

心エコー図法による左室内
径および左室容量計測

Echocardiographic
measurements of left
ventricular dimensions
and volumes

若松 隼郎
原 寛
萩原 寛
牟田 喜雄
森 秀樹
矢野 智彦
鶴沢 春雄

Toshiro WAKAMATSU
Hiroshi HARA
Hiroshi HAGIWARA
Yoshio MUTA
Hideki MORI
Tomohiko YANO
Haruo UZAWA

Summary

To obtain accurate interpretation of two-dimensional echograms, post-mortem hog and human hearts were studied. For calibration of the measurement, the distances between cotton threads and copper wires arranged in parallel inside of an empty box made of acrylic resin were measured by mechanical two-dimensional echograms. The distances between the upper-center points of the reflected echograms correlated well with that obtained by direct measurement both in hog hearts ($r=0.991$) and in human hearts ($r=0.989$). However, major axis dimensions (L) of the left ventricle were underestimated by two-dimensional echocardiography in post-mortem human hearts ($r=0.917$, corrected $L(L_c)=1.80L-4.0$).

Left ventricular volume (LVV) of post-mortem human hearts was estimated by the 8 different formulas using echocardiographic data obtained (abbreviated as LVE). Thereafter, cast of the hearts was made using 382 Medical Grade Elastomer (Dow Corning Inc.) and the true LVV was determined by the weight and the specific gravity of the casts. The true LVV correlated well with the LVV calculated by the 6 formulas using sizes measured directly ($r=0.970$ to 0.975) and LVE ($r=0.967$ to 0.987). The LVV of the casts were also determined by radiographic methods (abbreviated as LVA). The LVA were correlated well with the true LVV ($r=0.972$ to 0.985) and LVE ($r=0.921$ to 0.972). In vivo, excellent linear correlations were obtained when 3 echocardiographic and single plane cineangiographic methods were compared ($r=0.943$ to 0.954).

It was concluded that (1) for two-dimensional echocardiographic measurements, the distance between the upper-center points of the reflected echograms should be used and (2) the left ventricular volumes obtained by two-dimensional echocardiography is recommended than that by M-mode echocardiography.

熊本大学体質医学研究所 成人体質学研究所
熊本市九品寺 4-24-1 (〒862)

Department of Internal Medicine, Institute of Constitutional Medicine, Kumamoto University, Kumamoto 4-24-1, Kumamoto 862

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

Received for publication May 30, 1980

Key words

Two-dimensional echocardiography M-mode echocardiography Left ventricular cast Left ventricular dimension Left ventricular volume

はじめに

M-mode 心エコー図法による左室容量算出には多数の式が提唱されている^{1-18),23-28)}。しかし左室収縮異常例などでは、これらの式で求めた容量と左室造影法による容量の間には必ずしも良い相関が成立しないとされている^{11,13,18)}。これは M-mode 法が一本の線上の情報、いわゆる ice pick の情報処理に基づくためである²¹⁾。近年、このような欠点を除くために、two-dimensional echocardiography (断層心エコー図) による検討

がなされている^{6,9,14-17)23-28)}。我々は断層心エコー図を用いて、1) 距離計測の検討、2) 剖検心左室エコー図より求めた容量、左室鑄型より求めた容量および鑄型を 35 mm シネ撮影して求めた容量との相互比較、3) 臨床例での左室容量算出法を検討したのでその成績を報告する。

方法および対象

1. エコー図法

装置は Aloka 製 SSD 110S mechanical sector scanner, トランスジューサーは 3.0 MHz を使用、

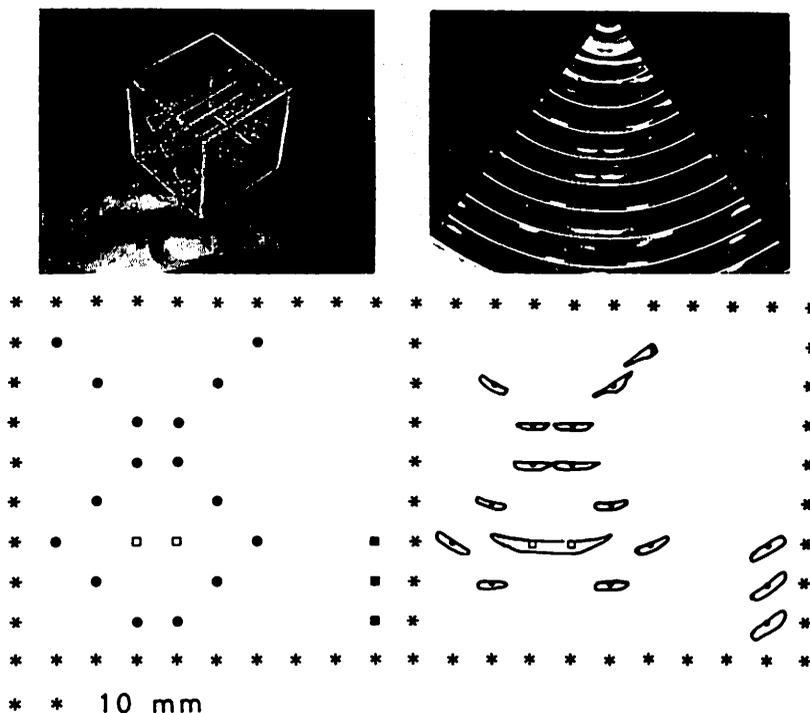


Fig. 1. Mechanical two-dimensional echogram of the empty box made of acrylic resin in which the cotton threads and copper wires are arranged in parallel.

Upper left: Photograph of the box. Upper right: Echogram obtained from the box in the olive oil. Lower: schematic drawings of the box and echogram. The closed circles and open squares represent the threads and the wires, respectively. The distance of the stars represents 1.0 cm.

記録はポラロイドフィルム（臨床例では光学式記録）を用いた。

2. 距離計測

距離計測の検定のために、アクリル樹脂製の中空の箱に 1 cm 間隔に 16 本の綿糸および 2 本の細い銅線を平行に張り、オリーブ油槽中でエコー図を記録した (Fig. 1)。つぎにブタ摘出心 8 個を左室長軸方向に切開して、オリーブ油槽中でエコー図を記録した (Fig. 2)。記録は通常記録方向、つまり左室流出路に近い部位および心尖部より行い、記録方向による距離計測の差を検討した (Figs. 3, 4)。さらに剖検心左室より同様の方法でエコー図を得た後、382 medical grade elastomer (Dow Corning Inc) を左室腔内に注入して、8 個の左室鋳型を作製した。鋳型の作製は剖検心

大動脈弁および僧帽弁を半閉鎖状態にして下方へ向け、上方の心尖部より elastomer を用手注入した。Elastomer が大動脈弁口より十分流出するのを確認して注入を中止した。その後同じ状態に 24 時間放置して鋳型を取り出した。

剖検心の心室中隔および左室壁を計測した。それぞれの実測値は、肉柱を含む最大厚壁と含まない最小厚壁の中間値とした。左室長径は鋳型の大動脈弁口部より心尖部先端までの最大径と、心尖部肉柱の最大内腔突出部までの最小径の中間値とした。左室短径は最大内径の部位で同様に求めた。

3. 左室容積算出法

鋳型容積はその重量と比重より求め、真の容積とした。アンジオ容積は解剖学的位置を考慮して、鋳型を 30 度ごとに 35 mm シネで撮影し、プラニ

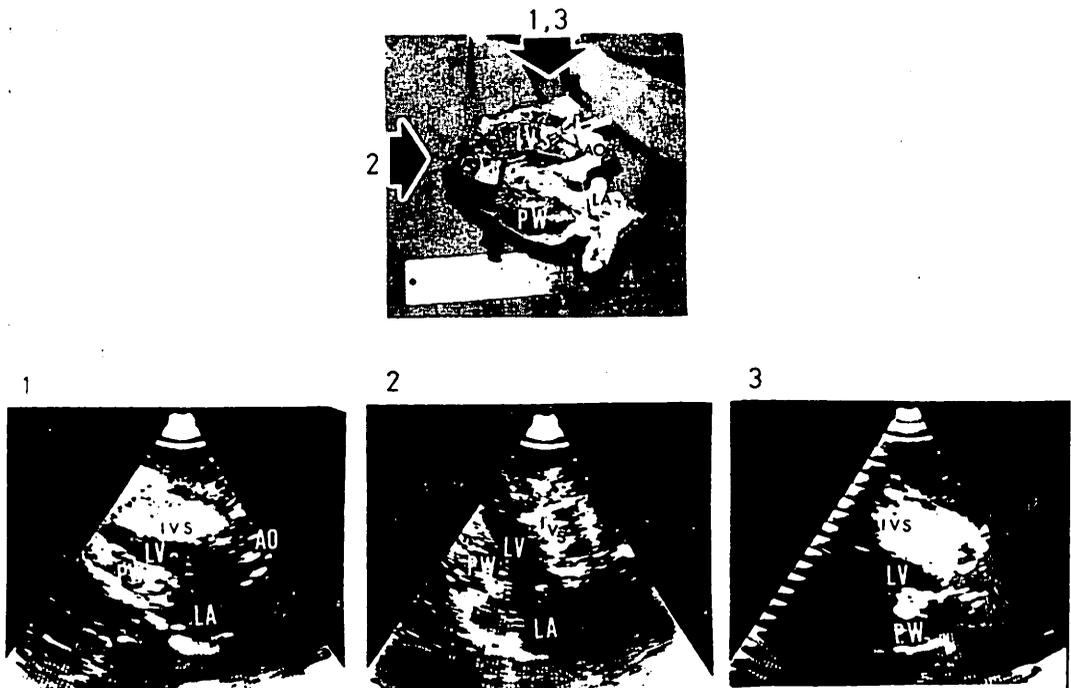


Fig. 2. Hog heart preparation and the two-dimensional echocardiograms.

Upper: Anatomic section of the hog heart obtained in the presumed plane of the long axis. Transducer is positioned on 1 and 2 for obtaining the long axis view and on 3 for obtaining the short axis view. Lower: Photographs of 1 and 2 show the long axis view of the left ventricle and photograph of 3 shows the short axis view of the left ventricle.

Table 1. Formulas for echocardiographic estimation of left ventricular volume

Method	Formula
1. Cube ^{2,3)}	$V = D^3$
2. Gibson's EDV ⁷⁾	$V = 0.16\pi D^3 + 0.98\pi D^2$
3. Gibson's ESV ⁷⁾	$V = 0.19\pi D^3 + 0.69\pi D^2$
4. Meyer's method ⁸⁾	$V = 0.62D^3 + 14.6D - 19.1$
5. Teichholz's method ¹¹⁾	$V = 7.0D^3/D + 2.4$
6. Ellipse ²²⁾	$V = \pi/6D^2L$
7. Corredtec ellipse ²⁰⁾	$V = \pi/6D^2Lc$
8. Area length method ²²⁾	$V = 8A^2/3\pi L$

D=minor axis of the left ventricle; L=major axis of the left ventricle; Lc=major axis corrected by formula (Lc=1.80L-4.0); A=area determined by planimetry.

メトリーを用いて Dodge らの area length 法で求めた^{20,22)}. それぞれの容量を single plane 容量および 90 度ごとの組み合わせによる容量を biplane 容量とした.

心エコー図法による左室容量算出式を Table 1 に示す^{2,3,7,8,11,20,22)}. 左室鋳型より求めた左室径を用いて表の 1-6 式, 剖検心左室エコー計測値を用

いて同じく 1-8 式で左室容量を算出した.

4. 臨床例

対象は特発性心筋症 1 例, 虚血性心臓病 1 例, 完全房室ブロック 1 例, 軽症心室中隔欠損症 3 例, 洞不全症候群 1 例, 正常 1 例で, 年齢は 15~52 歳で平均 32 歳である. 心エコー図は心臓カテテル検査前 1 週以内に, 通常の方法で光学式に M-mode 心エコー図を, ポラロイドフィルムにより心尖部よりの断層心エコー図を記録した. 症例には断層心エコー図の心尖部左室長軸記録で, 心尖部を十分に記録できたもののみを選んだ. 左室造影は 76% Urografin 40 ml を左室注入し, single plane 35 mm シネカメラにて, 30 度右前斜位 (RAO) で撮影した. 左室容量算出は planimetry を用い, Dodge らの area length 法にしたがって求めた^{20,22)}.

結 果

1. 距離計測

綿糸および細い銅線を張ったアクリル製の中空の箱より得られた断層エコー図における反射エコー

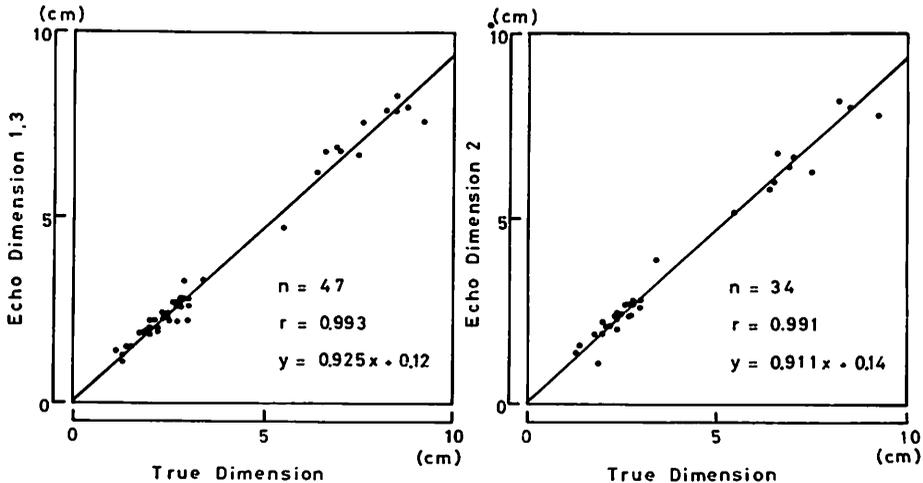


Fig. 3. Relationship between true dimensions and echographically measured dimensions.
 Left: Relation between the distances of the upper-center points of the reflected echograms from Section 1 and 3 illustrated in Fig. 2 and those obtained by direct measurements. Right: Relation between the echocardiographic dimensions obtained from Section 2 illustrated in Fig. 2 and those obtained by direct measurements.

一は、トランスジューサーを中心に円弧状で、綿糸および銅線の位置と一致するのは反射エコー上端中央の点であった。また銅線より得られた反射エコーは綿糸のそれより、左右に長く記録された (Fig. 1)。以下における断層エコー図の2点間の距離計測は、それぞれの反射エコー上端中央点とした。

2. 計測値

Fig. 2, section 1, 3 および 2 の断層エコー図における計測値と、それぞれの実測値との間には高い相関関係を認めた (Fig. 3, $r=0.993$, $r=$

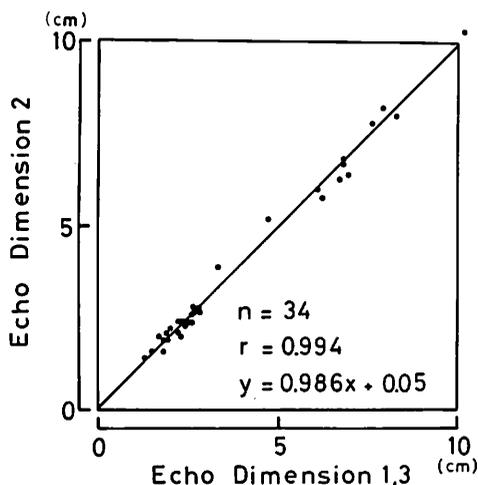


Fig. 4. Relation between the echocardiographic dimensions obtained from the three sections illustrated in Fig. 2.

0.991). また通常の方法 および心尖部方向の記録より得られた、それぞれの計測値の間には高い相関関係を認めた (Fig. 4, $r=0.994$).

剖検心左室エコー図より得られた計測値は、剖検心左室壁の実測値および左室鋳型より求めた左室径と高い相関関係を認めた (Fig. 5, $r=0.989$). 左室長径の計測値は過小評価傾向を認め、実測値との間に $r=0.917$, corrected L (L_c)= $1.80L-$

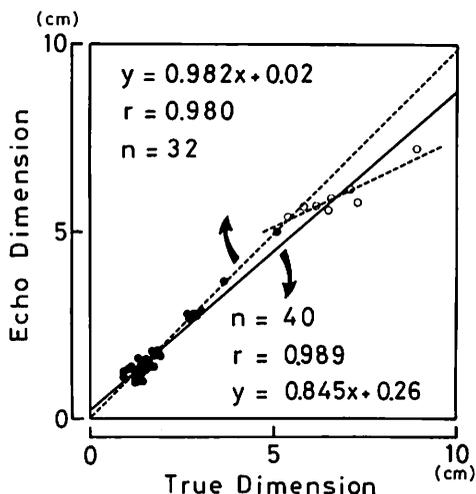


Fig. 5. Relation between the echocardiographic dimensions and those measured directly the left ventricular wall thickness of the post-mortem human hearts and the size of the casts.

The open circles show the major axes. The solid line shows the regression line of whole values and the dotted line shows the regression line of values excluding major axes.

Table 2. Correlation between left ventricular volumes determined by cast and by six echocardiographic formulas using cast dimensions

Method	Correlation coefficient	SEE	Regression equation
1. Cube	0.970	7.02	$V'=0.637 V+11.29$
2. Gibson's EDV	0.973	6.61	$V'=0.613 V+ 3.96$
3. Gibson's ESV	0.973	6.68	$V'=0.657 V+ 5.70$
4. Meyer's method	0.973	6.57	$V'=0.673 V+ 2.00$
5. Teichholz's method	0.973	6.57	$V'=0.730 V+ 4.19$
6. Ellipse	0.975	6.39	$V'=0.736 V+ 6.08$

SEE=standard error of the estimate; V=calculated volume; V'=cast volume.

4.0 の関係を認めた. 左室長径値を除いた計測値と実測値の間には, $r=0.980$, $y=0.982x+0.02$ の関係を認めた (Fig. 5).

3. 左室鑄型容量

左室鑄型計測値を用いて, Table 1 に示す 1-6 の算出式で求めた左室容量と, 真の容量の間には高い相関関係を認めたが ($r=0.970$ to 0.975),

すべての算出式が過大評価傾向にあった (Table 2, Fig. 6).

Single plane シネ撮影法を用いて single plane および biplane 法で求めたアンジオ容量と真の容量の間には高い相関関係を認めたが ($r=0.972$ to

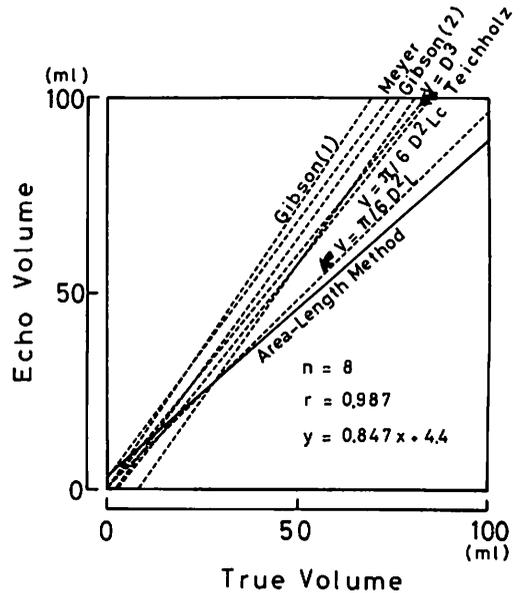
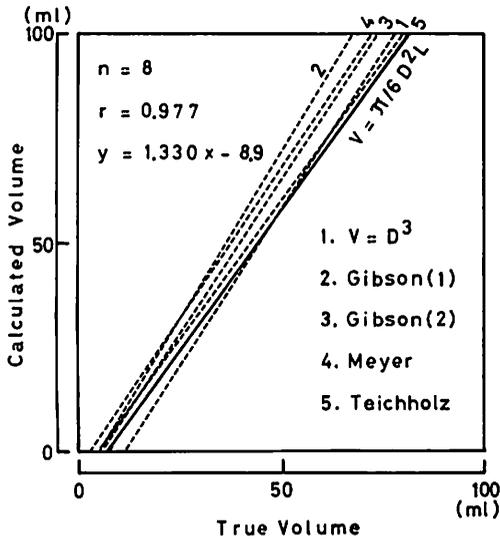


Fig. 6. Graphic representation of the formulas of Table 2.

Solid line represents regression equation of cast volumes versus calculating volumes by ellipse.

Fig. 7. Graphic representation of the formulas of Table 3.

Solid line represents regression equation of cast volumes versus echocardiographic volumes calculated by area length method.

Table 3. Correlation between left ventricular volumes determined by cast and by eight echocardiographic formulas using two-dimensional echocardiographic dimensions

Method	Correlation coefficient	SEE	Regression equation
1. Cube	0.967	7.33	$V' = 0.678 V + 9.93$
2. Gibson's EDV	0.967	7.29	$V' = 0.644 V + 2.42$
3. Gibson's ESV	0.967	7.26	$V' = 0.694 V + 4.16$
4. Meyer's method	0.967	7.36	$V' = 0.706 V + 0.38$
5. Teichholz's method	0.967	7.35	$V' = 0.765 V + 2.73$
6. Ellipse	0.970	7.01	$V' = 0.982 V + 2.22$
7. Corrected ellipse	0.969	7.11	$V' = 0.765 V + 5.24$
8. Area length method	0.987	4.68	$V' = 1.242 V + 0.45$

0.985), 過大評価傾向があった (Fig. 7). Single plane 法は 150 度, および biplane 法は 60~150 度の組み合わせがもっとも高い相関関係を認めたので, 以下の検討ではこれらの値をアンジオ容量として取り扱った ($r=0.972$, $r=0.985$).

4. エコー容量

剖検心左室エコー図より求めた計測値を用いて, Table 1 に示す 8 式で算出した, 左室容量と真の容量の間には高い相関関係を認めた (Table 3, Fig. 8, $r=0.967$ to 0.987). Standard error of the estimate は 4.68 と area length 法が最小であった. 左室短径を用いて算出する 1-5 の式および 6 の corrected ellipse は過大評価, ellipse および area length 法は過小評価傾向を認めた.

鋳型アンジオ容量とエコー容量の間には高い相関関係を認めた (Table 4, Fig. 9, $r=0.921$ to 0.972). 左室短径を用いて算出する Table 1 の 1-5 式および corrected ellipse は, 容量 50 ml

以上では過大評価, ellipse および area length 法では過小評価傾向を認めた.

5. 臨床例

左室短径を M-mode 法および断面法で求め, Teichholz の式を用いて算出した左室容量と, 35 mm シネアンジオ容量との間には高い相関関係を認めた (Fig. 10, $r=0.943$, $SEE=17.82$; $r=0.954$, $SEE=16.02$).

断層法の corrected ellipse 法, および area-length 法を用いて求めた左室容量と, 35 mm シネアンジオ容量との間には高い相関関係を認めた (Fig. 11, $r=0.951$, $SEE=16.57$; $r=0.949$, $SEE=16.84$).

考 案

正確な左室容量を知ることは左心機能を知る上できわめて重要である. 非観血的に繰り返し検査することが可能な心エコー図法では多くの左室容

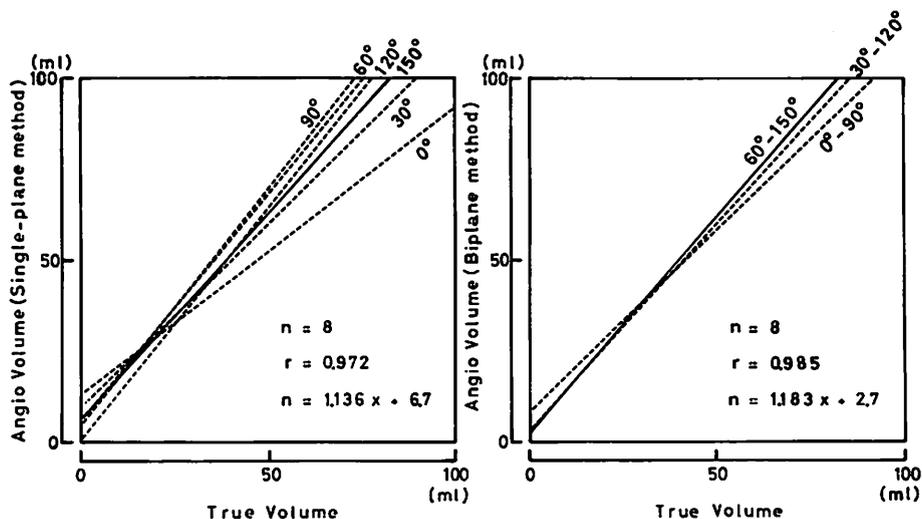


Fig. 8. Relationship between true volumes and angiographically obtained volumes.

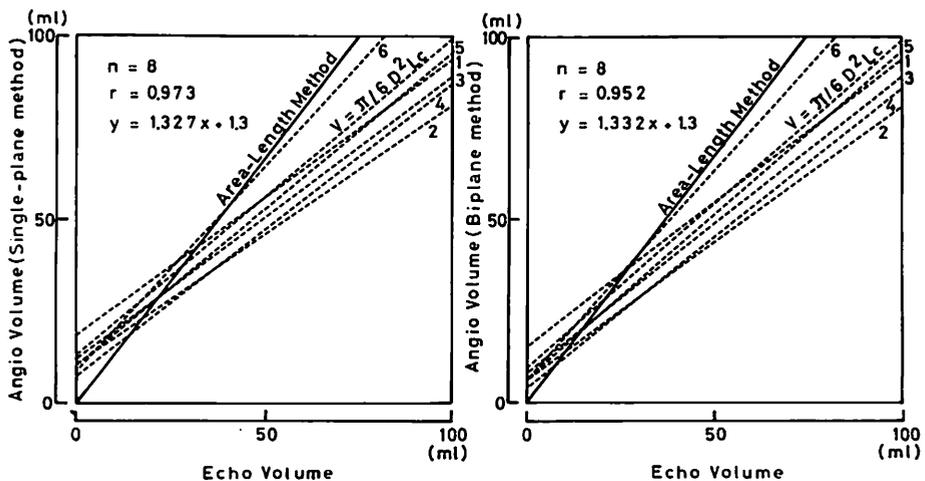
Left: Relation between true volumes and cineangiographic volume determined from single plane 0, 30, 60, 90, 120 and 150 degree radiographs of casts. There is the highest correlation between true volume and single plane cineangiographic volume in 150 degree.

Right: Relation between true volumes and cineangiographic volumes determined from biplane 0-90, 30-120 and 60-150 degree radiographs of casts. There is the highest correlation between true volumes and biplane cineangiographic volumes in 60-150 degree.

Table 4. Correlation between left ventricular volumes determined by single plane cineangiography and by eight echocardiographic formulas using two-dimensional echocardiographic dimensions (A) and correlation between left ventricular volumes determined by biplane cineangiography and by eight echocardiographic formulas (B)

Method	Correlation coefficient	SEE	Regression equation
A) 1. Cube	0.921	13.09	$V' = 0.755 V + 18.54$
2. Gibson's EDV	0.923	12.89	$V' = 0.719 V + 10.10$
3. Gibson's ESV	0.923	12.89	$V' = 0.774 V + 12.05$
4. Meyer's method	0.923	12.93	$V' = 0.787 V + 7.82$
5. Teichholz's method	0.922	12.94	$V' = 0.853 V + 10.45$
6. Ellipse	0.935	11.86	$V' = 1.107 V + 9.49$
7. Corrected ellipse	0.938	11.65	$V' = 0.865 V + 12.78$
8. Area length method	0.972	7.86	$V' = 1.431 V + 6.67$
B) 1. Cube	0.932	12.45	$V' = 0.786 V + 15.10$
2. Gibson's EDV	0.936	12.17	$V' = 0.749 V + 6.29$
3. Gibson's ESV	0.935	12.22	$V' = 0.806 V + 8.33$
4. Meyer's method	0.935	12.21	$V' = 0.820 V + 3.90$
5. Teichholz's method	0.935	12.19	$V' = 0.889 V + 6.63$
6. Ellipse	0.936	12.09	$V' = 1.139 V + 6.11$
7. Corrected ellipse	0.934	12.31	$V' = 0.886 V + 9.67$
8. Area length method	0.950	10.75	$V' = 1.437 V + 4.17$

V = echocardiographically determined volume; V' = angiographically determined volume.



1. $V = D^3$ 2. Gibson(1) 3. Gibson(2) 4. Meyer 5. Teichholz 6. $V = \pi / 6 D^2 L$

Fig. 9. Graphic representation of the formulas of Table 4.

There is a highest correlation between echocardiographic volumes calculated by area length method and cineangiographic volumes.

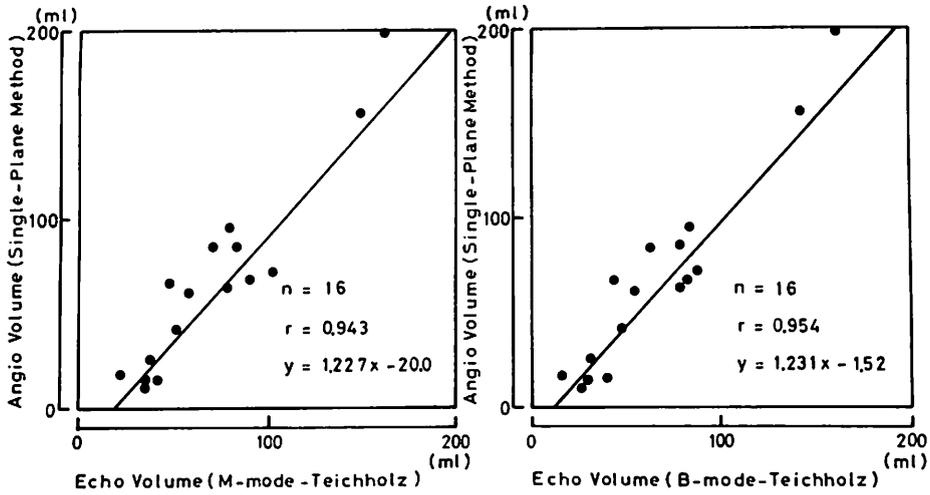


Fig. 10. Comparison between echocardiographically measured left ventricular volumes and those obtained by angiography.

Left: Echocardiographic volumes calculated using Teichholz's method from a minor axis dimension of M-mode echocardiograms versus the cineangiographic volumes determined from single plane radiographs in 30 degree right anterior oblique projection.

Right: Echocardiographic volumes calculated using Teichholz's method from a minor axis dimension of two-dimensional echocardiograms (B-mode) versus cineangiographic volumes determined from single plane radiographs in 30 degree right anterior oblique projection.

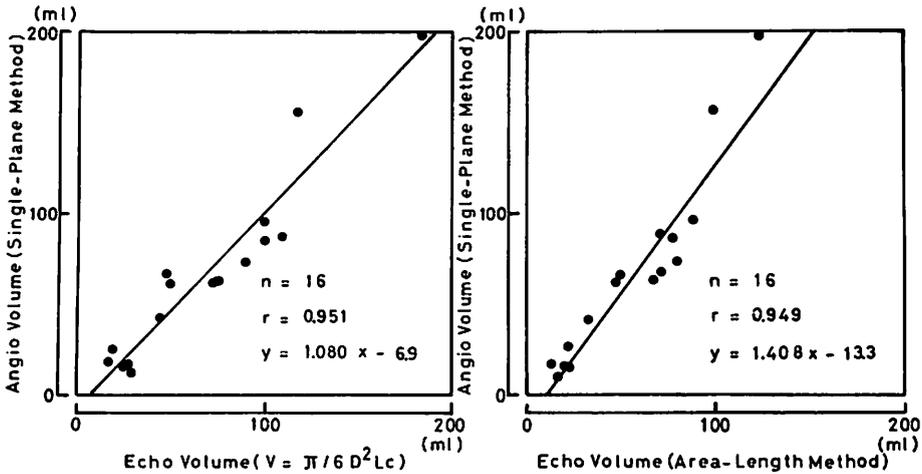


Fig. 11. Comparison between two-dimensional echocardiographically measured left ventricular volumes and those obtained by angiography.

Left: Two-dimensional echocardiographic volumes calculated using ellipse versus cineangiographic volume.

Right: Two-dimensional echocardiographic volumes calculated using area length method versus cineangiographic volumes.

量算出式が提唱されている^{1-18,23-28)}。これらのうち、M-mode 法はおもに左室短径を用いて左室容量を算出し、それはアンジオ容量と比較的よく一致すると言われている。しかし左室に収縮異常がある場合とか、容量負荷を伴う例では、M-mode 法の左室容量とアンジオ容量は必ずしも一致しないとされている^{11,13,18)}。この欠点を補うため、Machii ら¹²⁾は心尖部よりエコービームを入射させて左室長径を求め、ellipsoid model を用いて左室容量を算出し、アンジオ容量と高い相関を得ている。

このように情報量を増すことは左室容量を求める上に有利と考えられ、心断層法による左室容量算出が期待された¹⁰⁾。本法は多くの左室断面像を記録することが可能であり、これらの断面像を重ね合わせることによって左室の三次元表示が可能である。事実、複数の左室断面像より左室容量を算出する方法が提唱され²³⁻²⁸⁾、M-mode 法より優れていると指摘されている²⁸⁾。また心断層法による左室容量はイヌ摘出心および剖検心を用いた検討では正確であったが^{15,23,26-28)}、臨床例におけるアンジオ容量との比較では必ずしも良好な相関が得られていない²⁵⁾。さらにほとんどの報告は心断層法による左室容量の過小評価を指摘している^{16,17,23,24,26-28)}。

このため我々は断層法での距離計測についてモデル実験を用いて検討し、さらに剖検心左室鋳型容量、剖検心左室エコー図より求めた容量、および鋳型よりアンジオ手法で求めた容量との比較検討を行ったのである。

断層法での距離計測に関するモデル実験では、反射エコーは実物の位置より左右に流れて細長く記録された。そのため実物の位置と一致するのは反射エコー上端中央点であり、この点を用いて計測すると実測値とよく一致した。またブタ摘出心で左室の記録方向を変えて検討し、この方法に従った計測値間および実測値の間には差を認めなかった。これまでの報告は心内膜エコーの最内側を結ぶ内側を左室内腔としており^{17,25-27)}、心内膜エ

コー上端中央点を結ぶ内側を左室内腔とする我々の方法とは異なっている。以上の差がこれらの報告の左室容量の過小評価の一因になっているものと考えられる。

アンジオ法は左室内腔の最大投影像を得るのに対し、心断層法は肉柱内腔側より反射エコーを得るため、より狭い左室内腔を記録しているものと考えられる¹⁷⁾。剖検心左室鋳型より求めた左室短径計測値は剖検心左室エコー図より求めた短径値とよく一致したが、左室長径は過大であった。この原因としては、鋳型作製時に elastomer を加圧注入する操作によって、鋳型が大きく造られた可能性がある。しかしこの操作は用手注入で、加圧には細心の注意が払われている。また剖検心左室心筋層は厚く¹⁹⁾、この操作によって内腔が変形することは考えにくく、まして左室長径のみ長くなる可能性は低いものと考えられる。この原因の1つとして、心エコー図では真の長軸方向の左室内腔が描写されていない可能性がある。また左室鋳型は肉柱を含み、これより求める左室長径はもっとも長い計測値である。一方心エコー図は肉柱を含まない最内腔側を左室心内膜面として記録しており、もっとも短い計測値であるといえる。このため複雑な構造をもつ心尖では、両法のもつ特性の差がもっとも顕著に出現する可能性があると考えられる。Wyatt ら²⁶⁾も心断層法での心尖部の描写は難かしく、左室長径の過小評価を指摘している。

心断層図で求めた左室容量計測法の誤差は、用いた容量算出モデルのために生じる可能性もある²⁶⁾。これらの容量算出法はほとんどがアンジオ法で用いられた手法に準じており、心断層法本来の特徴を利用した手法とは考え難い。心断層法の左室短軸断面図は肉柱および乳頭筋の評価に優れており^{17,27)}、この断面を用いた容量算出法は優れた方法と考えられているが²³⁾、短軸断面図を等間隔で数多く得ることは困難である²⁶⁾。しかし近い将来、数多くの断面の組合せによって、実時間での三次元表示が可能となり、本法の特徴を充分生

かせるようになるものと考えられる。

鋳型計測値を用いた算出容量は鋳型容量より過大であったが、これは用いた算出式の特性のためと考えられる。またアンジオ法の左室容量も鋳型容量より過大であった²²⁾。剖検心断層図より求めた容量は鋳型容量より過小であったが、高い相関が認められ、アンジオ法に匹敵する精度を有するものと考えられる。

臨床例での検討では、アンジオ法による容量と心断層法および Teichholz 法による容量との間には高い相関を認めた。これは比較的収縮異常がなく、容量負荷も軽い症例を検討対象にしたことによるものと思われる。

心断層図より求めた左室容量は再現性も比較的安定しており^{14,17,27,28)}、生理的条件下で非観血的に繰り返し求めることができる。また過小評価の傾向はあるが、心尖部を十分に描写し、さらに本法の特徴を生かすことによって、もっとも優れた左室容量算出法となる可能性がある。

要 約

心エコー図、とくに心断層図による左室容量算出の特徴を知るために、距離計測について、モデル実験およびブタ摘出心を用いて検討した。さらに左室容量算出法については、剖検心を用いて鋳型を作製し、その左室断層図より求めた容量、アンジオ手法で求めた容量および鋳型容量について比較検討した。距離計測は反射エコー上端中央点を用いて計測すると実測値とよく一致し、左室の記録方向によっても計測値が影響を受けないことが判明した。しかし剖検心左室長径の心断層図による計測では過小評価の傾向を認めた。

左室容量算出については8種の算出式を検討した。鋳型実測値を用いた検討では、M-mode法で提唱された式はすべて鋳型容量より過大に評価した。剖検心断層図より求めた容量は過小評価の傾向を認めたが、鋳型容量と高い相関があった($r=0.987$)。

臨床例での検討では、Teichholz 法および心断

層図より求めた容量はアンジオ容量と高い相関があった($r=0.943\sim 0.954$)。

心断層図より求める左室容量は、生理的条件下で非観血的に繰り返し求めることができ、過小評価の傾向はあるが、心尖部を十分に描写し、さらに本法の特徴を生かすことによって、もっとも優れた左室容量算出法となる可能性がある。

文 献

- 1) Feigenbaum H, Zaky A, Nasser WK: Use of ultrasound to measure left ventricular stroke volume. *Circulation* 35: 1092, 1967
- 2) Popp RL, Harrison DL: Ultrasonic cardiac echography for determining stroke volume and valvular regurgitation. *Circulation* 41: 493, 1970
- 3) Pombo JP, Troy BL, Russell RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* 43: 480, 1971
- 4) Fortuin NJ, Hood WP Jr, Craige E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* 44: 575, 1971
- 5) Feigenbaum H, Popp RL, Wolfe SB, Troy BL, Pombo JF, Haine CL, Dodge HT: Ultrasound measurements of left ventricle: a correlative study with angiocardiology. *Arch Intern Med* 129: 461, 1972
- 6) King DL, Jaffee CC, Schmidt DH, Ellis K: Left ventricular volume determination by cross-sectional cardiac ultrasonography. *Radiology* 104: 201, 1972
- 7) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* 35: 128, 1973
- 8) Meyer RA, Stockert J, Kaplan S: Echographic determination of left ventricular volumes in pediatric patients. *Circulation* 51: 297, 1975
- 9) Gehrke J, Leeman S, Raphael M, Pridie RB: Non-invasive left ventricular volume determination by two-dimensional echocardiography. *Brit Heart J* 37: 911, 1975
- 10) Linhart JW, Mintz GS, Segal BL, Kawai N, Kotler MN: Left ventricular volume measurement by echocardiography: fact or fiction?. *Amer J Cardiol* 36: 114, 1975
- 11) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Amer J Cardiol* 37: 7, 1976
- 12) Machii K, Tamura T, Natsume T, Umeda T:

- Echocardiographic left ventricular volume determination by direct measurements of the major and minor axes. *Jpn Circulat J* 41: 501, 1977
- 13) Bhatt DR, Isabel-Jones JB, Villoria GJ, Nakazawa M, Yabek SM, Marks RA, Jarmakani JM: Accuracy of echocardiography in assessing left ventricular dimensions and volume. *Circulation* 57: 699, 1978
 - 14) Heng MK, Wyatt HL, Meerbaum S, Woythaler J, Hestenen J, Davidson R, Corday E: An analysis of the reproducibility of 2-dimensional echocardiographic measurements. *Amer J Cardiol* 41: 390, 1978 (abstr)
 - 15) Wyatt HL, Heng M, Meerbaum S, Davidson R, Corday E, Hestenen J: Evaluation of models for quantifying left ventricular size by 2-dimensional echocardiography. *Amer J Cardiol* 41: 369, 1978 (abstr)
 - 16) Chaudry KR, Ogawa S, Pauletto FJ, Hubbard FE, Dreifus LS: Biplane measurements of left and right ventricular volumes using wide angle cross-sectional echocardiography. *Amer J Cardiol* 41: 391, 1978 (abstr)
 - 17) Carr KW, Engler RL, Forsythe JR, Johnson AD, Gosink B: Measurements of left ventricular ejection fraction by mechanical cross-sectional echocardiography. *Circulation* 59: 1196, 1979
 - 18) Kronik G, Slany J, Mösslacher H: Comparative value of eight M-mode echocardiographic formulas for determining left ventricular stroke volume: A correlative study with thermodilution and left ventricular single-plane cineangiography. *Circulation* 60: 1308, 1979
 - 19) Maron BJ, Henry WL, Roberts WC, Epstein SE: Comparison of echocardiographic and necropsy measurements of ventricular wall thickness in patients with and without disproportionate septal thickening. *Circulation* 55: 341, 1977
 - 20) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD: The use of biplane angiography for the measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* 60: 762, 1960
 - 21) Tajik AJ, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Lie JT: Two-dimensional real-time ultrasonic imaging of the heart and great vessels. Technique, image orientation, structure identification, and validation. *Mayo Clin Proc* 53: 271, 1978
 - 22) Yang SS, Bentivoglio LG, Maranhão V, Goldberg H: Cardiac volume. In *From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters*. FA Davis, Philadelphia, 1978, pp. 101-151.
 - 23) Eaton LW, Maughan WL, Shoukas AA, Weiss JL: Accurate volume determination in the isolated ejecting canine left ventricle by two-dimensional echocardiography. *Circulation* 60: 320, 1979
 - 24) Schiller NB, Acquatella H, Ports TA, Drew D, Goerke J, Ringertz H, Silverman NH, Brundage B, Botvinick EH, Boswell R, Carlsson E, Parmley WW: Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. *Circulation* 60: 547, 1979
 - 25) Folland ED, Parisi AF, Moynihan PF, Jones DR, Feldman CL, Tow DE: Assessment of left ventricular ejection fraction and volumes by real-time, two-dimensional echocardiography. A comparison of cineangiographic and radionuclide techniques. *Circulation* 60: 760, 1979
 - 26) Wyatt HL, Heng MK, Meerbaum S, Hestenes JD, Cobo JM, Davidson RM, Corday E: Cross-sectional echocardiography. I. Analysis of mathematic models for quantifying mass of the left ventricle in dogs. *Circulation* 60: 1104, 1979
 - 27) Wyatt HL, Heng MK, Meerbaum S, Gueret P, Hestenes JD, Dula E, Corday E: Cross-sectional echocardiography. II. Analysis of mathematic models for quantifying volume of the formalin-fixed left ventricle. *Circulation* 61: 1119, 1980
 - 28) Silverman NH, Ports TA, Snider AR, Schiller NB, Carlsson E, Heilbron DC: Determination of left ventricular volume in children: Echocardiographic and angiographic comparisons. *Circulation* 62: 548, 1980