, ASD 群の SV は安静時 39 ± 10 ml, 運動時 52 ± 12 ml と負荷により有意な増大を示した ($p < 0.01$). Control-II 群の SV も安静時 65 ± 12 ml, 運動時 75 ± 15 ml であり, ASD 群と同様に増加した ($p < 0.01$). その結果, ASD 群の CO は安静時 2.7 ± 0.9 l/min, 運動時 5.8 ± 1.1 l/min ($p < 0.01$), control-II 群のそれは安静時 4.1 ± 0.8 l/min, 運動時 7.2 ± 1.3 l/min ($p < 0.01$) であり, 両群ともに著明な増加を示した。

4) 右室径 (RVD) (Fig. 5)

Control-I, II 群の負荷中および回復期の RVD は両群ともに変化を認めなかった。一方, PH 群の RVD は負荷により増大したが, ASD 群のそれは逆に減少を示した。

5) 左室最大円周短縮速度 (peak VCF) (Fig. 6)

Control-I 群の peak VCF は, 安静時 2.3 ± 0.5 circ/sec, 運動時 2.9 ± 0.5 circ/sec であり, 負荷により有意な増大を示した。PH 群では安静時 2.8 ± 0.6 circ/sec, 運動時 3.0 ± 0.5 circ/sec と有意な増加を認めなかった。

一方, control-II 群の peak VCF は安静時 2.4 ± 0.5 circ/sec, 運動時 2.7 ± 0.5 circ/sec, ASD 群は安静時 2.8 ± 0.7 circ/sec, 運動時 3.3 ± 0.6 circ/sec であり, 両群ともに負荷により, おおの peak VCF の有意な増大を示した。負荷中の peak VCF は ASD 群が control-II 群に比べて明らかに大であった ($p < 0.05$)。

6) 左室最大円周拡張速度 (peak negative VCF) (Fig. 7)

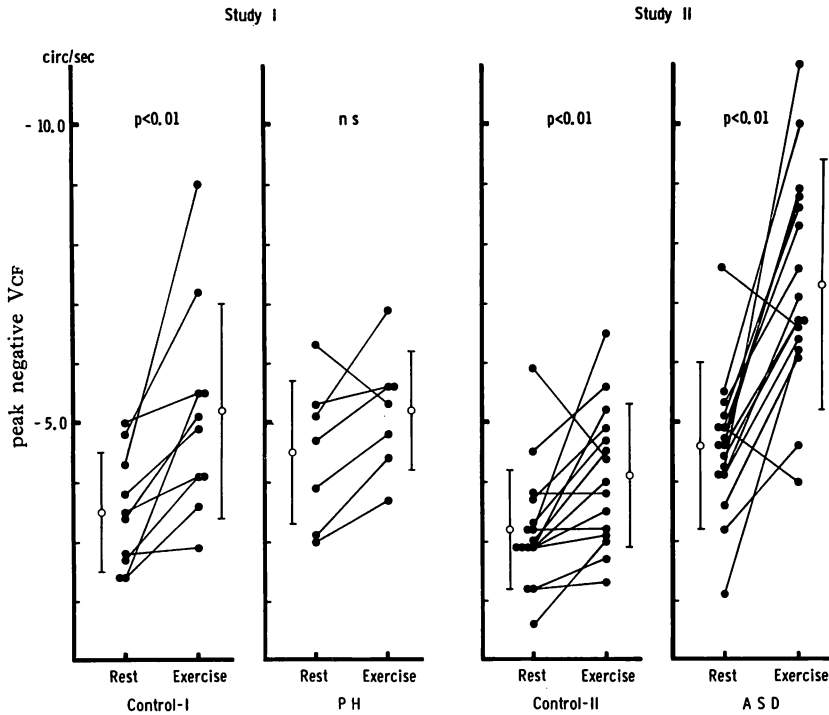


Fig. 7. Changes in peak negative VCF measured by echocardiographic method by exercise in the control, PH and ASD groups.

Abbreviations are the same as in Fig. 6.

Control-I 群の peak negative VCF は、安静時 -3.5 ± 1.0 circ/sec, 運動時 -5.2 ± 1.8 circ/sec と有意な変化を示したが、PH 群は安静時 -4.5 ± 1.2 circ/sec, 運動時 -5.2 ± 1.0 circ/sec であり、control-I 群に比べて低反応であった。

一方、control-II 群の peak negative VCF は安静時 -3.2 ± 1.0 circ/sec, 運動時 -4.2 ± 1.2 circ/sec, ASD 群では安静時 -4.6 ± 1.4 circ/sec, 運動時 -7.3 ± 2.1 circ/sec であり、両群ともに負荷により peak negative VCF の有意な減少を示したが、ASD 群では他群に比べて著明な減少を認めた。

5. 断層法による左室短軸像の検討

1) 左室形状の変化 (Figs. 8, 9, 10)

安静時には PH 群, ASD 群のいずれも左室形状の扁平化を示した。PH 群では 5 例中 4 例にお

いて運動負荷によってもその形状の変化を認めなかったが (Fig. 8), 1 例では負荷により左室内腔の扁平化がやや改善した (Fig. 9)。

一方、ASD 群では拡張末期および拡張早期に平坦化した心室中隔は、負荷により右室側に凸状 (convex) のパターンに変化し、その結果、左室形状の円形化を認めた (Fig. 10)。

2) 拡張末期および収縮後期左室短軸断面積 (CSAed および CSAls) の変化 (Fig. 11)

PH 群の CSAed は安静時 10.8 ± 3.4 cm², 運動時 8.9 ± 2.5 cm² であり、負荷により有意な減少を認めたが、ASD 群は安静時 12.0 ± 2.0 cm², 運動時 13.2 ± 2.3 cm² と、逆に CSAed の増大を示した。

一方、PH 群の CSAls は安静時 5.2 ± 1.9 cm², 運動時 4.9 ± 1.4 cm² と有意な変化を認めなかった

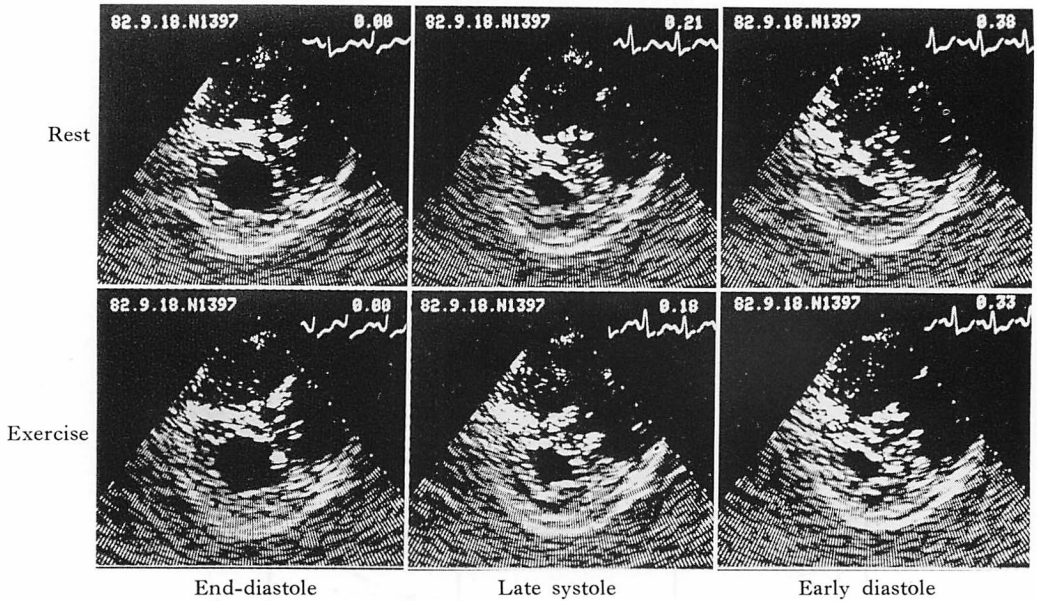


Fig. 8. Left ventricular short-axis views at end-diastole, late systole and early diastole in resting state and during exercise in a patient with PH (49-year-old woman).

Diastolic and systolic configurations of the left ventricle are oblique because of a loss of the normal curvature of the interventricular septum at rest (upper panels), and the abnormal shapes of the ventricle persist during exercise (lower panels).

Abbreviations are the same as in Fig. 1.

が, ASD 群は安静時 $5.6 \pm 1.9 \text{ cm}^2$, 運動時 $4.9 \pm 1.6 \text{ cm}^2$ と有意な CSAIs の減少を示した。

その結果, 駆出率 (EF) は PH 群では安静時 0.52 ± 0.08 , 運動時 0.44 ± 0.10 となり, 負荷により有意な減少を認めたが, ASD 群では安静時 0.54 ± 0.12 , 運動時 0.64 ± 0.09 と, 逆に有意な増大を示した。

考 按

従来, 肺高血圧症 (PH) の右心機能評価に関する報告は多いが⁴⁾, 反面, 左心機能についての詳細な検討は十分になされていない。その理由として, 右室負荷によりもたらされる左室 geometry の異常が, 本症の左心機能を評価する際, 無視しえぬ障害になっていることがあげられ^{1,2)}, 事実, Kelly ら⁵⁾は慢性右室圧負荷を作成したイヌ実験の成績から, その左心機能低下の原因として, 左

室の変形が関与していることを報告している。

本研究では運動負荷心エコー図法を用いて PH の左心動態を検討し, 本症と同様に左室変形をきたす心房中隔欠損症 (ASD) と対比しながら, 両病態における運動負荷時の左心動態, およびその予備力の差について考察を加えた。

PH では比較的軽度の運動負荷あるいは日常生活においても, 呼吸困難を訴える例が多い点を考慮し, その運動負荷量を 25 watts, 3 分間の単一負荷 (study I) としたが, 7 例中 2 例は負荷 1 分 40 秒前後において, 呼吸困難のため運動負荷中止を余儀なくされた。Loke⁶⁾ は PH における運動能力の制限因子として, 心因子より肺因子の関与が重要であると報告している。本研究の PH 群に用いた運動量は, 負荷時心拍数の増加の程度から考えると, 本群の左心機能を論ずるうえで十分な運動量であることが推察された。

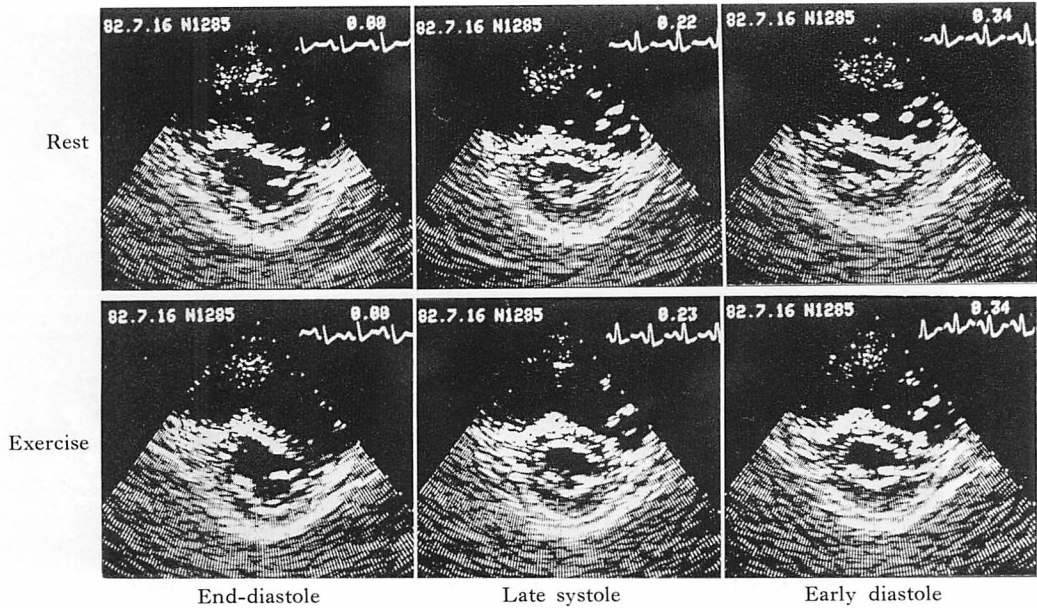


Fig. 9. Left ventricular short-axis views at end-diastole, late systole and early diastole in resting state and during exercise in a patient with PH (44-year-old woman).

Diastolic and systolic configurations of the left ventricle are oblique because of a loss of the normal curvature of the interventricular septum at rest (upper panels). During exercise (lower panels), however, the abnormal shapes of the ventricle return to relatively circular configurations.

Abbreviations are the same as in Fig. 1.

一方、ASD 群については、PH 群に比べて比較的運動耐容性に優れている点と、心エコー図記録の容易な点を考慮し、50 watts、3分間の単一負荷 (study II) としたが、この運動量によっても負荷による心拍数の有意な増大をきたし、本群の左心機能評価は可能であると考えられた。

一般に健常者の臥位運動負荷では左室拡張末期径 (LVDd) の変化を認めず、主として左室収縮末期径 (LVDs) が減少して一回拍出量 (SV) の増加を齎らす反応を示し^{7,8)}、本研究での control-I, II 群においても同様の結果が得られた。一方、右室容量負荷疾患である ASD 群では、運動時における LVDd の増加、および LVDs の軽度減少という特異な反応を示した。この所見の説明としては、負荷前に比べて右室径の減少を認めることから、運動時における心房レベルの左-右短絡血流の減少が重要であると考えられた。

PH 群の左室は運動時に LVDd の減少を認めたが、LVDs は全く変化を示さず、SV は運動によりむしろ減少する傾向にあった。また、同時に観察した右室径も負荷により増大した。これらの結果は PH 群の負荷反応様式が健常群および ASD 群と異なることを示唆する。肺血管床の減少を基本的病態とする PH 群では、運動負荷により右心機能不全を招来し、そのため相対的肺血流量の減少をきたすと考えられた。Schrijen ら⁹⁾ は色素注入法を用いた研究で、慢性閉塞性肺疾患における運動時相対的肺血流量の低下を指摘し、Khaja ら¹⁰⁾ は心臓カテーテル法を用いて、PH の運動負荷時における右心ポンプ機能低下と左室流入血流量の低下を報告しており、いずれも今回の結果と一致するものである。

本研究の対象とした PH 群および ASD 群は、いずれも左室短軸像からみた左室形状に変形を生

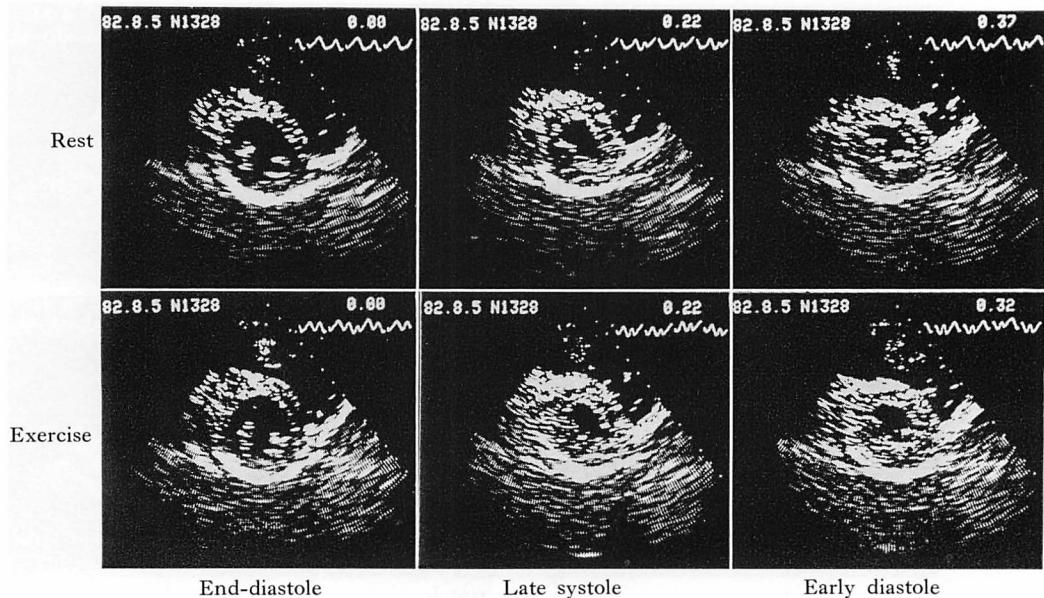


Fig. 10. Left ventricular short-axis views at end-diastole, late systole and early diastole in resting state and during exercise in a patient with ASD (35-year-old man).

Diastolic configurations of the left ventricle are oblique because of a loss of the normal curvature of the interventricular septum at rest (upper panels). During exercise (lower panels), however, the abnormal shapes of the ventricle return to relatively circular configurations.

Abbreviations are the same as in Fig. 1.

じることから、単に M モード法の心室中隔・左室後壁エコーグラムから左室容積を算出することには問題があると考え、超音波断層法により記録した左室短軸断面の面積を求めて、運動負荷動態の検討を行った。

その結果、ASD 群では運動負荷により、左室拡張末期面積の増加と収縮後期面積の減少を認めることから駆出率は増大し、その良好な左心ポンプ機能が示唆された。一方、PH 群では運動負荷により左室拡張末期面積は減少したが、収縮後期面積は変化せず、本症の駆出率の低下が考えられた。したがって PH 群における運動時の心拍血量 (CO) 増加の機序としては、SV は増加せず心拍数の増加により CO が代償されている状況が考えられ、逆にこのことが本症の運動制限を規定する重要な因子でもある。

本研究の心収縮性指標としては、M モード法

の左室内径変化曲線より求めた peak VCF を用いた¹¹⁾。本指標を PH 群や ASD 群のような左室変形をきたす病態に適用することには問題もあるが、PH 群では変形した左室形状が運動負荷前後で変化しないことを重視して、本指標を用いることは十分可能であると判断した。

ASD 群の運動時における peak VCF は control-II 群より高値を示し、左心収縮性が良好であると考えられた。一方、PH 群では control-I 群にみる如き運動負荷による peak VCF の有意な増加を認めず、本群の左心収縮性は低下していることが示唆された。Krayenbuehl ら¹²⁾は慢性肺高血圧症に運動負荷を行い、心カテーテル法より求めた Vmax などの心収縮性指標の変化から、本症の左心収縮予備力の低下を指摘し、本研究の結果を裏付ける報告として興味深い。

急速流入期の拡張性指標である peak negative

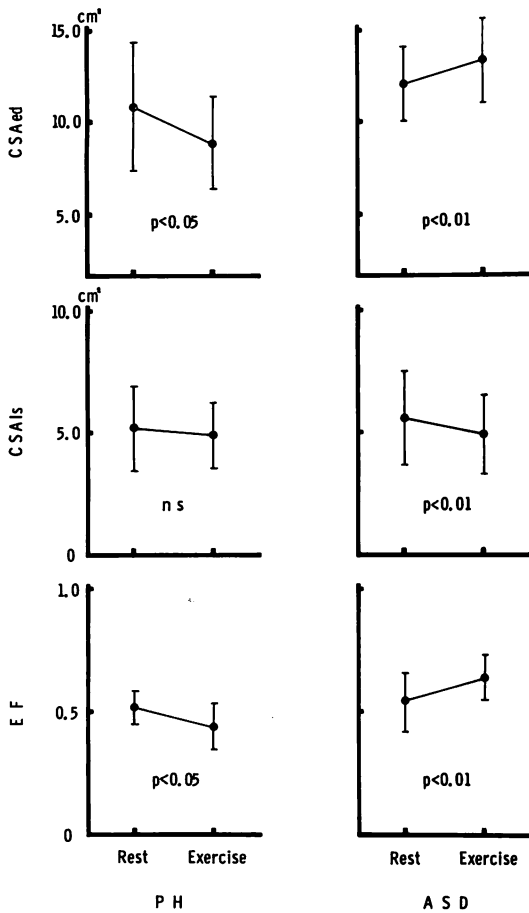


Fig. 11. Effects of exercise on CSAed, CSAIs and EF in the PH and ASD groups.

CSAed=cross-sectional short-axis area of left ventricular cavity at the papillary muscle level in end-diastole; CSAIs=cross-sectional short-axis area of left ventricular cavity at the papillary muscle level in late systole; EF=ejection fraction.

All values are mean±SD. Abbreviations are the same as in Fig. 1.

VCFは、control-I, II群およびASD群においては運動負荷により減少、すなわち拡張速度の増大を示し、とくにASD群の場合は著明な減少を認め、急速流入期における心房レベルの左-右短絡血流の減少が示唆された。一方、PH群では運動負荷により本指標の有意な変化を認めず、本症の

左室拡張障害が考えられた。

Moulopoulosら¹²⁾は、右室の拡大により左室の形状に変形を生じる場合、拡張期における左室の圧-容積関係は異常をきたすことを報告している。ASD群では運動時に左室はcircular shapeとなり、左室の圧-容積関係が改善するため¹²⁾、左室充満に対する心房収縮の役割が効率的となる可能性が考えられる。しかしながら、PH群の場合は運動負荷により左室形状の歪みに変化を認めず、その結果、心房収縮による十分な左室充満の得られないこともLVDD減少の一成因となると思われた。

心室中隔の異常運動は右室容量負荷疾患に特徴的所見であるが、本研究のASD群では運動負荷により16例中12例に異常運動の正常化あるいは軽減化を認めた。しかしながら、PH群では肺高血圧の軽度であった1例を除く5例中4例において、運動負荷により心室中隔の明らかな変化を認めなかった。したがって、これらの病態の運動負荷による心室中隔の異常運動の改善には、心内短絡血流の変化、右室圧の程度が関与していることが示唆された。

慢性閉塞性肺疾患に起因する肺性心(CP)の運動負荷動態については¹³⁻¹⁵⁾、LVDD, LVDsともに一定の傾向を認めなかった。本症ではCO₂分圧、O₂分圧、肺高血圧などの諸因子が複雑に影響しているため¹⁶⁾、総合的な判断をする際には慎重を要し、今後症例を重ねて検討したい。

以上の結果より、右室の圧負荷疾患であるPH群と容量負荷疾患であるASD群の安静時および運動時における左心動態は、それぞれ特異な反応を示し、これらの病態の左心機能評価については十分な注意が必要であると思われた。

要 約

肺高血圧症(PH群)7例、肺性心(CP群)2例、心房中隔欠損症(ASD群)16例の安静時および運動時における左心機能を評価する目的で、臥位エルゴメーターによる運動負荷心エコー図を記録

し, 正常群 (control-I 群 10 例, control-II 群 27 例) と比較対比した. なお運動負荷量により PH 群, CP 群, control-I 群を study I (25 watts, 3 分間), ASD 群, control-II 群を study II (50 watts, 3 分間) に分類して検討した.

1. M モード心エコー法による検討

1) Control-I, II 群では, 運動負荷により左室拡張末期径 (LVDd) は変化せず, 主として収縮末期径 (LVDs) が減少することによって一回拍出量 (SV) が増大した. ASD 群では負荷により, LVDd の増大と LVDs の軽度減少によって SV の増大を来した. 一方, PH 群では運動時に LVDd は減少し, LVDs は変化を認めないため, 結果として SV は減少傾向を示した.

2) Control-I, II 群の右室径は運動負荷により有意な変化を示さなかったが, PH 群では増大, ASD 群では減少した.

3) ASD 群および control-I, II 群の peak VCF は運動負荷により有意な増大を, peak negative VCF は有意な減少を示したが, PH 群ではいずれの指標も有意な変化を示さなかった.

4) ASD 群 16 例中 12 例にみられた安静時の心室中隔異常運動は, 負荷により正常化の傾向を示した. PH 群の心室中隔は, 全例, 負荷による運動の変化を示さなかった.

5) CP 群では, 運動負荷に対する諸指標の反応は PH 群のそれに類似していた.

2. 超音波断層法による検討

1) ASD 群の安静時における拡張期左室短軸像の歪みは, 運動負荷により円形状の形態に変化した.

2) PH 群 5 例中 4 例では, 安静時における拡張期左室短軸像の歪みは運動によっても変化を示さなかった. しかしながら, 肺高血圧が軽度な 1 例では ASD 群と同様の反応を示し, 負荷による左室変形の改善を認めた.

以上の結果から, ASD 症例では運動負荷時に心房レベルでの左 - 右短絡血流が減少し, 左室急速充満の増大と拡張期における左室の変形が改善

されることにより, 左心拍出量を増加させる良好な左心予備能を有するが, PH 症例では運動負荷により右心機能不全が出現し, 相対的肺血流量が減少する結果, 左室充満は増大せず, 本症の運動時左心収縮予備能の低下とともに, 左心ポンプ機能の低下が存在するとの結論を得た.

文 献

- 1) Kraysenbuehl HP, Turina J, Hess O: Left ventricular function in chronic pulmonary hypertension. *Am J Cardiol* **41**: 1150, 1978
- 2) Brinker JA, Weiss JL, Lappé DL, Rabson JL, Summer WR, Permutt S, Weisfeldt ML: Leftward septal displacement during right ventricular loading in man. *Circulation* **61**: 626, 1980
- 3) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* **37**: 7, 1976
- 4) Morrison D, Goldman S, Wright AL, Henry R, Sorenson S, Caldwell J, Ritchie J: The effect of pulmonary hypertension on systolic function of the right ventricle. *Chest* **84**: 250, 1983
- 5) Kelly DT, Sponitz HM, Beiser GD, Pierce JE, Epstein SE: Effects of chronic right ventricular volume and pressure loading on left ventricular performance. *Circulation* **44**: 403, 1971
- 6) Loke J: Distinguishing cardiac versus pulmonary limitation in exercise performance. *Chest* **83**: 441, 1983
- 7) Stein RA, Michielli D, Fox EL, Kransnow N: Continuous ventricular dimensions in man during supine exercise and recovery. *Am J Cardiol* **41**: 655, 1978
- 8) 野田汎史, 荻田啓子, 天野直美, 紅露恒男, 伊藤良雄, 赤池 陽, 木暮 喬: 運動負荷心エコー図 (第 1 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
- 9) Schrijen F, Urriaga B: Pulmonary blood volume in chronic lung disease: Changes with leg raised and during exercise. *Chest* **81**: 544, 1982
- 10) Khaja F, Parker JO: Right and left ventricular performance in chronic obstructive lung disease. *Am Heart J* **82**: 319, 1971
- 11) Wilson JR, Reichek N: Echocardiographic indices of left ventricular function. *Chest* **76**: 441, 1979
- 12) Mouloupoulos SD, Sarcas A, Stamatelopoulos S,

- Arealis E: Left ventricular performance during by-pass or distension of the right ventricle. *Circ Res* **17**: 484, 1965
- 13) Williams JF Jr, Childress RH, Higgs LM, Behnke RH: Left ventricular function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Clin Invest* **47**: 1143, 1968
- 14) Baum GL, Schwartz A, Llamas R, Castillo C: Left ventricular function in chronic obstructive lung disease. *N Engl J Med* **285**: 361, 1971
- 15) Frank MJ, Weisse AB, Moschos CB, Levinson GE: Left ventricular function, metabolism, and blood flow in chronic cor pulmonale. *Circulation* **47**: 798, 1973
- 16) Ries AL, Fedullo PF, Clausen JL: Rapid changes in arterial blood gas levels after exercise in pulmonary patients. *Chest* **83**: 454, 1983