— 原 著 —

健常人の起立位における左室後壁収縮期 奇異性運動に関する研究

心エコー図法による検討

佐々木 熙之

日本医科大学内科学第1教室

Paradoxical motion of the posterior wall of the left ventricle in the standing position in healthy subjects Assessment by echocardiography

Hiroyuki Sasaki

The First Department of Internal Medicine, Nippon Medical School

Paradoxical motion of the posterior wall of the left ventricle (LV) in the standing position was studied in 70 healthy subjects using echocardiography. Echocardiographic studies were performed in two body positions: supine and standing. Paradoxical motion (PM) of the posterior wall was defined as outward systolic motion for longer than 50% of systolic duration. Studies in the supine position showed normal systolic motion (NL) in all 70 subjects. However, studies in the standing position showed PM of the posterior LV wall in 46 subjects (66%) (PM group), and NL in 24 subjects (NL group). In the standing position, peak outward motion was much greater (4.8 ± 1.7 mm vs 2.7 ± 1.1 mm) in the PM group. Duration of the outward motion was also much greater in the PM group ($67.4 \pm 11.9\%$ vs $45.4 \pm 6.4\%$). PM was significantly more frequent in male subjects, in taller subjects and in subjects with lower body weight. At the time of the peak outward motion, there were strong correlations between posterior wall excursion and septal excursion, and between posterior wall excursion and mitral ring excursion. In the PM group, the % increase in heart rate from the supine to standing position was greater, and the % decrease in LV end-diastolic dimension, LV end-diastolic volume, stroke volume and cardiac index were greater. Standing calf venous volume measured by plethysmography was also much greater in the PM group.

We conclude that this phenomenon presumably relates to an enhanced posterior motion of the entire heart in systole and to an altered contraction pattern of the posterior wall in the standing position. It is seen as having an important role in the interpretation of tests of LV function carried out in the standing position.

Key words: paradoxical motion, standing position, echocardiography, plethysmography

結 言

健常人の起立位心エコー図において左室後壁の収縮期奇異性運動¹⁻⁵⁾を認めることが経験されるが、これに関する研究はいまだきわめて少ない。したがって、この現象につき詳細に研究することは種々の心疾患の起立位における心機能や壁運動を評価する際に不可欠な

情報になると考えられる。

本研究の目的は、健常人を対象として心エコー図法を用い、仰臥位と起立位における左室壁運動、とくに起立位でみられる後壁の収縮期奇異性運動を定量的に評価すること、循環動態と奇異性運動との関係を明らかにすること、ならびに本現象の発生機序について検討することにある。

Correspondence to Hiroyuki Sasaki, The First Department of Internal Medicine, Nippon Medical School Hospital, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113 Japan.

研究対象および方法

(1) 対象

対象は無作為に選んだ健康人 70 名（男性 33 名，女性 37 名，年齢 18～46 歳，平均年齢 27.8 ± 4.9 歳）である。健康人の基準は，特別な既往歴を有さず，試験前の血圧および心拍数が正常範囲内であり，胸部聴診所見，心電図および仰臥位での心エコー図検査にて異常を認めず，かつ何ら薬物を服用していないものとした。なお，起立時の眩暈にて試験を中断したものと臥位および起立位の両体位にて明瞭な心エコー図を記録しえなかったものは対象から除外した。

(2) 方法

被験者はベット上にて仰臥位で 10 分間の安静をとったのち，血圧，心電図，断層心エコー図（two-dimensional echocardiography：2-D echo と略す）を記録した。次に被験者を起立位とし，起立位での静止 10 分後⁶⁻⁸⁾より同様の検査を行った。対象 70 名のうち 40 名（男性 22 名，女性 18 名，平均年齢 26.9 ± 4.8 歳）では，さらに M モード心エコー図（M-mode echocardiography：M-mode と略す）を両体位で記録し，左室壁運動および心血行動態を定量的に評価した。また，30 名（男性 11 名，女性 19 名，平均年齢 29.1 ± 4.6 歳）にはブレスモグラフィを用い下肢末梢循環動態を検討した。以下に各検査方法の実際を記述する。

1) 血圧，心拍数の測定

水銀血圧計を用いて右上腕動脈の血圧を仰臥位および起立位にて測定した。なお，起立位では被験者が左手で血圧計を心臓の高さに保持し，この状態で血圧を測定した。心拍数は心電図より算出した。

2) 心エコー図の記録

心エコー装置は発信周波数 3.75 MHz の探触子を有する電子扇形走査型断層心エコー装置 Sonolayer SSH-65 A（東芝社製）を使用した。被験者を初めに仰臥位または左半側臥位（ $15^\circ \sim 30^\circ$ ）とし，次に起立位にて，探触子を第 3 ないし第 4 肋間胸骨左縁に置き，浅い呼吸停止時に心エコー図を記録した。

2-D echo は左室長軸像と左室短軸像（僧帽弁から乳頭筋レベルまで）を描出し，それぞれの画像をビデオレコーダー AG-6300（ナショナル社製）に数回繰り返し収録した。

M-mode は断層心エコー像の観察下に僧帽弁尖，腱索および乳頭筋レベルの左室像を個々に描出し，さらに大動脈弁レベルから乳頭筋レベルまでの M モード

スキャンを行い，紙送り速度 50 ないし 100 mm/sec でラインスキャンレコーダーに記録した。この際，M モードビームが心室中隔と左室後壁の両者に垂直に入射するように探触子の位置とビーム方向を微調整した。その結果，連続的な中隔エコーと後壁エコーを同時に，かつ明瞭に記録しえた。

3) 心エコー図の解析

心エコー図の解析に際しては，心エコー図と同時記録した心電図 II 誘導の QRS 波の開始を拡張末期，心音図の II 音大動脈成分の開始を収縮末期とし，拡張末期から収縮末期までを収縮期と定義した^{9,10)}。

i) 2-D echo の解析

2 名の検者（著者および心エコー図に習熟した内科医）が個別にビデオテープを繰り返し再生し，スローモーション，コマ送り，あるいは心内膜エコーのトレースを行い，視覚的に左室後壁の収縮期奇異性運動（paradoxical motion：PM と略す）の有無を観察した。すなわち，収縮期の開始とともに後壁が後方（背側）へ運動し，この後方運動が収縮期時間の 50% 以上持続して認められるものを PM と定義した。一方，後方運動が全く認められないもの，あるいは後方運動があってもその持続時間が収縮期時間の 50% 未満のものを正常（normal：NL と略す）とした。

僧帽弁輪部の振幅は，左室長軸像にて拡張末期から後壁の後方運動が最大となる時点までの弁輪部の前後方向への移動距離として計測した。前方（胸壁側）へ運動した場合は正号，後方へ運動した場合は負号で表した。

2) M-mode の解析

M-mode の計測部位は僧帽弁尖レベルから腱索レベルまでの左室像を選択した。起立位の M-mode では左室後壁像が僧帽弁輪部あるいは左房後壁でないことを十分に確認した。

左室壁運動および心血行動態の評価を目的として，Fig. 1 に示すごとく収縮期を経時的に 4 等分した。各々の収縮期時点は拡張末期を P0，収縮末期を P4 とし，この間を 4 等分することにより 25% 収縮期を P1，50% 収縮期を P2，75% 収縮期を P3 とした。マイクロコンピュータを内蔵し，2 点間識別距離 0.24 mm の精度を持つ picture analyzer Σ-5（MSR 社製）を用い，P0 から P4 までの各時点における以下の M-mode 諸指標を計測した。

左室短軸径（LVD/P0—P4）（cm）

左室後壁振幅（PWE/P1—P4）（mm）

Fig. 1 Diagram of M-mode echocardiogram at the level of the chordae demonstrating the method of measuring each parameter. Abbreviations are as follows ECG: electrocardiogram, IVSE: interventricular septal excursion, LVD: left ventricular dimension, Min. PWE: minimum posterior wall excursion, PCG: phonocardiogram, PWE: posterior wall excursion, TX: time interval from P0 to Min. PWE, TZ: duration of outward motion of the posterior wall.

心室中隔振幅 (IVSE/P1-P4) (mm)

なお、壁運動指標としてのPWEとIVSEの符号に関しては、左室壁が左室腔中心部に向かって収縮した場合、すなわち後壁は前方へ、中隔は後方へ運動した場合にそれぞれを正号で表し、これとは逆方向へ運動した場合には負号で表した。

M-mode上のPMの有無とその程度を表す次の3つの指標を計測した (Fig. 1)。

Min. PWE (mm): 最小の後壁振幅、すなわち後方運動の最大振幅 (負号またはゼロ)。

TX (%): 時点P0からMin. PWEまでの時間、(P0-P4)時間で除して収縮期時間に対する比率で表した。

TZ (%): 後方運動の持続時間、すなわち時点P0から後方運動が基線に復するまでの時間、(P0-P4)時間に対する比率で表した。

したがって、TZ $\geq$ 50% (PWE/P2 $\leq$ 0)はM-mode上PMあり、TZ<50% (PWE/P2>0)はNLと判定した。

心血行動態と左室壁運動との関係を検討する目的にて、時点P0とP4における左室短軸径(各々Dd, Ds)より左室内径短縮率(%FS)を算出し、さらにTeichholzの式¹¹⁾を用いて左室拡張末期容積(EDV)と収縮末期容積(ESV)を算出して、これより一回心拍出量(SV)、左室駆出率(EF)、心拍出量係数(CI)を以下の計算式より求めた。

$$\%FS (\%) = (Dd - Ds) / Dd \times 100$$

$$SV (ml) = EDV - ESV$$

$$EF (\%) = SV / EDV \times 100$$

$$CI (l/min/m^2) = SV \times HR / BSA$$

ここでHRは心拍数、BSAは体表面積である。また、仰臥位と起立位における指標の差は、

$$\text{変化率} = \frac{\text{起立位での値} - \text{仰臥位での値}}{\text{仰臥位での値}}$$

で表現した。

4) プレチスモグラフィ

下肢の末梢循環動態はvenous occlusion法によるpneumatic plethysmograph (EDI社製)を用いて検討した¹²⁻¹⁵⁾。臥位における測定では被験者をX線透視台上に仰臥位とし、右下肢に3種のcuffを装着した。それぞれのcuffに適正な圧を加えて下腿腓腹部(calf)の容積脈波曲線を記録した。この曲線より動脈側抵抗血管の指標であるcalf blood flowとcalf vascular resistanceを、また静脈側容量血管の指標となるcalf venous capacitanceを算出した。

起立位における測定は、仰臥位で容積脈波曲線の基線を設定し、次いでX線透視台を90度の起立位となるまで起こして被験者を足台の上に起立静止させた。腓腹部の静脈容積が増加し、容積脈波曲線が平衡状態になった時点でcalf venous volumeを計測した。なお、原則として連続2回の実測値の平均値をもってその測定値とした。

5) 再現性

心エコー所見の再現性を検討する目的にて、初回検査の2週から3ヵ月後に無作為に対象を選択し、第2回目の2-D echoは70名中25名で、第2回目のM-modeは40名中15名で施行した。

6) 統計学的解析

えられた数値は原則として平均値 $\pm$ 標準偏差(mean $\pm$ 1SD)で表した。統計学的解析にはchi-square test, Student's t-test,あるいは回帰分析を用い、5%以下の危険率をもって統計学的有意とした。

Fig. 2 Sample composite long-axis images of a healthy subject in the supine (A, B and C) and standing (D, E and F) positions, at end-diastole (A, D) and mid-systole (B, E).

Superimposition of the end-diastolic (dashed lines) and mid-systolic images (solid lines) in the supine position (C), and that in the standing position (F). Normal wall motion is shown in the supine position while paradoxical motion of the posterior left ventricular wall (arrows) is noted in the standing position (E, F)

成 績

1. 2-D echo による左室後壁運動の評価

起立位 2-D echo にて PM ありと判定された 1 例の傍胸骨左室長軸断層像を Fig. 2 に示した。本症例では仰臥位 (A, B, C) において、左室後壁は収縮早期に極く軽度の後方へ運動したのち (持続時間は収縮期時間の 50% 未満)、直ちに前方へ運動する正常な心収縮が認められ、仰臥位 2-D echo は NL であった。しかし、起立位 (D, E, F) では矢印で示すごとく、後壁が収縮期の 50% 以上にわたって後方運動しているのが観察され、起立位 2-D echo では PM ありと判定された。

対象 70 名における左室後壁運動は、仰臥位では全例が NL であった。一方、起立位では 24 名 (34.3%) に NL を認め、これを NL 群とした。残る 46 名 (65.7%) には PM を認め、これを PM 群とした。以後、対象を

起立位 2-D echo の所見に基づく NL 群と PM 群の 2 群に分け、性、体型、血圧および心拍数に関してはこの 2 群間で比較した。

2. M-mode による左室後壁運動の評価

Fig. 3 に起立位 2-D echo にて NL と判定された 1 例の M-mode を示した。仰臥位 (上段) では後壁の後方運動は全く認められず、時点 P2 における後壁振幅 (PWE/P2) は 5.4 mm であった。一方、起立位 (下段) では矢印で示すごとく後方運動が認められた。しかし、後方運動の持続時間 (TZ) は 40.3% (<50.0%), PWE/P2 は 1.9 mm (>0) であったことより、本症例は起立位 M-mode においても NL と判定された。

Fig. 4 には Fig. 2 と同一症例の僧帽弁から腱索レベルまでの M モードスキャンを示した。仰臥位 (上段) では、後壁は収縮早期に軽度な後方運動 (Min.

SUPINE

B:PWE/P2=5.4mm

STANDING

A:Min. PWE=-0.8mm

B:PWE/P2=1.9mm

C:TZ=40.3%

Fig. 3 A sample M-mode echocardiogram of a healthy subject in the supine (top) and standing (bottom) positions. Normal wall motions are shown in both postures. See text for details.

PWE=-2.1 mm, PWE/P2=1.8 mm, TZ=33.7%) を呈したのち、直ちに前方運動を示し NL であった。一方、起立位（下段）では、後壁は図中の矢印で示すごとく全収縮期に及ぶ著明な後方運動を呈しており (Min. PWE=-7.3 mm, PWE/P2=-6.6 mm, TZ=100.0%), 本症例は 2-D echo 所見と同じく起立位 M-mode においても PM ありと判定された。

M-mode を施行した対象 40 名において、起立位 2-D echo 所見に基づく NL 群は 12 名 (30.0%), PM 群は 28 名 (70.0%) であった。M-mode の諸指標に関してはこの 2 群間で比較した。なお、NL 群 12 名中 2 名では起立位 M-mode にて後方運動の持続時間 (TZ) が 50%以上であったため、M-mode では PM ありと判定された。その内訳をみると 1 名では TZ=50.1%, 他の

SUPINE

STANDING

Fig. 4 M-mode echocardiogram of the same subject in the same postures as in Fig. 2.

Prominent paradoxical motions of the posterior wall in the standing position are indicated by arrows. Also, note that the left ventricular dimension is smaller in the standing position than in the supine position. See text for details.

1名ではTZ=58.1%であった。PM群28名では全例が起立位M-modeでもPMありと判定された。したがって、PMの有無に関して2-D echoとM-modeは40名中38名(95.0%)で一致した。

3. 性、体型

NL群とPM群の年齢、性、身長、体重、体表面積、肥満度をTable 1に示した。NL群に比しPM群では男性の占める比率が有意($p < 0.05$)に高かった。身長はPM群で有意($p < 0.01$)に高かった。体重と体表面積には両群間で差を認めなかったが、%body weightで表した肥満度はPM群で有意($p < 0.01$)に小であった。

Table 1 Comparison of age, sex and body constitutions between the group of NL and that of PM

	NL	PM	p
No. of subjects	24	46	
Age	28.5±4.2	27.5±5.2	ns
Sex(male/female)	7/17	26/20	$p < 0.05$
Height (cm)	160.0±7.3	166.3±8.1	$p < 0.01$
Weight (kg)	56.1±10.7	56.9±8.9	ns
BSA (m ²)	1.59±0.16	1.65±0.15	ns
%Body Weight (%)	3.6±13.8	-4.6±10.4	$p < 0.01$

Values are expressed as mean±SD. Abbreviations BSA: body surface area, NL: normal, ns: not significant, p: probability, PM: paradoxical motion

4. 血圧、心拍数

血圧と心拍数を2群に分けTable 2に示した。仰臥

Table 2 Comparison of blood pressure and heart rate between the two groups

	NL (n=24)	PM (n=46)	p
BPs/SPN (mmHg)	110.8±10.5	112.2±10.0	ns
BPd/SPN (mmHg)	69.4±10.2	69.8±8.4	ns
BPs/STD (mmHg)	111.8±10.6	110.9±11.6	ns
BPd/STD (mmHg)	77.3±11.1	77.7±9.4	ns
%ΔBPs (%)	1.1±7.5	-1.2±6.1	ns
%ΔBPd (%)	12.1±12.9	11.8±10.8	ns
HR/SPN (beats/min)	61.6±10.2	63.1±7.4	ns
HR/STD (beats/min)	73.6±11.8	79.9±12.5	p<0.05
%ΔHR (%)	20.0±9.0	27.2±17.3	p<0.05

Values are mean±SD. BPd: diastolic blood pressure, BPs: systolic blood pressure, HR: heart rate, n: number of subjects, SPN: supine, STD: standing, %ΔBPs, %ΔBPd and %ΔHR: percent change in BPs, BPd and HR, respectively, from the supine to standing position, other abbreviations as in Table 1

位における収縮期血圧と拡張期血圧および起立位におけるそれらには両群間で有意な差を認めなかった。また、体位の差異による血圧の変化率(%ΔBP)にも収縮期、拡張期ともに両群間で差を認めなかった。心拍

数に関しては、仰臥位では両群間で差を認めなかったが、起立位ではNL群に比しPM群で有意($p<0.05$)に多かった。また、体位の差異による心拍数変化率(%ΔHR)もPM群で有意($p<0.05$)に多かった。

5. 左室後壁運動

後壁運動の指標としての後壁振幅(PWE)と収縮期時点との関係(Fig. 5)をみると、破線で示した仰臥位でのPWEには時点P1からP4まで両群間に差を認めなかった。Min. PWEとTXに関しても差はなかった。TZはNL群では $27.4\pm9.6\%$ であったのに対しPM群では $35.0\pm8.3\%$ であり、後者で有意($p<0.02$)に長かった。一方、実線で示した起立位でのPWEは、P1からP4のすべての時点においてNL群に比しPM群で有意に低値を示した(P1: $p<0.005$; P2, P3, P4: $p<0.001$)。さらに、Min. PWEはNL群では -2.7 ± 1.1 mmであったのに対しPM群では -4.8 ± 1.7 mmであり、後方運動の最大振幅は後者で有意($p<0.001$)に大であった。TXはNL群では $31.4\pm6.4\%$ 、PM群では $38.2\pm3.8\%$ であり、後者で有意($p<0.005$)に長かった。また、TZはNL群では $45.4\pm6.4\%$ 、PM群では $67.4\pm11.9\%$ であり、後方運動持続時間も後者で有意($p<0.001$)に長かった。

Fig. 5 Changes in posterior wall excursion in the NL and PM group in the supine (dashed lines) and standing (solid lines) positions. A baseline was drawn at the level of the endocardium of the posterior left ventricle at end-diastole. Values are means±SD. NL (○): normal group, PM (●): paradoxical motion group. ***: $p<0.005$, ****: $p<0.001$ compared with the NL group in the standing position. Abbreviations as in Fig. 1.

Table 3 Comparison of interventricular septal excursion between the two groups

	NL (n=12)	PM (n=28)	P
Supine			
IVSE/P 1 (mm)	0.0±1.1	-0.2±0.9	ns
IVSE/P 2 (mm)	3.2±1.6	2.5±1.1	p<0.1
IVSE/P 3 (mm)	6.1±1.7	4.9±1.3	p<0.05
IVSE/P 4 (mm)	5.9±2.3	4.6±1.4	ns
IVSE/TX (mm)	-0.1±1.3	-0.1±1.0	ns
Standing			
IVSE/P 1 (mm)	0.1±0.9	0.5±0.8	ns
IVSE/P 2 (mm)	1.8±1.5	2.6±1.2	p<0.1
IVSE/P 3 (mm)	3.4±1.7	4.2±1.5	ns
IVSE/P 4 (mm)	2.9±1.9	3.4±1.6	ns
IVSE/TX (mm)	0.6±1.0	1.5±0.9	p<0.02

Values are mean±SD. IVSE: interventricular septal excursion, P 1-P 4: systolic phase, TX: time interval from PO to the time of minimum posterior wall excursion, other abbreviations as in Table 1

6. 心室中隔運動

各収縮期時点における中隔振幅 (IVSE) を 2 群に分け Table 3 に示した。仰臥位における IVSE は時点 P 3 でのみ両群間に有意差 ($p<0.05$) を認めた。起立位では時点 TX でのみ両群間に有意差 ($p<0.02$) を認めた。

7. 後壁運動と中隔運動との関係

左室後壁の後方運動が最大となる時点 TX における PWE と IVSE との関係調べた。仰臥位での Min. PWE は平均 -0.9 ± 0.6 mm, IVSE は 0.0 ± 1.1 mm であり、両者の間に全く相関関係を認めなかった ($r=0.003$)。一方、起立位での Min. PWE は平均 -4.2 ± 1.9 mm, IVSE は 1.3 ± 1.0 mm であり、両者の間には有意な相関関係 ($r=0.528$, $p<0.001$) が認められた (Fig. 6)。

8. 僧帽弁輪部運動と後壁および中隔運動との関係

左室後壁の後方運動が最大となる時点 TX における僧帽弁輪部の振幅は仰臥位では平均 0.4 ± 1.5 mm であり、Min. PWE および IVSE との間には相関関係を認めなかった (各々 $r=0.205$, $r=-0.008$)。一方、起立位での僧帽弁輪部の振幅は平均 -4.6 ± 2.7 mm であり、Min. PWE とは $r=0.666$ ($p<0.001$) (Fig. 7), IVSE とは $r=0.355$ ($p<0.05$) の有意な相関関係を認めた。

Fig. 6 Plot of the relation between interventricular septal excursion (IVSE) and minimum posterior wall excursion (Min. PWE) in the standing position.

Fig. 7 Plot of the relation between minimum posterior wall excursion (Min. PWE) and mitral ring excursion in the standing position.

9. 左室短軸径 (LVD)

LVD と収縮期時点との関係を Fig. 8 上段に示した。破線で示した仰臥位 LVD ならびに実線で示した起立位 LVD においては、P 0 から P 4 まですべての時点にて NL 群と PM 群の間に有意差を認めなかった。しかし、体位の差異による LVD の変化率 ($\% \Delta LVD$) は (Fig. 8 下段), 時点 P 0 では NL 群の $-16.3\pm9.3\%$ に対し PM 群では $-24.3\pm7.7\%$ であり、後者でより高度であった ($p<0.01$)。同様に、P 1 では NL 群の $-12.7\pm7.3\%$ に比し PM 群の $-19.5\pm5.6\%$ はより高度であり ($p<0.005$)、また P 2 でも NL 群の $-7.2\pm6.6\%$ に比し PM 群の $-11.9\pm6.4\%$ はより高度であった ($p<0.05$)。なお、時点 P 3, P 4 では両群間に差を認めなかった。

Fig. 8 Changes in left ventricular dimension (LVD) in the two postures (top panel), and comparison of percent change in LVD (%ΔLVD) at each systolic phase between the two groups (bottom panel). Abbreviation as in Fig. 5.

Fig. 9 Comparison of percent change in left ventricular volume between the two groups. %ΔEDV and %ΔESV: percent change in end-diastolic volume and end-systolic volume, respectively. Other abbreviations as in Fig. 5.

10. 左室容積

体位の差異による左室拡張末期容積の変化率(%ΔEDV)と収縮末期容積の変化率(%ΔESV)をNL群とPM群に分けてFig. 9に示した。%ΔEDVはNL群では $-33.3 \pm 17.0\%$ であったのに比しPM群では $-46.8 \pm 11.2\%$ であり、後者で有意($p < 0.01$)に減少した。一方、%ΔESVはNL群では $-12.9 \pm 18.3\%$ 、PM群では $-22.7 \pm 17.2\%$ であり、両群間に差を認めなかった。

11. 肥満度と左室短軸径、左室容積との関係

肥満度と体位の差異による左室拡張末期径変化率との間には有意な正の相関関係($r = 0.331$, $p < 0.05$)を認めた。また、肥満度と左室拡張末期容積変化率との間には正相関の傾向を認めた($r = 0.282$, $p < 0.1$)。

12. 心行動態

仰臥位と起立位における左室内径短縮率(%FS)、一回心拍出量(SV)、左室駆出率(EF)、心拍出量係数(CI)の各指標をNL群とPM群に分けてFig. 10に示した。姿勢を仰臥位から起立位に変えると、%FS、SV、EF、CIのすべての指標はNL群、PM群にかかわらず起立位で有意(各々 $p < 0.001$)に減少した。

仰臥位における各指標を2群間で比較すると、%FSのみNL群に比しPM群で有意($p < 0.05$)に低値を示したが、残る指標では両群間に差は認められなかった。一方、起立位においては、%FSはNL群では $29.8 \pm 4.9\%$ であったのに比しPM群では $22.8 \pm 6.7\%$ であり、後者で有意($p < 0.005$)に低率であった。SVはNL群では $39.3 \pm 14.9 \text{ ml}$ であったのに比しPM群では $26.1 \pm 10.5 \text{ ml}$ であり、後者は有意($p < 0.005$)に低値であった。EFはNL群では $57.3 \pm 7.1\%$ であったのに比しPM群では $46.2 \pm 11.2\%$ であり、後者で有意($p < 0.005$)に低率であった。また、CIはNL群では $1.82 \pm 0.56 \text{ l/min/m}^2$ であったのに比しPM群では $1.26 \pm 0.44 \text{ l/min/m}^2$ であり、後者は有意($p < 0.005$)に低値であった。

13. 末梢循環動態 (Fig. 11)

ブレスモグラフィを施行した対象30名において、起立位2-D echo所見に基づくNL群は12名(40.0%)、PM群は18名(60.0%)であった。

仰臥位での末梢循環動態に関しては、calf blood flow, calf vascular resistanceならびにcalf venous capacitanceにおいては2群間で差を認めなかった。一方、静脈容積を表す起立位のcalf venous volumeはNL群では $1.76 \pm 0.47 \text{ ml/100 ml}$ であったのに対し、PM群では $2.44 \pm 0.54 \text{ ml/100 ml}$ であり、後者で有意($p < 0.005$)に高値を示した。

14. 左室後壁運動の再現性

日を改めて2-D echoを再検査した25名において、奇異性運動の有無に関して初回検査と再検査との間で所見の一致したものは23名(92.0%)であり、高い再

Fig. 10 Changes in fractional shortening (top left), stroke volume (top right), ejection fraction (bottom left), and cardiac index (bottom right) in the NL and PM group in the two postures.

In the standing position, there were significant differences between the NL and PM group for each parameter ($p < 0.005$). Circles with a bar represent the mean. Abbreviations as in Fig. 5.

現性が認められた。M-modeを再検査した15名においては、仰臥位と起立位における時点P0のLVD (LVD/P0)、および起立位におけるMin. PWE, TX, TZに関して2回の検査間で相関係数を求めた (Fig.

12)。LVD/P0では $r=0.944$, Min. PWEでは $r=0.928$, TXでは $r=0.850$, TZでは $r=0.887$ であり、ともに有意(各々 $p < 0.001$)な相関関係が認められた。

Fig. 11 Measurements by pneumatic plethysmography of the NL and PM group in the two postures.
Circles with a bar represent the mean. Abbreviations as in Fig. 5.

考 察

健常人が起立位になった場合にみられる左室後壁の収縮期奇異性運動に関する報告はきわめて少ない。1962年、Keats¹⁾はX線透視法を用いて健常人の起立位における心臓の動態を観察した結果、収縮早期に左室高位後壁の奇異性運動を認め、これが左室瘤に酷似していることを初めて報告した。その後、Krafchek⁴⁾は健常人と僧帽弁逸脱症患者の心エコー図検査において、仰臥位では全例に正常な壁運動を認めたのに対し、起立位では健常人19名のうち3名に、僧帽弁逸脱症27名全例に後壁のdyskinesiaを認め、さらに坐位にて検査した僧帽弁逸脱症6名中4名にもdyskinesiaを認めたとしている。一方、著者らも心エコー図法を用い、起立位の健常人においては半数以上に左室後壁の収縮期奇異性運動を認めた^{2,5)}。

健常人の起立位におけるこのような奇異性運動の性状、機序を明らかにすることは、種々の心疾患を対象として起立位心エコー図法を評価する場合にきわめて重要と考えられる。そこで、今回の研究ではこの現象を明確にするため、健常人を対象とし、断層心エコー図法に加えてMモード心エコー図法も施行し、起立位における左室後壁の収縮期奇異性運動を定量的に評価した。さらに奇異性運動と心行動態との関係ならびにプレシモグラフィによる下肢末梢循環動態との関

連性についても検討した。

1. 奇異性運動判定基準の根拠

奇異性運動の定義について明確に記載した報告はみられない。そこで本研究では左室後壁の後方運動が収縮期時間の50%以上持続する場合を奇異性運動ありと定義した。すなわち、M-modeを施行した対象40名において仰臥位での後壁運動を検討すると、収縮早期の後方運動は38名の大多数に認められ、その持続時間は収縮期の24.9%~48.2%、平均 $34.4 \pm 5.5\%$ であった。そこで、持続時間の正常上限値を平均値+2SDと仮定するとその値は45.4%となった。したがって、M-modeおよび2-D echoの両検査にて後方運動の持続時間が収縮期の50%未満のものをNL、50%以上のものをPMと定義した。

Krafchek⁴⁾は“dyskinesia”の定義を言明していないが、その出現頻度は起立位健常人のわずか15.8%であったという。彼らの成績は本研究の奇異性運動の出現頻度65.7%とは大きく異なる。しかし、本研究で後方運動持続時間が収縮期時間の75%を越す著明な奇異性運動のみを取り上げると、その頻度は15.0%であったことから、後方運動が収縮期時間の75%以上持続する場合に“dyskinesia”と定義すれば両成績はほぼ一致することになる。

Fig. 12 Reproducibility of M-mode echocardiographic measurements: the LVD at P0 (LVD/P0) in the two postures, and the Min. PWE, TX and TZ in the standing position. n: number of subjects, r: correlation coefficient, p: probability, other abbreviations as in Fig. 1.

2. 奇異性運動の特徴

2-D echo で観察された左室後壁は仰臥位では全例で正常な運動を示したのに対し、起立位では 65.7% の症例で収縮期に奇異性運動を示した。また、M-mode にて後壁運動を定量的に分析すると、起立位では 75.0% に奇異性運動を認めた。すなわち、左室後壁の収縮期奇異性運動は起立位でのみ認められる現象といえる。

詳細な記載はないのでその根拠は不明だが、Keats ら¹⁾は起立位における高位後壁の奇異性運動は一過性の現象であろうと述べている。しかし、本研究では対象を起立静止させた 10 分後から 15 分ないし 30 分間心エコー図を記録したが、その間に観察された後壁は全例いづれも終始同じ運動を示した。また、15 例では

試験開始前の起立状態のままで、あるいは試験の起立直後にも後壁運動を観察したが、その所見は起立 10 分後から記録したものと同一であった。さらに、日を改めて心エコー図を再検査したところ本現象には高い再現性が認められた (Fig. 12)。したがって、後壁の収縮期奇異性運動は起立位であれば終始一貫して観察される現象であり、仰臥位から起立位に体位変換したことに追従して起こる一過性のものではないとみなされる。

3. 奇異性運動の発生機序

起立位における左室後壁の収縮期奇異性運動の発生機序を考察するにあたり、本研究の成績をまとめると以下のごとくである。

(1) NL 群に比し PM 群には痩身なものがより多く認められた (Table 1)。

(2) 起立位では静脈還流が減少し、左室短軸径と左室容積は減少した。また、この変化は PM 群でより大であった (Fig. 8~11)。

(3) 肥満度と左室拡張末期径および容積との間には相関関係が認められた。すなわち、仰臥位から起立位へ体位変換した場合、痩身なもののほど左室拡張末期径と容積の減少率が大きかった。

(4) 起立位にて左室後壁の後方運動が最大となる収縮期時点では、後壁の後方運動に伴って心室中隔と僧帽弁輪部は後方へ運動した (Fig. 6, 7)。

以上の成績からみると、ヒトが起立位になると仰臥位に比し心臓はより小さくなる。その結果、肺や横隔膜など心臓を周りから支えている組織との接触が粗になり、仰臥位においてもみられる心臓全体の前後方向への運動^{16,17)}はより大きくなり、収縮期には著しく後方へ運動するものと考えられる。さらに、仰臥位に比し起立位では横隔膜が下降することにより、心臓の保持状態は変化しており、この現象を助長している可能性がある。かかる状態は心タンポナーデの時に大量の心嚢液貯留により心臓が支持組織から隔離され、心膜内で左右への運動のみならず前後への過剰な運動、すなわち振り子様運動を呈すること^{18~20)}と類似している。さらに、起立時の左室容積の減少は痩身なもののほど著明であるから、奇異性運動は痩身なものに多くみられると結論される。

一方、病的な心臓でもとより正常な心臓でも心収縮様式は不均等であると報告されており^{21~25)}、心室の大きさは心筋の構築性、局所心筋の興奮順序などとともに心収縮様式に影響する重要な因子と考えられている^{26~28)}。本研究では、起立位になると仰臥位に比し心臓はより小さくなることが示されており、この結果より、心収縮様式は起立位で変化するものと推察される。また、Sniderman ら²⁹⁾は左室造影法にて下壁を心尖部、中央部、心基部の3区画に分割したところ、心収縮力は心基部で最も弱いことを報告している。さらに、Shapiro ら¹⁰⁾は心基部後壁でも僧帽弁輪部に近いほど心収縮力は弱いとしている。したがって、心収縮力が生理的に弱いとされる後壁の収縮様式は起立位においてより大きく変化し、奇異性運動に少なからず寄与している可能性もある。したがって、健常者、とくに痩身なものの起立位における奇異性運動の発生には、上記の2つの因子が関与しているものと推察される。

4. 奇異性運動の臨床的意義

起立位心エコー図法は head-up tilt⁷⁾、あるいは orthostatic stress⁸⁾における心機能の評価、あるいは虚血性心疾患患者を対象としたトレッドミル運動負荷試験において局所壁運動と心機能の評価する際に施行される^{30,31)}。この場合、起立位の健常人における心エコー図所見を対照として評価する必要がある。その意味から、本研究の成績は重要な意義を有すると結論される。

結 論

健常人 70 名を対象とし、心エコー図法を用いて起立位における左室後壁の収縮期奇異性運動 (PM) を検討した。仰臥位と起立位で心エコー図を記録し、後壁の後方運動が収縮期時間の 50% 以上持続するものを PM、50% 未満のものを正常 (NL) とし、以下の成績をえた。

1) 左室後壁運動は仰臥位では全例で NL であった。一方、起立位では 24 名 (34.3%) に NL を認めて NL 群とし、残る 46 名 (65.7%) に PM を認めて PM 群とした。以下、起立位 2-D echo 所見に基づく NL 群と PM 群との間で測定項目を比較した。

2) 後壁振幅を後壁運動の指標とした場合、起立位の後壁運動は PM 群で有意に小であった。起立位にて後壁後方運動の最大振幅は NL 群では 2.7 ± 1.1 mm、PM 群では 4.8 ± 1.7 mm であり、また後方運動の持続時間は NL 群では収縮期時間の $45.4 \pm 6.4\%$ 、PM 群では $67.4 \pm 11.9\%$ であり、ともに PM 群で有意に大であった。

3) PM 群では男性が有意に多かった。身長は高く、痺身なものが多かった。

4) 起立位にて後壁後方運動が最大となる時点では、後壁の後方運動にともなって心室中隔と僧帽弁輪部も後方へ運動した。

5) 仰臥位の心拍数には2群間で差はなかったが、起立位のそれはPM群で有意に多かった。血圧には2群間で差がなかった。

6) 仰臥位から起立位へ体位変換後の左室拡張末期径と左室拡張末期容積の減少率はPM群で有意に大であった。また、痩身なもののほどこの変化は大であった。

7) 起立位での左室内径短縮率、左室駆出率、1回心拍量、心拍出量係数はすべてPM群で有意に小であった。

8) 起立位の下腿静脈容量はPM群で有意に大であった。

以上より、健康人、とくに痩身なものが起立位になると心臓の保持状態が変化し、心臓全体が収縮期に著明な後方運動を呈すること、さらに左室後壁の心収縮様式は起立位にて変化する可能性のあることが示唆された。したがって、奇異性運動の発生にはこの2つの因子が関与しているものと推察された。また、本研究成績は起立位心エコー図法にて心機能を評価する場合に重要な意義を有すると結論された。

稿を終えるにあたり御校閲を賜りました奥村英正主任教授、ならびに御指導いただきました早川弘一教授に深謝致します。

本論文の要旨は平成元年3月、第53回日本循環器学会で発表した。

文 献

- 1) Keats, T.E. and Martt, J.M.: False paradoxical movement of the posterior wall of the left ventricle simulating myocardial aneurysm. *Radiology*, 78, 381~387, 1962.
- 2) Sasaki, H., Seino, Y., Beeder, C., Pack, N. and Charuzi, Y.: Derangement of left ventricular wall motion in healthy volunteers produced by standing. "Abstracts of the VIII Asian-Pacific Congress of Cardiology", p. A-632, 1983.
- 3) Charuzi, Y., Beeder, C. and Sasaki, H.: Left ventricular dyskinesia in the absence of heart disease. *Am. Rev. Diagnostics*, 1, 15~17, 1984.
- 4) Krafchek, J., Shaw, M. and Kisslo, J.: Upright paradoxical posterior wall movement in mitral valve prolapse. *Am. J. Cardiol.*, 56, 804~806, 1985.
- 5) Sasaki, H., Charuzi, Y., Sugiki, Y., Ostrzega, E., Honma, H. and Hauser, L.: Echocardiographic posterior left ventricular dyskinesia seen in the upright position in healthy volunteers. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 9, 216A, 1987.
- 6) Tuckman, J. and Shillingford, J.: Effect of different degrees of tilt on cardiac output, heart rate, and blood pressure in normal man. *Brit. Heart J.*, 28, 32~39, 1966.
- 7) Rankin, L.S., Moos, S. and Grossman, W.: Alterations in preload and ejection phase indices of left ventricular performance. *Circulation*, 51, 910~916, 1975.
- 8) Lewis, B.S., Lewis, N. and Gotsman, M.S.: Effect of standing and squatting on echocardiographic left ventricular function. *Eur. J. Cardiol.*, 11, 405~412, 1980.
- 9) McDonald, I.G., Feigenbaum, H. and Chang, S.: Analysis of left ventricular wall motion by reflected ultrasound: Application to assessment of myocardial function. *Circulation*, 46, 14~25, 1972.
- 10) Shapiro, E., Marier, D.L., St. John Sutton, M.G. and Gibson, D.G.: Regional non-uniformity of wall dynamics in normal left ventricle. *Br. Heart J.*, 45, 264~270, 1981.
- 11) Teichholz, L.E., Kreulen, T., Herman, M.V. and Gorlin, R.: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am. J. Cardiol.*, 37, 7~11, 1976.
- 12) Winsor, T.: The segmental plethysmograph: A description of the instrument. *Angiology*, 8, 87~101, 1957.
- 13) Hyman, C. and Winsor, T.: The application of the segmental plethysmograph to the measurement of blood flow through the limbs of human beings. *Am. J. Cardiol.*, 5, 667~671, 1960.
- 14) Seino, Y., Takano, T., Endo, T., Obayashi, K., Hayakawa, H., Vyden, J.K., Rose, H.B. and Kimura, E.: Unloading effects of vasodilators on peripheral circulation and cardiac hemodynamics in patients with acute myocardial infarction. *Jpn. Heart J.*, 23, 905~918, 1982.
- 15) Sumner, D.S.: Volume plethysmography in vascular disease: An overview. "Noninvasive diagnostic techniques in vascular disease". (Bernstein, E.F. ed.), 2nd ed., p. 67~86, C.V. Mosby, St. Louis, 1982.
- 16) Kessler, K.M., Pefkaros, K., Sequeira, R. and Myerburg, R.J.: Quantitation and significance of horizontal cardiac motion in M mode and two dimensional echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, 50, 520~534, 1982.
- 17) Pandian, N.G., Skorton, D.J., Collins, S.M., Falsetti, H.L., Burke, E.R. and Kerber, R.E.: Heterogeneity of left ventricular segmental wall thickening and excursion in 2-dimensional echocardiograms of normal human subjects. *Am. J. Cardiol.*, 51, 1667~1673, 1983.
- 18) Feigenbaum, H., Zaky, A. and Grabhorn, L.L.: Cardiac motion in patients with pericardial effusion: A study using reflected ultrasound. *Circulation*, 34, 611~619, 1966.
- 19) Nanda, N.C., Gramiak, R. and Gross, C.M.: Echocardiography of cardiac valves in pericardial effusion. *Circulation*, 54, 500~504, 1976.
- 20) Matsuo, H., Matsumoto, M., Hamanaka, Y., Ohara, T., Senda, S., Inoue, M. and Abe, H.: Rotational excursion of heart in massive pericardial effusion studied by phased-array echocardiography. *Br. Heart J.*, 41, 513~521, 1979.
- 21) Rushmer, R.F.: Initial phase of ventricular systole: Asynchronous contraction. *Am. J. Physiol.*, 184, 188~194, 1956.
- 22) Durrer, D., van Dam, R. Th., Freud, G.E., Janse, M.J., Meijler, F.L. and Arzbaecher, R.C.: Total excitation of the isolated human heart. *Circulation*, 41, 899~912, 1970.
- 23) Kong, Y., Morris, J.J. and McIntosh, H.D.: Assessment of regional myocardial performance from biplane coronary cineangiograms. *Am. J. Cardiol.*, 27, 529~537, 1971.
- 24) Holman, B.L., Wynne, J., Idoine, J. and Neill, J.: Disruption in the temporal sequence of regional ventricular contraction: Characteristics and incidence in coronary artery disease. *Circulation*, 61, 1075~1083, 1980.
- 25) Klausner, S.C., Blair, T.J., Bulawa, W.F., Jeppson, G.M., Jensen, R.L. and Clayton, P.D.: Quantitative analysis of wall motion throughout systole and diastole in the normal human left ventricle. *Circulation*, 65, 580~590, 1982.
- 26) Rushmer, R.F.: Physical characteristics of myocardial performance. *Am. J. Cardiol.*, 18, 6~9, 1966.
- 27) Hawthorne, E.W.: Symposium on measurements of left ventricular volume: Part III. Dynamic geometry of the

- left ventricle. *Am. J. Cardiol.*, 18, 566~573, 1966.
- 28) Clayton, P.D., Bulawa, W.F., Klausner, S.C., Urie, P.M., Marshall, H.W. and Warner, H.R.: The characteristic sequence for the onset of contraction in the normal human left ventricle. *Circulation*, 59, 671~679, 1979.
- 29) Sniderman, A.D., Marpole, D. and Fallen, E.L.: Regional contraction patterns in the normal and ischemic left ventricle in man. *Am. J. Cardiol.*, 31, 484~489, 1973.
- 30) Heng, M.K., Simard, M., Lake, R. and Udhoji, V.H.: Exercise two-dimensional echocardiography for diagnosis of coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.*, 54, 502~507, 1984.
- 31) Applegate, R.J., Dell'Italia, L.J. and Crawford, M.H.: Usefulness of two-dimensional echocardiography during low-level exercise testing early after uncomplicated acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.*, 60, 10~14, 1987.

(受付: 1990年 9 月25日)