

心エコー法による  $V_{CF}$  に関する一考察: Midwall  $V_{CF}$ , endocardial  $V_{CF}$ , 駆出分画による左心機能評価

Echocardiographic evaluation of left ventricular function by midwall  $V_{CF}$ , endocardial  $V_{CF}$ , and ejection fraction

松尾 裕英  
北畠 顕  
浜中 康彦  
土井 光徳  
辻岡 克彦  
千田 彰一  
大原 龍彦  
高橋 良夫  
松本 正幸  
仁村 泰治  
阿部 裕

Hirohide MATSUO  
Akira KITABATAKE  
Yasuhiko HAMANAKA  
Mitsunori DOI  
Katsuhiko TSUJIOKA  
Shoichi SENDA  
Tatsuhiko OHARA  
Yoshio TAKAHASHI  
Masayuki MATSUMOTO  
Yasuharu NIMURA  
Hiroshi ABE

**Summary**

We examined the reliability of echocardiographic measurements of  $V_{CF}$  (velocity of circumferential fiber shortening). We also attempted to evaluate left ventricular function by using these measurements.

1) Left ventricular wall mass was calculated from left ventricular internal dimension, ventricular septal thickness, and posterior left ventricular wall thickness. Calculated values of the left ventricular wall mass were nearly the same in end-diastole and end-systole. This finding supported the reliability of echocardiographic measurements of the left ventricular internal dimension, the thickness of the ventricular septum and posterior left ventricular wall, which are necessary to obtain mean midwall  $V_{CF}$ . This also indicated the reliability of our model for the calculation of left ventricular wall mass.

2) Values of mean endocardial  $V_{CF}$  in patients of hypertension with posterior left ventricular wall hypertrophy and in patients with hypertrophic cardiomyopathy were larger than those in the healthy control group ( $0.002 < p < 0.005$ ,  $0.002 < p < 0.005$ , respectively), and those in patients with aortic insufficiency in functional class II of NYHA were smaller than in the healthy control group ( $p < 0.001$ ). The mean midwall  $V_{CF}$ , however, showed no significant difference among these groups.

3) Mean midwall  $V_{CF}$  showed a good correlation with either NYHA functional classification or

大阪大学医学部 第一内科  
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

The First Department of Medicine, Osaka University  
Medical School, Fukushima-ku 1-1-50, Fukushima,  
Osaka, 553

Presented at the 14th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 3, 1977  
Received for publication April 12, 1978

松尾, 北島, 浜中, ほか

ejection fraction.

The present study indicated that mean midwall VCF is a useful parameter to assess left ventricular function.

**Key words**

Mean midwall VCF

Mean endocardial VCF

Ejection fraction

Left ventricular function

**はじめに**

左心機能評価の指標の一つとして velocity of circumferential fiber shortening (VCF) が従来より報告されている<sup>1-6)</sup>. 本論文では, 心エコー法を用いて VCF を求める際の計測上の問題点について基礎的検討を行い, これをもとに M モード心エコー法による左心機能評価を試みた.

**対 象**

対象は, 健常者 18 例, 狭心症 5 例, 心筋梗塞症 7 例, うっ血型心筋症 5 例, 肥大型心筋症 6 例,

高血圧症 16 例(拡張末期左室後壁厚 12.5 mm 未満の非壁厚群 8 例, および 12.5 mm 以上の壁厚群 8 例), 大動脈弁閉鎖不全症 10 例の計 67 例である. いずれも洞調律で左室内膜面エコーの明瞭に得られたものを取りあげた. また, 壁厚が明瞭に得られたのは, このうち 50 例であった.

**方 法**

1. M モード心エコー図の記録および VCF の算出  
使用装置は, Aloka 製 SSD-90 で, 直径 10 mm, 2.25 MHz の平板円形探触子を使用した. 被検者を仰臥位とし, 第 3 または第 4 肋間胸骨左

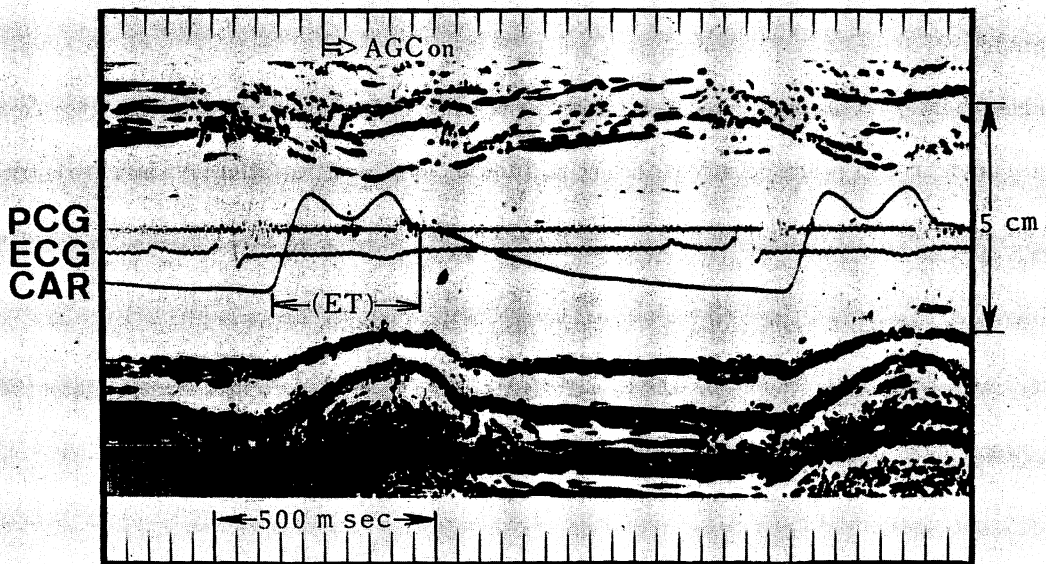


Fig. 1. Standard echocardiogram of the left ventricle recorded simultaneously with electrocardiogram, phonocardiogram, and carotid pulse tracing.

Abbreviations: AGC=automatic gain control, PCG=phonocardiogram, ECG=electrocardiogram, CAR=carotid pulse tracing, ET=ejection time.

縁に探触子を置き、Mモード心エコー図を記録した。その際、左室後壁心内膜面および心外膜面、心室中隔右室面および左室面を明瞭に記録するため、automatic gain control (AGC) を作動させた。また、心電図、心音図、頸動脈波を同時記録した (Fig. 1)。

心電図 R 波頂点における左室短軸径 (Dd)、II 音開始時の左室短軸径 (Ds)、頸動脈波から求められる左室駆出時間 (ET) より、拡張末期円周 ( $\pi Dd$ ) で基準化した mean endocardial Vcf は次式で表わされる。

$$\text{mean endocardial Vcf} = \frac{Dd - Ds}{ET \cdot Dd} \text{ (circ/sec)}$$

また、mean midwall Vcf は、心電図 R 波頂

点における心室中隔の厚さおよび左室後壁の厚さを、それぞれ hsd, hpd とし、II 音開始時の心室中隔の厚さおよび左室後壁の厚さを、それぞれ hss, hps とすることによって次式で表わされる。

mean midwall Vcf

$$= \frac{\left(Dd + \frac{hsd + hpd}{2}\right) - \left(Ds + \frac{hss + hps}{2}\right)}{ET \cdot \left(Dd + \frac{hsd + hpd}{2}\right)} \text{ (circ/sec)}$$

## 2. 左室壁質量 (LV Mass) の算出

左室壁質量を求めるため、左室モデルを以下のごとく設定した。すなわち、左室心内膜面および心外膜面は回転楕円体を形成しているとし、短軸

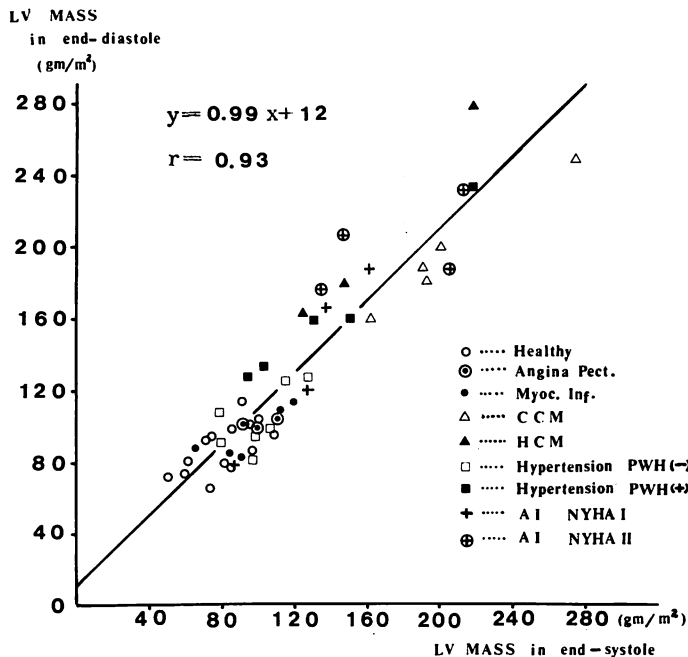


Fig. 2. Comparison of calculated end-diastolic and end-systolic left ventricular wall masses.

They show a good agreement.

Abbreviations: LV mass=left ventricular wall mass, Angina Pect.=angina pectoris, Myoc. Inf.=myocardial infarction, CCM=congestive cardiomyopathy, HCM=hypertrophic cardiomyopathy, Hypertension PWH (-)=hypertension without hypertrophy of the posterior left ventricular wall, Hypertension PWH (+)=hypertension with hypertrophy of the posterior left ventricular wall, AI=aortic insufficiency.

方向および長軸方向の左室壁厚は心室中隔厚および左室後壁厚の平均値に等しいとした。また、長軸方向左室内径は Gibson 法<sup>7)</sup>を用いて短軸径より算出した。心筋比重は 1.05 とした。以上の設定条件のもとに、体表面積 (BSA; m<sup>2</sup>) により補正した収縮末期、および拡張末期左室壁質量を以下の式により算出した。

$$\begin{aligned} & \text{拡張末期 LV Mass} \\ &= \frac{1.05 \cdot \pi}{6 \cdot \text{BSA}} (\text{Dd} + \text{hsd} + \text{hpd})^2 (5.90 + 0.98 \text{Dd} \\ &+ \text{hsd} + \text{hpd}) - \frac{1.05 \cdot \pi}{6 \cdot \text{BSA}} \text{Dd}^2 (5.90 + 0.98 \text{Dd}) \\ & \hspace{15em} (\text{gm/m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{収縮末期 LV Mass} \\ &= \frac{1.05 \cdot \pi}{6 \cdot \text{BSA}} (\text{Ds} + \text{hss} + \text{hpd})^2 (4.18 + 1.14 \text{Ds} \\ &+ \text{hss} + \text{hps}) - \frac{1.05 \cdot \pi}{6 \cdot \text{BSA}} \text{Ds}^2 (4.18 + 1.14 \text{Ds}) \\ & \hspace{15em} (\text{gm/m}^2) \end{aligned}$$

結 果

1. 拡張末期および収縮末期における左室壁質量の算出および両者の対比検討

M モード心エコー図にて、AGC を作動させて求めた左室短軸径および壁厚より、拡張末期および収縮末期における左室壁質量を算出し、両者を比較した。両者間には良好な一致を認めた (Fig. 2)。

2. 心疾患別の mean endocardial Vcf

Mean endocardial Vcf は、左室壁肥厚を伴う高血圧症および肥大型心筋症において、健常対照群に比し、おのおの有意に高値を示し (それぞれ、0.02 < p < 0.05, 0.02 < p < 0.05)、心筋梗塞症 (全例 NYHA II 度)、うっ血型心筋症 (全例 NYHA III 度)、NYHA II 度の大動脈弁閉鎖不全症では健常対照群に比し、おのおの有意に低値を示した (それぞれ、p < 0.001, p < 0.001, p < 0.001) (Fig. 3)。

3). 狭心症、左室壁肥厚を伴わない高血圧症、

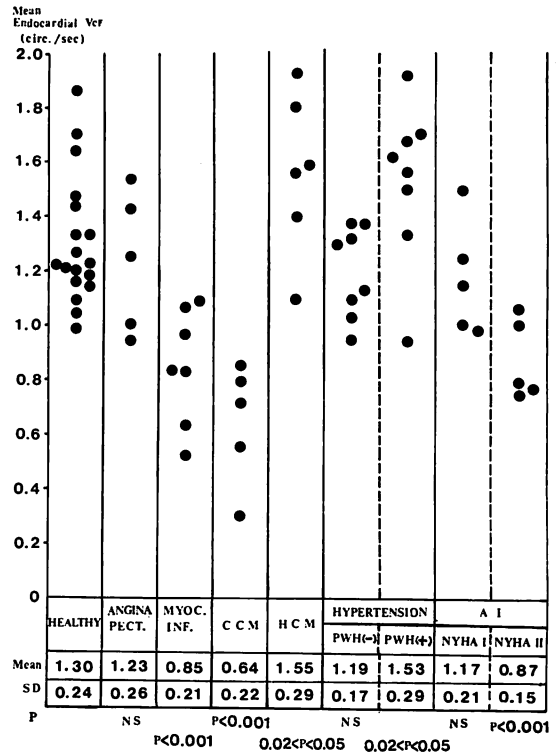


Fig. 3. Distribution of mean endocardial Vcf in healthy control group and patients groups.

P values refer to differences from healthy control group.

Abbreviations: SD=standard deviation, NS=not significant, others are as in Fig. 2.

NYHA I 度の 大動脈弁閉鎖不全症では、健常対照群との間に有意差を認めなかった (Fig. 3)。

3. 心疾患別の mean midwall Vcf

Mean midwall Vcf は、心筋梗塞症、うっ血型心筋症においては、健常対照群に比し有意に低値を示し (それぞれ、0.02 < p < 0.05, p < 0.001)、狭心症、肥大型心筋症、壁肥厚を伴わない高血圧症、壁肥厚を伴う高血圧症、NYHA I 度および II 度の 大動脈弁閉鎖不全症では、健常対照群との間に有意差を認めなかった (Fig. 4)。

4. Mean endocardial Vcf と mean midwall Vcf の対比検討

Mean endocardial Vcf を y, mean midwall

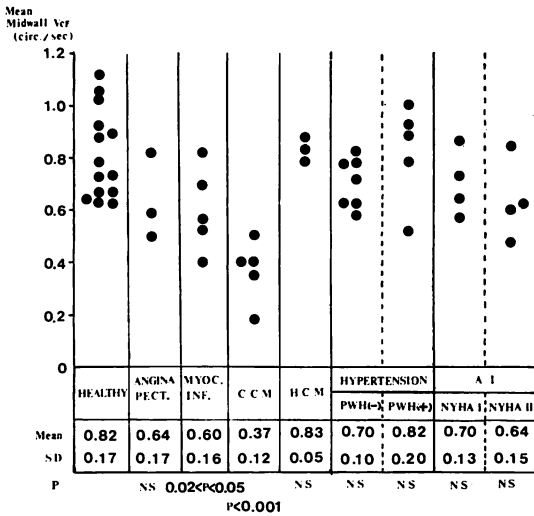


Fig. 4. Distribution of mean midwall VCF in healthy control group and patients groups.

P values refer to differences from healthy control group.

Abbreviations are as in Fig. 2, 3.

VCF を  $x$  とした時、両者の回帰直線は  $y = 1.49x + 0.11$  で表わされ、両者間には良好な相関 ( $r = 0.91$ ) を認めたが、左室壁肥厚を伴う高血圧症および肥大型心筋症例は回帰直線の上方に位置し、NYHA II 度の大動脈弁閉鎖不全症は回帰直線の下方に離れて位置した (Fig. 5).

#### 5. NYHA 心機能分類別の mean midwall VCF

Mean midwall VCF は、NYHA I 度の群では健常群との間に有意差を認めず、NYHA II 度および III 度の群では健常群に比し有意に低値を示し (それぞれ、 $0.001 < p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ )、NYHA II 度および III 度の群では NYHA I 度の群に比し有意に低値を示した (それぞれ、 $0.001 < p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ )。また NYHA III 度の群では NYHA II 度の群に比し有意に低値を示した ( $0.001 < p < 0.01$ ) (Fig. 6)。

#### 6. 駆出率 (EF) と mean midwall VCF の対比

EF を  $y$ , mean midwall VCF を  $x$  とすれば、 $y = 0.54x + 0.28$  なる回帰直線が得られ、両者間には良好な相関 ( $r = 0.88$ ) が認められた (Fig. 7)。

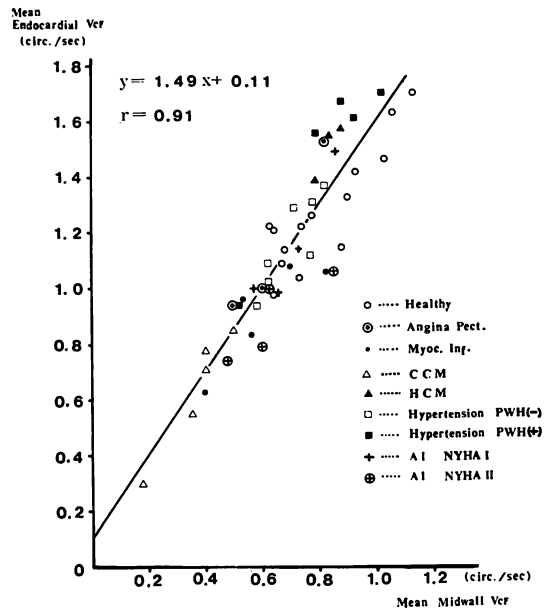


Fig. 5. Comparison of mean endocardial VCF with mean midwall VCF.

They show a good correlation (correlation coefficient  $r = 0.91$ ), but mean endocardial VCF values in hypertension with posterior left ventricular wall hypertrophy and hypertrophic cardiomyopathy are above and those in aortic insufficiency in NYHA classification II are below the regression line, respectively.

Abbreviations are as in Fig. 2.

## 考 察

VCF を M モード心エコー図より求める場合、超音波ビームの方向によってその値は異なる。しかし、第3または第4肋間胸骨左縁からビームを投入し、僧帽弁前尖、後尖を同時に捕捉しうる方向からわずかに心尖方向にビームを向け、心室中隔エコーと左室後壁エコーを同時に明瞭に記録しうる方向を選べば、求められる左室内径は左室短軸径に最も良く一致することは超音波断層法を用いての検討からも知られている<sup>9)</sup>。今回、その方向で得た mean midwall VCF 計測上の妥当性、mean endocardial VCF, mean midwall VCF 間の差異、mean midwall VCF による心機能評価

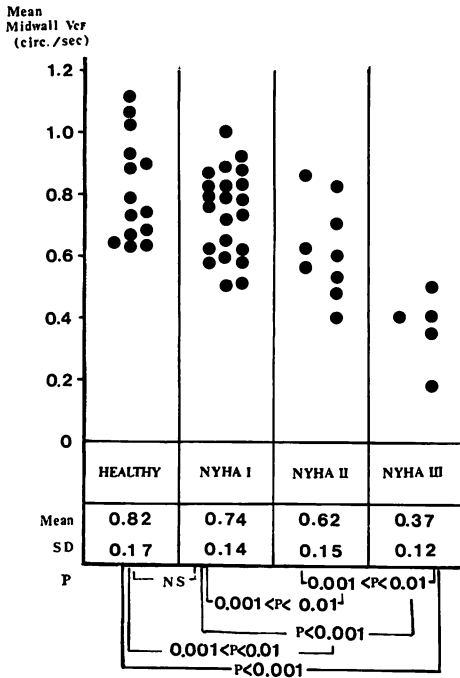


Fig. 6. Mean midwall Vcf for healthy control group and patients groups in NYHA classification I-III.

Abbreviations are as in Fig. 3.

につき若干の検討を加えた。

1. 拡張末期および収縮末期における左室壁質量の算出および両者の対比

Mモード心エコー図から求めた左室壁質量の妥当性に関しては, Troyら<sup>9)</sup>の報告がある。彼らは左室長軸径を短軸径の2倍とし, 長軸方向および短軸方向の壁厚を左室後壁厚と等しいと仮定して検討を行っている。しかし, 1心周期を通じた左室容積については, 左室長軸径を短軸径の2倍とする Pombo法<sup>10)</sup>よりも, 瞬時長軸径を瞬時短軸径より回帰式を用いて算出する Gibson法<sup>7)</sup>に基づく方が, 左室シネアンギオ像より Chapman法<sup>11)</sup>に基づき算出した左室容積の値に近い<sup>12)</sup>。したがって, 本研究では左室内腔容積の算出に Gibson法を用いた。また, 心室中隔厚と左室後壁厚は必ずしも一致せず, とくに肥大型心

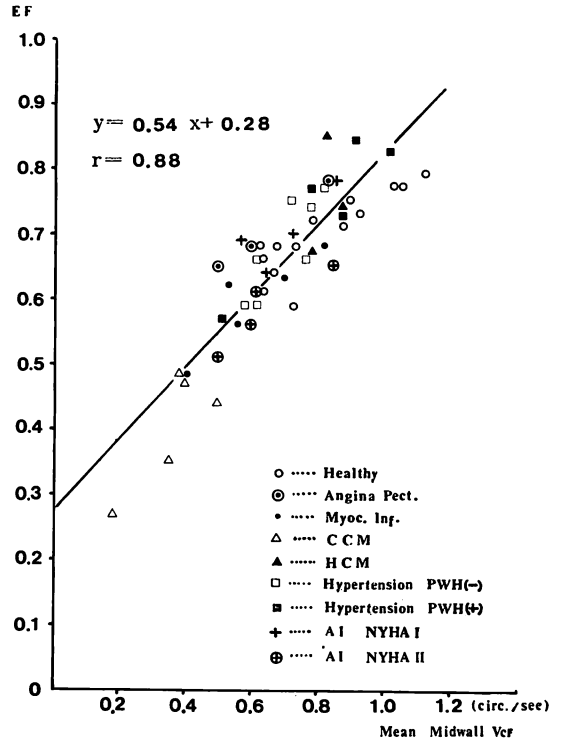


Fig. 7. Comparison of ejection fraction (EF) with mean midwall Vcf.

Abbreviations are as in Fig. 2.

筋症では両者に大きな差異を認めるので, 本左室モデルでは Troyらの方法と異なり, 左室長軸方向および左室短軸方向の壁厚として心室中隔厚と左室後壁厚の平均値を用い, この壁厚をもって左室内腔面をとりまく左室心外膜面が回転楕円体を形成していると仮定し, 左室心外膜面の容積より左室内腔容積を差し引いたものに心筋比重1.05を乗じ左室壁質量を算出した。

本法により求めた拡張末期および収縮末期左室壁質量は良く一致し, mean midwall Vcf算出に必要な左室短軸径, 左室壁厚の計測および左室壁質量の算出法の妥当性が示された。

2. Mean endocardial Vcf および mean mid-wall Vcf の対比検討

Vcf (max. Vcf および Vcf at peak stress)

としては、endocardial VCF, midwall VCF が従来より測定されており<sup>1,2)</sup>、Quinones ら<sup>13)</sup>は両者が良好な相関を示すことより、心機能評価にいずれを用いても良いとしている。一方、mean VCF に関しては endocardial VCF が従来より用いられている。

今回、mean endocardial VCF と mean midwall VCF の対比を試みた結果、両者は一般に良好な相関を示したが、左室内径の拡大を示さず左室壁肥厚を伴う高血圧症、肥大型心筋症および左室内腔拡大の著明な NYHA II 度の大動脈弁閉鎖不全症では、mean endocardial VCF を用いた場合 (Fig. 3) と mean midwall VCF を用いた場合 (Fig. 4) とで、健常群との関係において差異を認めた。

そこで、この差異がどのような機作によるかを検討するため、左室を回転楕円体とし、かつ拡張末期および収縮末期の左室壁質量は等しいと設定したモデルにより、理論的な検討を加えた (Fig.

8)。なお、左室壁質量の算出式については、方法の項で述べた方式に従った。ここで拡張末期において、心室中隔中点と左室後壁中点を結ぶ短軸方向の径を DD とし、心室中隔厚と左室後壁厚の平均値を MDWTh とした。

本モデルにおいて、mean midwall VCF=0.80 (circ/sec), ET=0.28 sec と定め、MDWTh および DD の mean endocardial VCF に及ぼす影響を検討した。DD を任意の一定値に設定した場合、MDWTh と mean endocardial VCF は正の相関関係を示した (Fig. 9)。一方、MDWTh 一定値下では DD と mean endocardial VCF は負の相関関係を示した (Fig. 10)。これより mean midwall VCF をある値に定めても、mean endocardial VCF は DD および MDWTh の影響を受け、変化することが示唆された。したがって、mean endocardial VCF と mean midwall VCF を用いた場合で生じた差異は、DD または MDWTh の片方の増大がより著明な、壁肥厚を

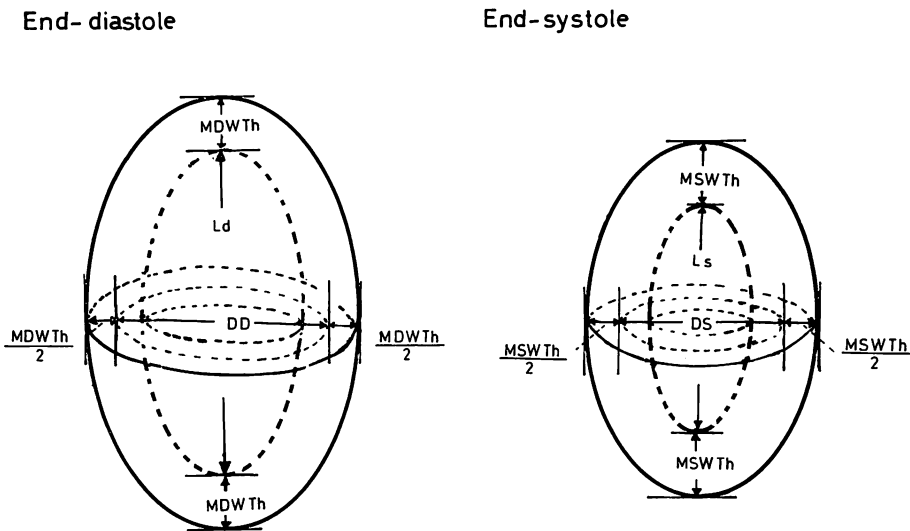
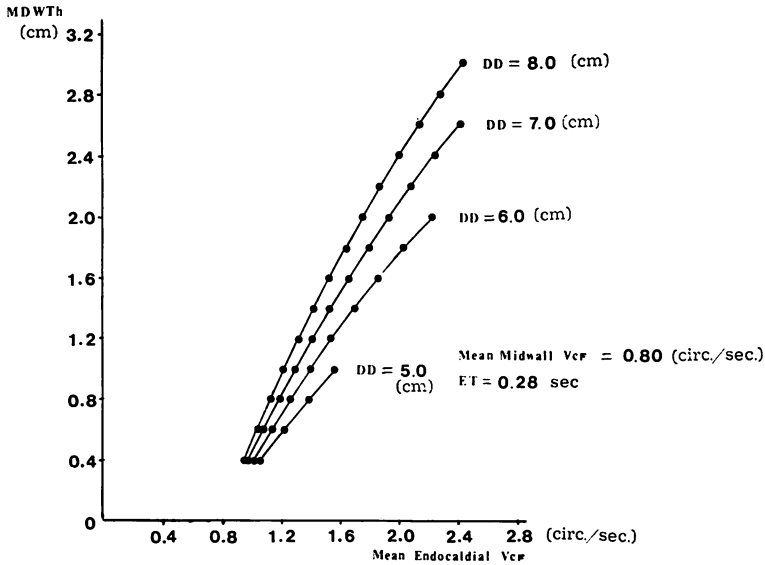


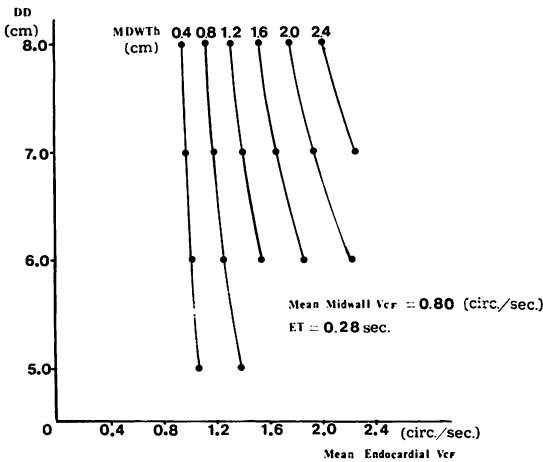
Fig. 8. Ellipsoid model for the left ventricle.

Abbreviations: DD=left ventricular midwall dimension in end-diastole, Ld=left ventricular internal dimension along the long axis in end-diastole, MDWTh=mean end-diastolic wall thickness, DS=left ventricular midwall dimension in end-systole, Ls=left ventricular internal dimension along the long axis in end-systole, MSWTh=mean end-systolic wall thickness.



**Fig. 9. Change of mean endocardial Vcf due to variation of mean end-diastolic wall thickness (MDWTh).**

Abbreviations are as in Fig. 8. ET: ejection time.



**Fig. 10. Change of mean endocardial Vcf due to variation of left ventricular midwall dimension in end-diastole (DD).**

Abbreviations are as shown in Fig. 8, 9.

伴う高血圧症, 肥大型心筋症, NYHA II 度の大動脈弁閉鎖不全症に表われたものと考えられる。

**3. NYHA 心機能分類別の mean midwall Vcf および mean midwall Vcf と EF の対比**

Mean endocardial Vcf による心機能評価についてはすでに報告<sup>14)</sup>したごとく, NYHA の重症度と相関し, また EF と良好な相関を示したが, mean midwall Vcf についても本研究結果に示したごとく (Fig. 6, 7), 同様の結果が得られた。

以上を総括すると, 本法による mean midwall Vcf 計測は妥当と考えられ, mean midwall Vcf は心機能評価をする上で一つの良い指標と考えられる。また, mean midwall Vcf, mean endocardial Vcf の差異についてモデル上の考察を加えた。Mean midwall Vcf と mean endocardial Vcf のいずれがより心機能を正確に表現するかについてはさらに検討を要する。ただ, 圧負荷に対して適応せんとして生じた肥厚を有する高血圧症群が, 健常例群より有意に高値をとる endocardial Vcf より, 両群間に差異の認められない midwall Vcf の方がより正確に心機能を反映しているのではないかと推測されるが, 今後 stress-



(endocardial, midwall) Vcf 関係, 左室赤道面での, 内・中・外層の収縮動態などについて, より詳細な検討が必要と考えられる。

#### 文 献

- 1) Gault LH, Ross J Jr, Braunwald E: Contractile state of the left ventricle in man. *Circulat Res* **22**: 451, 1968
- 2) Karliner JS, Gault JH, Eckberg D, Mullis CB, Ross J Jr: Mean velocity of fiber shortening. A simplified measure of left ventricular myocardial contractility. *Circulation* **46**: 323, 1971
- 3) Peterson KL, Skolven D, Ludbrook P, Uther JB, Ross J Jr: Comparison of isovolumic and ejection phase indices of myocardial performance in man. *Circulation* **49**: 1088, 1974
- 4) 松尾裕英, 北畠 颯, 松本正幸, 永田正毅, 土井光徳, 千田彰一, 仁村泰治, 阿部 裕: 左室収縮能の評価に対する超音波の応用. *最新医学* **30**: 1144, 1975
- 5) 松尾裕英, 北畠 颯, 松本正幸, 浜中康彦, 伯耆徳武, 高橋良夫, 別府慎太郎, 大原龍彦, 土井光徳, 辻岡克彦, 千田彰一, 仁村泰治: ヒト心室の圧容積関係とその展開. *呼吸と循環* **24**: 301, 1976
- 6) 松尾裕英, 北畠 颯, 浜中康彦, 土井光徳, 辻岡克彦, 千田彰一, 高橋良夫, 松本正幸, 仁村泰治, 阿部 裕: 超音波診断法による心疾患重症度の評価. *最新医学* **32**: 41, 1977
- 7) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
- 8) 松尾裕英, 松本正幸, 北畠 颯, 浜中康彦, 高橋良夫, 別府慎太郎, 大原龍彦, 土井光徳, 千田彰一, 仁村泰治: UCG による左室円周方向短縮速度 (Vcf) の計測に関する基礎的検討 (第 1 報). *日超医講演論文集* **28**: 187, 1975
- 9) Troy BL, Pombo JF, Rackley CE: Measurement of left ventricular wall thickness and mass by echocardiography. *Circulation* **45**: 602, 1972
- 10) Pombo JF, Troy BL, Russell RO: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480, 1971
- 11) Chapman CB, Baker O, Mitchell JH, Collier RG: Experiences with a cinefluorographic method for measuring ventricular volume. *Amer J Cardiol* **18**: 25, 1966
- 12) 仁村泰治, 松尾裕英, 北畠 颯, 松本正幸, 浜中康彦, 高橋良夫, 永田正毅, 別府慎太郎, 玉井正彦, 大原龍彦, 土井光徳, 千田彰一: UCG による左室容積曲線に関する基礎的検討—シネアングリオとの相互差異について—. *日超医講演論文集* **28**: 189, 1975
- 13) Quinones MA, Gaasch WH, Cole JS, Alexander JK: Echocardiographic determination of left ventricular stress-velocity relations in man. With reference to the effects of loading and contractility. *Circulation* **51**: 689, 1975
- 14) 松尾裕英, 北畠 颯, 松本正幸, 浜中康彦, 高橋良夫, 大原龍彦, 浅生雅人, 土井光徳, 寺尾祐輔, 千田彰一, 仁村泰治, 阿部 裕: 心エコー法による Vcf に関する検討 (第 3 報)—Vcf ならびに EF の比較検討—. 第 41 回日循環器地方会発表, 1976