

心拍固定運動負荷法における左心機能：心エコー図による検討

Echocardiographic evaluation of left ventricular performance during fixed heart rate isometric exercise

高元 俊彦  
家坂 義人  
丹羽 明博  
宮原 康弘  
谷口 興一  
武内重五郎

Toshihiko TAKAMOTO  
Yoshito IESAKA  
Akihiro NIWA  
Yasuhiro MIYAHARA  
Koichi TANIGUCHI  
Jugoro TAKEUCHI

**Summary**

To evaluate the response of left ventricular performance to fixed heart rate isometric exercise, echocardiographic and hemodynamic studies were performed in 23 patients with heart diseases, comparing with the usual method (non-fixed heart rate isometric exercise). The subjects were classified into two groups. Group I consisted of 11 patients with normal left ventricular end-diastolic pressure (LVEDP  $\leq$  12 mmHg) at rest, and group II was composed of 12 patients with elevated LVEDP ( $\geq$  13 mmHg). Fixed rate isometric exercise was performed in 13 of 23 patients using atrial pacing and weight sustaining method devised by the authors. Atrial pacing was carried out at the rate of 125% of spontaneous beats.

Systolic ejection indices (FS: fractional shortening, EF: ejection fraction, and mPWV: mean posterior wall velocity) did not significantly change during non-fixed rate isometric exercise in group I and II. On the contrary, systolic ejection indices increased during fixed rate isometric exercise in group I, while decreased in group II. Especially, Ds (left ventricular end-systolic dimension) was significantly increased during fixed rate exercise with little change in Dd (left ventricular end-diastolic dimension) in group I, whereas no improved parameters were noted in group II. These results suggest that cardiac contractility will play the important role in an increase in stroke volume with fixed rate exercise. We considered that fixed rate exercise is more available for the precise evaluation of left ventricular performance than non-fixed method.

**Key words**

Left ventricular performance

Isometric exercise

Fixed heart rate exercise

東京医科歯科大学 第二内科  
東京都文京区湯島 1-5-45 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine, Tokyo  
Medical & Dental University, Yushima 1-5-45,  
Bunkyo-ku, Tokyo 113

Presented at the 20th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Nagoya, March 29-30, 1980

Received for publication June 9, 1980

諸 言

心拍出量の調節は 1) 前負荷 (preload), 2) 心収縮力 (contractility), 3) 後負荷 (after load), および 4) 心拍数 (HR) によって決定される。運動負荷を開始すると, 呼吸循環系の予備力が動員されて心拍出量の増大をきたし, さらに右心系の血液はより速く左心へ送られるが, この runoff の増加により静脈環流は増大する。運動負荷により, 心疾患の心機能を検討する場合, 心拍数を固定し, 他の機能因子がどのように動員されるかを検討すれば, より厳密な心機能の把握が可能と考えられる。そこで心房ペースングにより負荷中の心拍数を固定する方法と, 等尺性負荷法の併用すなわち心拍数固定等尺性負荷を実施し, 従来の非心拍固定負荷法と比較検討した<sup>1)</sup>。

対象および方法

対象は虚血性心疾患を除く各種心疾患 23 例 (男 12 例, 女 11 例, 年齢 15~59 歳, 平均 39 歳) で, すべて正常洞調律であった。心カテーテル検査時, 全例に二段階定滑車重量負荷法 (Fig. 1) を施行した。負荷前の左室拡張末期圧 (LVEDP) 12 mmHg 以下の症例を Group I (NYHA 分類 I~II 度), 13 mmHg 以上の症例を Group II (NYHA 分類 II~III 度) とし, Group I は心

Isometric Exercise

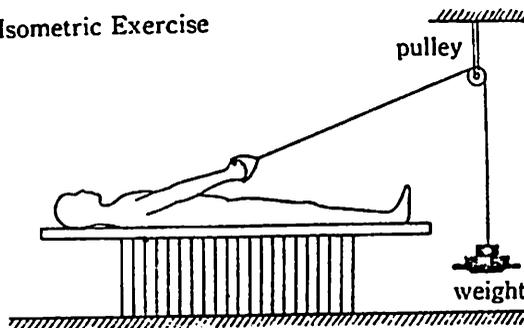


Fig. 1. Each patient was given two graded (25% maximum voluntary contraction, and 50% maximum voluntary contraction) weight sustaining isometric exercise for 6 minutes.

Table 1. Classification of subjects

	Heart rate	No. of patients	NYHA class	LVEDP (mmHg)
Group I	Fixed	7	I, II	≤12
	Non-fixed	4		
Group II	Fixed	6	II, III	≥13
	Non-fixed	6		

拍固定群 (F 群) 7 例, 非心拍固定群 (N 群) 4 例, Group II は F 群 6 例, N 群 6 例であった。N 群と F 群の平均年齢はそれぞれ 33.1±12.7 歳 (mean±S.D.) と 44.5±9.4 歳で有意の差を認めず, また両群間に基礎疾患の偏りも認めなかった (Table 1)。

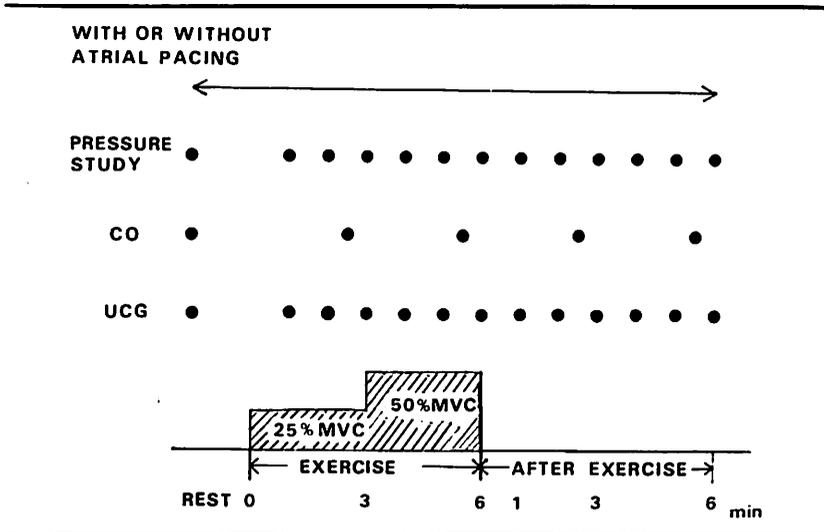
負荷法は初回, 最大握力 (MVC) 25% 3 分, ついで 50% MVC 3 分計 6 分間の二段階負荷とし, 負荷前より負荷中をとおして心拍を一定とする目的で, 検査施行前の自発心拍の約 25% 増の頻度で心房ペースングを行った。このさい, 非生理的条件設定を避ける意味から, pacing rate は最大 100/分 とし, 検査前より頻拍の症例は除外した。検査中, 心内圧, 熱希釈法による心拍出量の測定および心エコー図の記録を経時的に行った (Table 2)。UCG 記録装置は Aloka 製 SSD-110S で, 周波数 2.25 MHz, 焦点距離 7.5 cm の凹面探触子を用い, 僧帽弁前尖の見えかくれする通常方向にビームを投入左室エコー像を得た。記録は Honeywell 製 strip chart recorder にて, 50 mm/sec で行った。心拍固定負荷実施中に記録した心エコー図の例を Fig. 2 (左: Group I, 右: Group II) に示した。

成 績

1. 心 拍 数

非心拍数固定群における心拍数の増加は, 負荷に対し直線的に増大し, 50% MVC 負荷時は負荷前値に比し Group I では 110±3.3% (mean±S.D.), Group II では 124±5.6% で Group II で, 心拍数増加率が有意に大 (p<0.01) であ

**Table 2. Intracardiac pressure and echocardiograms recorded just before, during and after the exercise on every one minute**



Cardiac output was measured five times by thermodylution method at rest, during and after the exercise.

MVC=maximum voluntary contraction.

った (Fig. 3). 一方, 心拍数固定群では, 負荷中 pacing rate を上回る自発心拍の出現を認めず, 負荷検査中をとおして心房ペースングにより心拍を一定とすることが可能であった.

**2. Fractional shortening (FS)**

Fig. 4 に N 群, F 群の FS の経時的变化を負荷前と比較した増加率 (%ΔFS) にて示した. N 群においては, 負荷時 Group I では増大の傾向を認めたが, 統計学的有意差はなく, Group II は一定の傾向を認めなかった. これに対し F 群では, Group I は 50% MVC において 117±3% (p<0.01) と有意の増大を示し, Group II では 82±11% (NS) と減少傾向を認め, FS が負荷時増大する Group I と減少傾向の Group II に明瞭に区別された.

**3. 駆出率 (ejection fraction: EF)**

同様に EF 増加率 (%ΔEF) の経時的变化 (Fig. 5) を示すと, N 群においては最大負荷時 Group I で 103±1% (p<0.05) と有意に増大, Group

II では 87±11% (NS) と減少したが, 両群間に有意差を認めなかった. これに対し F 群では同じく最大負荷時 Group I で 110±2% (p<0.01), Group II で 85±11% (NS) となり, 両群間に有意差 (p<0.01) を認めた.

**4. 左室平均収縮速度 (mPWV)**

50% MVC 施行時, mPWV 増加率 (%ΔmPWV) はとくに F 群において, Group I で 121±10% (p<0.05), Group II で 97±6% (NS) で, 両群間にも有意差 (p<0.05) を認め, 心機能良好群で負荷時心収縮力の増大を認めた (Fig. 6).

**5. 心拍出量 (CO)**

熱希釈法により求めた心拍出量 (CO) は, 安静時 Group I で 4.8±1.0 (l/min) から 5.6±1.6 (p<0.05) と増大したが, Group II では 4.0±1.2 から 4.3±1.4 (NS) と一定の傾向はなかった. そこで心拍出量の増減に対する preload の態度を検討するため, F 群における心拍出量と

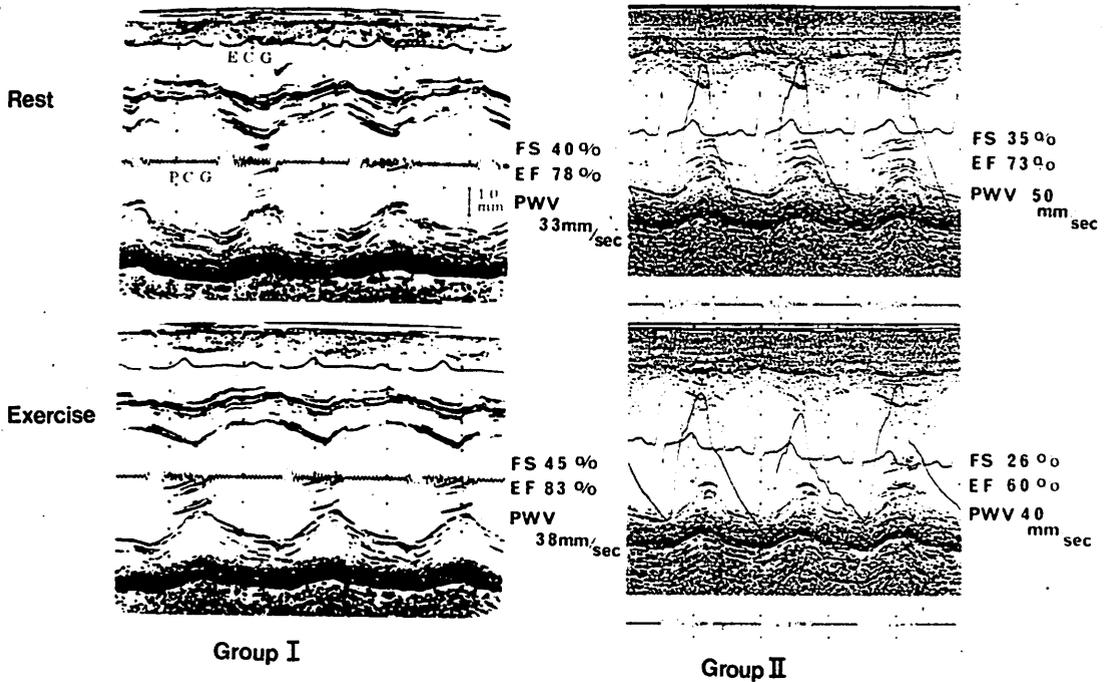


Fig. 2. The echocardiograms at rest and at the fixed heart rate isometric exercise of 50% MVC from a patient in group I and a patient in group II.

FS=fractional shortening; EF=ejection fraction; mPWV=mean posterior wall velocity.

左室拡張末期径 (Dd) との関係を検討した (Fig. 7). Group I では Dd は負荷前  $50 \pm 4.8$  (mm) から  $51 \pm 4.7$  (NS) へとほとんど変化なく, CO は  $4.9 \pm 0.4$  (l/min) から  $5.8 \pm 0.7$  (NS) へと増大した. Group II では Dd は  $57.3 \pm 2.2$  から  $59.3 \pm 2.2$  (NS) へと Group I に比し増大したが, CO は  $4.8 \pm 0.5$  から  $5.1 \pm 0.5$  へとその増加は Group I に比し小さかった.

### 考 察

等尺性負荷は施行中安定性が高く, 体動も少ないため心カテーテル施行中でも実施可能であり, さらに UCG の記録が容易でビーム方向の再現性も高い. しかし臨床上的の評価についてはいくつかの問題点がある. すなわち 1) 心血管反応の特殊性, 2) 自律神経の関与, 3) Valsalva 現象,

4) 心因性反応, 5) 安全性などである<sup>2-4)</sup>. 著者らは, これらの問題点を最小限にするため被検者が把手を持つだけの定滑車重量負荷法を施行している<sup>5,6)</sup>.

本研究では心機能をより厳密に評価する目的で, 負荷中をとおして心拍数を一定とする新しい条件設定を付加したが, このような試みは著者らが調べた範囲でははじめてである. 対象から虚血性心疾患を除いたが, 虚血性心疾患ではたとえ安静時に asynergy を認めなくとも, 負荷により asynergy が誘発される場合があり, 心エコー図による左室駆出性指標の評価には問題があると考えたためである<sup>7-9)</sup>. また固定心拍の頻度を負荷前自発心拍の 125% としたのは, N 群 Group II における心拍数の増大が 124% 以内であったためである.

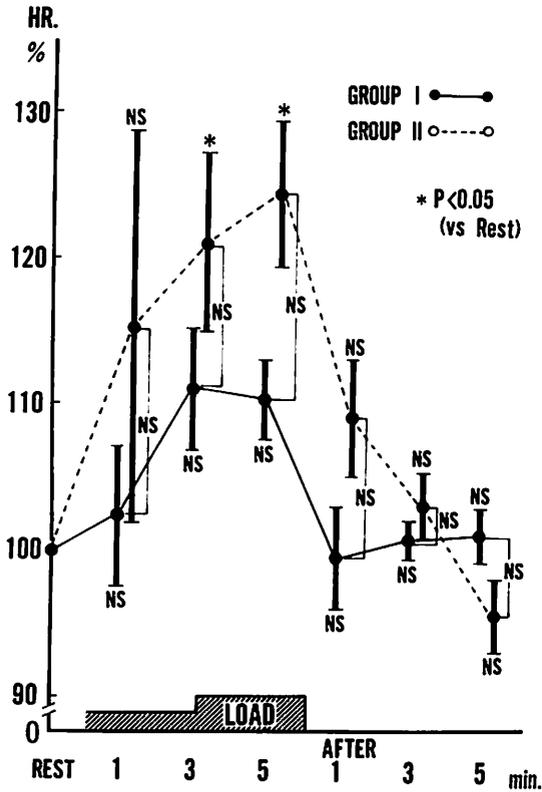


Fig. 3. Increasing rates of heart rate (HR) during non-fixed heart rate isometric exercise.

等尺性負荷による収縮期駆出性指標 systolic ejection indices (SEI), すなわち FS, EF (Pomb 法), mPWV の変化を比較検討すると, まず N 群では Group I で増加の傾向を認めたが, Group II では一定の傾向を認めなかった. N 群 Group I における SEI の増大は左室拡張末期径 (Dd) が不変またはやや減少したのに対し, 収縮末期径 (Ds) が有意に減少したことによる. 健常者に関する報告<sup>10-13)</sup>をみると, 諸家の成績はほぼ一致し, Dd および Ds いずれも不変で, CO の増大は HR の増大によると述べている. 著者らの Group I との差異は, 対象が異なること, 方法が異なること, および負荷時間が長く負荷量が大きいことなどによると考えられる. また Fo-

gelman<sup>14)</sup>らは健常者における handgrip 負荷により, maximal systolic endocardial velocity が増大したことを報告しているが, 著者らの N 群 Group I における成績でも同様な所見であった. N 群 Group II における SEI の変化は症例間のばらつきが大であるが, これは対象が大動脈弁閉鎖不全・僧帽弁閉鎖不全などの逆流性疾患, ならびに高血圧性心疾患などの非逆流性疾患により構成され, 疾患による血行動態の差異と症例間にみられる心予備能の差異などが複雑に交錯して, SEI の変化に大きなばらつきをもたらしたものと考えられる.

F 群における駆出性指標の変化を, Group I と Group II について比較検討すると, Group I では Dd が不変, Ds が減少し, SEI は有意に増大, Group II は明瞭に区別された. CO と preload (Dd) との関係をみると, Group I では preload の関与はほとんどなく, HR が一定であるから CO の増大は心収縮力の増大によることが明らかであり, Group II では preload の増大が Group I に比し大きい有意の CO 増大はみられなかった. 換言すると Group II では負荷に対する心血管反応が低下し, 心収縮力の増大または Starling 機序が働いていないことを示唆している.

以上のことから, 心拍数固定負荷法は侵襲的な心房ペースングを併用せねばならず, 手軽に施行できない欠点があるが, 心機能評価の有用な方法と考えられる. なお本検査施行中ペースングによる合併症は認めず安全性は高いと思われた.

## 要 約

虚血性心疾患を除く各種心疾患に対し, 心拍数固定等尺性負荷を施行し, 左心機能の検討を行った.

1) 非心拍数固定法では, 収縮期駆出性指標 (FS, EF, mPWV) は Group I, Group II とともに一定の傾向を認めず, 両群間にも有意の差を認めなかった. それは負荷による血行動態の反応態

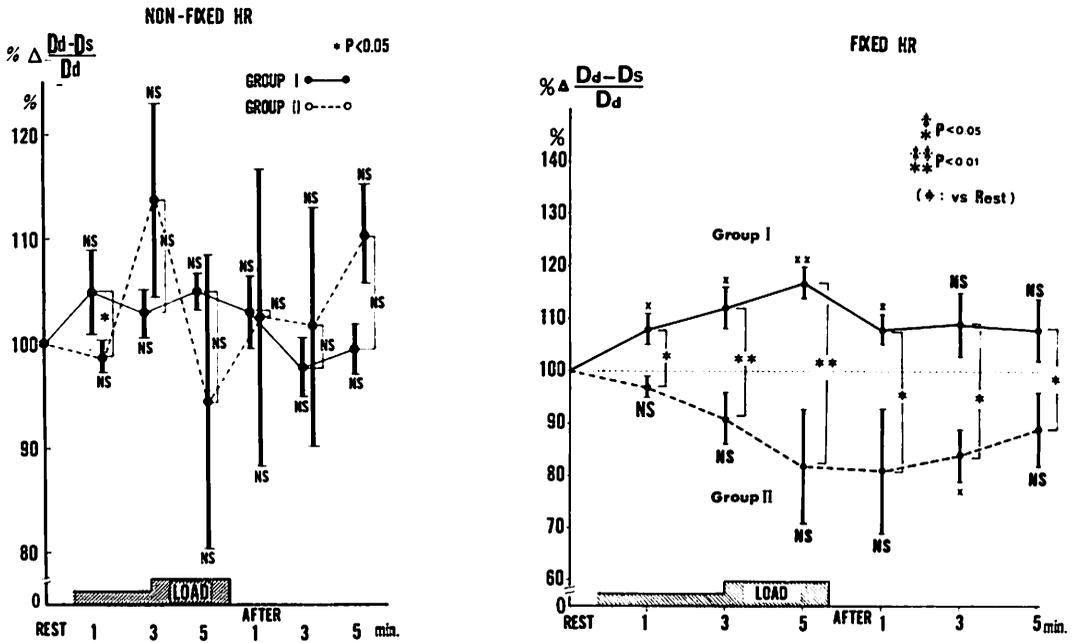


Fig. 4. Increasing rates of fractional shortening (FS) during isometric exercise (Left: non-fixed HR method, Right: fixed HR method).

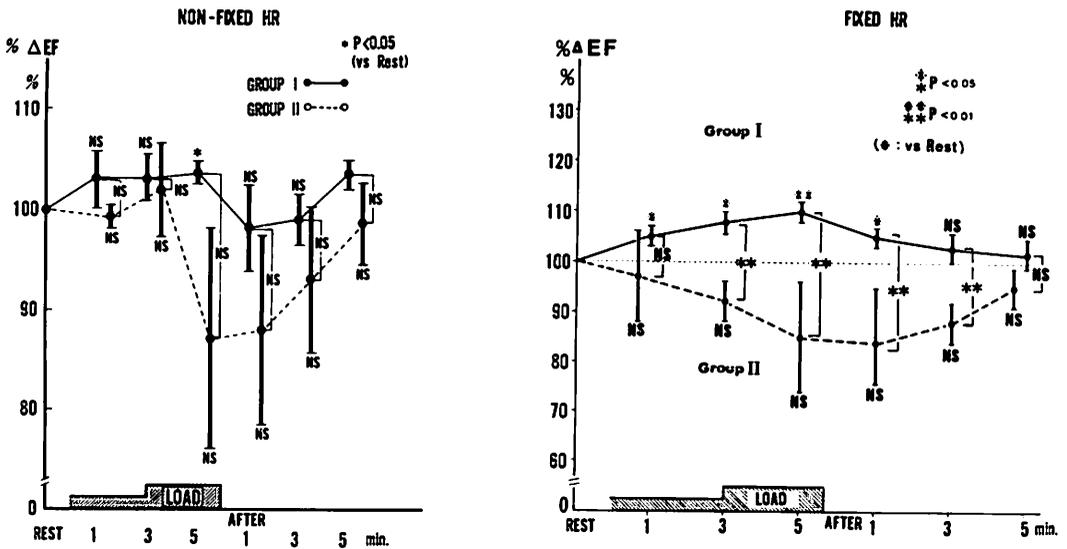


Fig. 5. Increasing rates of ejection fraction (EF) during isometric exercise (Left: non-fixed HR method, right: fixed HR method).

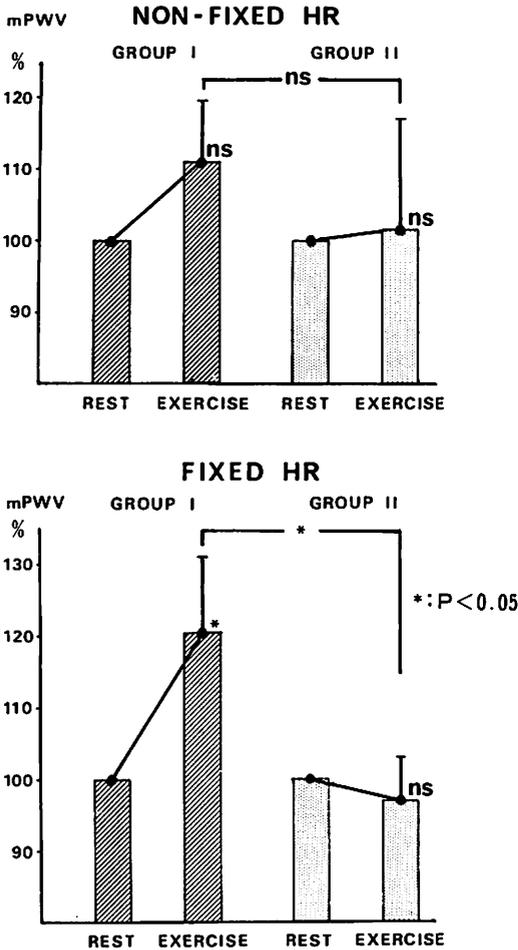


Fig. 6. Increasing rates of mean posterior wall velocity (mPWV) during isometric exercise (Upper: non-fixed HR method, lower: fixed HR method).

度が症例間によりばらつきが大きいためと考えられる。

2) 心拍数固定負荷法による収縮期駆出性指標は Group I では有意に増大, Group II では減少し, 両群間に有意差を認めた. すなわち心拍数固定法においてはばらつきが少なく, かつ preload の関与はほとんどみられず, CO の増大は心収縮力の動員によると考えられる。

3) 心拍固定負荷法は, 心拍を固定しない負荷

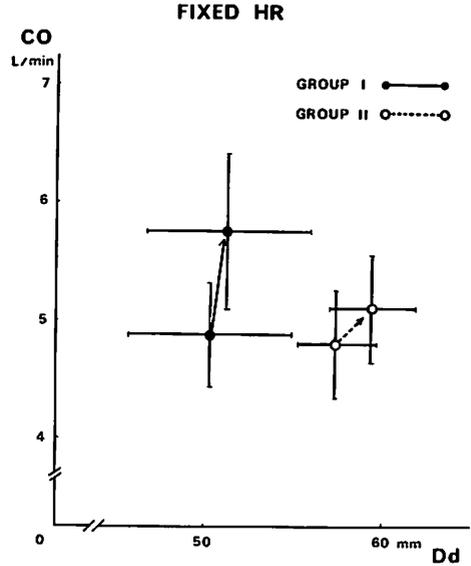


Fig. 7. Relationships between cardiac output (CO) and left ventricular diastolic dimension (Dd).

法に比べ, 不全心群における心機能障害をより明瞭に把握することが可能である。

#### 文献

- 1) Takamoto T, Iesaka Y, Niwa A, Hujiwara H, Taniguchi K, Takeuchi J: Echocardiographic evaluation of left ventricular performance with fixed heart rate isometric exercise. Abstract of 2nd meeting of WFUMB: 241, 1979
- 2) Atkins JM, Matthews OA, Houston JD, Blomquist CG, Mullins CB: Arrhythmias induced by isometric (handgrip) exercise. Clin Res 19: 303, 1971
- 3) Hoel BL, Lorentsen L, Lund-Larsen PG: Haemodynamic responses to sustained hand-grip in patients with hypertension. Acta Med Scand 188: 491, 1970
- 4) Atkins JM, Matthews A, Bolmquist CG, Mullins CB: Incidence of arrhythmias induced by isometric and dynamic exercise. Brit Heart J 38: 465, 1976
- 5) 谷口興一: 最近の運動負荷試験. 臨床成人病 4: 987, 1974
- 6) 藤原秀臣, 谷口興一, 飯泉智弘, 丹羽明博, 鯉坂隆

高元, 家坂, 丹羽, ほか

- 一, 家坂義人, 新富芳明, 武内重五郎: 等尺性負荷による循環諸指標の評価. 心臓 10: 791, 1978
- 7) McLaughlin PR, Martin RP, Doherty P, Daspit S, Goris M, Haskell W, Lwsiw S, Kriss JP, Harrison DC: Reproducibility of thallium-201 myocardial imaging. *Circulation* 55: 497, 1977
- 8) 杉下靖郎, 小関 迪, 新富芳明: 運動負荷と心エコー図法. *Jpn Circulat J* 42 (Suppl): 38, 1978
- 9) 鯉坂隆一, 藤原秀臣, 丹羽明博, 飯泉智弘, 谷口興一, 武内重五郎: 労作狭心症の運動負荷における心室壁運動: 心エコー図法による検討. *J Cardiology* 9: 511, 1979
- 10) Stefadouros MA, Grossman W, Shahawy ME, Stefadouros F, Witham AC: Noninvasive study of effect of isometric exercise on left ventricular performance in normal man. *Brit Heart J* 36: 988, 1974
- 11) Stefadouros MA, Grossman W, Shahawy ME, Witham AC: The effect of isometric exercise on the left ventricular volume in normal man. *Circulation* 49: 1185, 1974
- 12) Laird WP, Fixler DE, Huffines FD: Cardiovascular response to isometric exercise in normal adolescents. *Circulation* 59: 651, 1979
- 13) Crowford 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
- 14) Fogelman AM, Abbasi AS, Pearce ML, Kattus AA: Echocardiographic study of the abnormal motion of the posterior left ventricular wall during angina pectoris. *Circulation* 46: 905, 1972