

断層心エコー図による左室 容量計測

Left ventricular volume determination by two- dimensional echocardiography

田村 勤
山口 徹
松田 光生
杉下 靖郎
伊藤 巖
梅田 徹*
町井 潔*
遠田 栄一*

Tsutomu TAMURA
Tetsu YAMAGUCHI
Mitsuo MATSUDA
Yasuro SUGISHITA
Iwao ITO
Toru UMEDA*
Kiyoshi MACHII*
Eiichi TOHDA*

Summary

The applicability of two-dimensional echocardiography to left ventricular volume determination was evaluated in 30 patients undergoing routine single-plane left ventricular cineangiography.

Two-dimensional echocardiographic recordings were obtained in three different views, that were LAO equivalent view, RAO equivalent view and four chamber view, by placing the transducer at the apex of the heart. In the LAO equivalent view the interventricular septum and posterior wall of the left ventricle were transected, and in the RAO equivalent view anterior and inferior walls of the left ventricle were transected, and the four chamber view displayed all four chambers of the heart. End-diastolic and end-systolic left ventricular volumes (EDV and ESV) and ejection fraction (EF) calculated from two-dimensional echocardiography with the area-length method and from quantitative cineangiography were compared.

Routine M-mode echocardiography was also performed to measure the short axis of the left ventricle at end-diastole (Dd) and end-systole (Ds), and the long axis was indirectly estimated by the formula $Ld=0.97 Dd+3.8$, $Ls=1.1 DS+3.1$. EDV, ESV and EF by M-mode echocardiography were calculated according to the formula $V=\pi/6 D^2L$, and compared with those by cineangiography.

There were good correlations between two-dimensional echocardiographic estimates by 3 different views and cineangiographic estimates in EDV and ESV ($r=0.89\sim0.98$), but two-dimensional echocardiography remarkably underestimated left ventricular volume: for example, by RAO equivalent view,

筑波大学臨床医学系 内科
茨城県新治郡桜村天久保 1-1-1 (〒305)
*三井記念病院 循環器センター
東京都千代田区神田和泉町 1 (〒100)

Department of Internal Medicine, Institute of Clinical
Medicine, The University of Tsukuba, Amakubo
1-1-1, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki 305
*Center for Cardiovascular Disease, Mitsui Memorial
Hospital, Kanda Izumi-cho 1, Chiyoda-ku, Tokyo 100

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979

Received for publication April 29, 1980

the regression equation was $EDV-ECHO=0.52 EDV-ANGIO+26$ (ml), and $ESV-ECHO=0.55 ESV-ANGIO+6$ (ml). There was a good correlation between two-dimensional echocardiographic ejection fraction and angiographic ejection fraction ($r=0.52\sim 0.9$), and among the three views RAO equivalent view showed the best correlation ($r=0.91$, $EF-ECHO=0.95 EF-ANGIO+1$).

Left ventricular volumes calculated by M-mode echocardiography showed a good correlation with the angiographic estimates ($r=0.94$ for EDV and 0.87 for ESV) and M-mode echocardiography slightly underestimated left ventricular volume: $EDV-ECHO=0.84 EDV-ANGIO+10$ (ml), $ESV-ECHO=0.63 ESV-ANGIO+18$ (ml). EF calculated by M-mode echocardiography correlated well ($r=0.70$) with cineangiographic estimates, but differed from the line of identity.

There are several explanations for two-dimensional echocardiographic underestimation of EDV and ESV. First, two-dimensional echocardiography images a slice which may not contain the true long axis of the left ventricle. Secondly, the outline of the endocardium may be erroneously identified because of the limitation of lateral resolution of the present echocardiographic equipment. Thirdly, trabeculation and papillary muscles may play a role in narrowing the ventricular cavity.

We conclude that two-dimensional echocardiography is a useful method for evaluating EF, but is not reliable for estimating left ventricular volume.

Key words

Two-dimensional echocardiography

Left ventricular volume

Ejection fraction

はじめに

左室機能を現わすパラメーターの1つである左室容量を、心エコー図により計測する場合、これまで主としてMモード法による左室短径の計測値を用いて、種々の計算式で求められてきた。これらの計算式においては、種々の仮定により左室長径を左室短径から算出して左室容量の計算に用いており、誤差の原因の1つともなっている。断層心エコー図は左室短径および長径を直接測定することができ、Mモード法に伴う仮定を少なくし、方法論としてはより優れたものと予想される。今回我々は心尖部にトランスデューサーを置き、三種類の断層心エコー図を記録し、その像から左室容量を算出し、左室造影法とを比較し、断層心エコー図による左室容量計測の有用性を検討した。

対 象

対象は外来通院中の患者 30 例 (心臓弁膜症 19 例, 虚血性心疾患 11 例) で、左室造影上 asynergy を示す例は含まれていない。性別は男 21 例, 女 9 例で、年齢 23~65 歳であった。

方 法

第一斜位にて cineangiography による左室造影を行い、area-length 法¹⁾にて左室拡張終期容量 (EDV), 左室収縮終期容量 (ESV) を求め、さらに駆出率 (EF) を算出した。

断層心エコー図は東芝製セクター電子走査型断層装置 SSH-11A を用い、超音波周波数 2.4 MHz のトランスデューサーを使用した。断層像はまずビデオテープレコーダーに記録し、ビデオテープの再生像を左室拡張終期、左室収縮終期で静止させ、その静止像を Honeywell 製 hard copy を使用して記録した。

心エコー図の断層面はつぎの3断層面である。トランスデューサーを心尖拍動部に置き、大動脈根部、大動脈弁、左房、左室が記録される面を LAO equivalent view とした。この面では心室中隔と左室後壁が記録される。その位置からトランスデューサーを時計方向に回転し、両心房、両心室が同時に記録される面を four chamber view とした。その位置からトランスデューサーを約 30° 反時計方向に回転し、断層面が心室中隔に平

行となり、左室前壁および下壁・左房の描出される面を RAO equivalent view とした²⁾ (Fig. 1).

以上の RAO equivalent view, LAO equivalent view, four chamber view により得られた像で、心尖部 心内膜面より 僧帽弁輪部 までを 左室長径

とし、area-length 法にて左室拡張 終期容量 (EDV), 左室収縮終期容量 (ESV) および駆出率 (EF) を算出した。

また第 3 肋間胸骨左縁よりビームを入射し、通常の方法にて左室短径 (D) を測定し、左室長径を

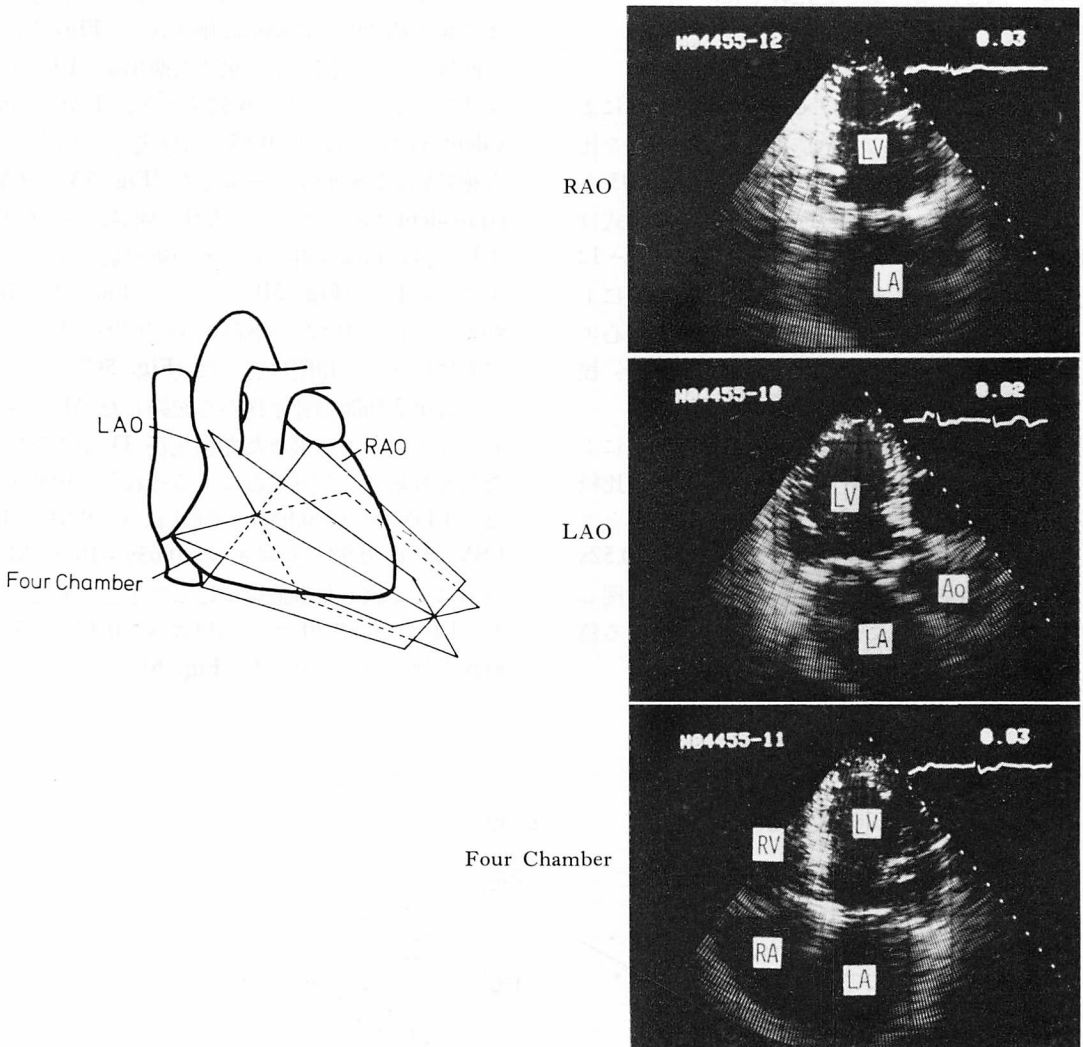


Fig. 1. Three tomographic planes obtained with the transducer placed at apex of the heart.

LAO: LAO equivalent view (in this section the beam transects the aortic valve, left atrium, interventricular septum, and posterior wall of the left ventricle). RAO: RAO equivalent view (in this section the beam transects the left atrium, anterior and inferior walls of the left ventricle). Four Chamber: Four Chamber view (in this section all four chambers are demonstrated).

LA=left atrium; AO=aorta; LV=left ventricle; RV=right ventricle; RA=right atrium.

補正式 ($Ld=0.97Dd+3.8$, $Ls=1.1Ds+3.1$)³⁾ より算出し, 左室容量 $V=\pi/6 D^2L$ の式で M モード心エコー図による EDV, ESV, EF を算出した。

以上により求めた左室容量と駆出率の値につき, 心エコー図と左室造影とを比較した。

結 果

断層心エコー図の LAO equivalent view により求めた左室容量と, 左室造影によるそれとを比較すると, EDV は $r=0.92$, ESV は $r=0.93$ とよく相関したが ($p<0.001$), その一次回帰式は EDV で $y=0.56x+20$, ESV で $y=0.57x+12$ (x : 左室造影による値, y : 断層心エコー図による値)となり, その絶対値に関しては, 断層心エコー図による値は左室造影による値の約 60% 程度に過小評価された (Fig. 2)。

断層心エコー図の RAO equivalent view により求めた左室容量と左室造影によるそれとを比較すると, EDV は $r=0.89$, ESV は $r=0.98$ とよく相関したが, その回帰式は EDV で $y=0.52x+26$, ESV で $y=0.55x+6$ で絶対値に関して, 断層心エコー図による値は左室造影による値の約 60% に過小評価された (Fig. 3)。

断層心エコー図の four chamber view により求めた左室容量と左室造影によるそれとを比較すると, EDV では $r=0.94$, ESV で $r=0.91$ とよく相関したが, その一次回帰式は EDV で $y=0.52x+17$, ESV で $y=0.52x+28$ となり, 絶対値に関して断層心エコー図による値は左室造影による値の約 60% に過小評価された (Fig. 4)。

断層心エコー図により求めた駆出率 (EF) と左室造影によるそれとを比較すると, LAO equivalent view では $r=0.85$, 回帰式 $y=0.79x+10$ と絶対値も比較的よく一致した (Fig. 5A)。RAO equivalent view では $r=0.91$, 回帰式 $y=0.95x+1$ と良い相関が得られ, その絶対値に関してよく一致した (Fig. 5B)。しかし four chamber view では $r=0.52$, 回帰式 $y=0.39x+12$ と前二者に比べその相関は劣った (Fig. 5C)。

一方第 3 肋間胸骨左縁から記録した M モード心エコー図により求めた左室短径 D から算出した左室容量と, 左室造影によるそれとを比較すると, EDV は $r=0.95$, 回帰式は $y=0.84x+10$, ESV は $r=0.92$, 回帰式 $y=0.63x+18$ で M モードによる値も左室造影に比して小さい値をとった。EF は $r=0.70$ で, 回帰式 $y=0.47x+35$ と直線の傾きが小となった (Fig. 6)。

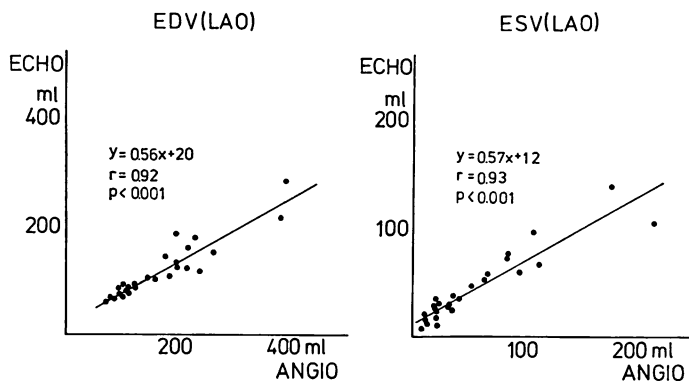


Fig. 2. End-diastolic (EDV) and end-systolic (ESV) volumes determined by two-dimensional echocardiography LAO equivalent view compared with cineangiography.

The regression equation is $y=0.56x+20$ ($r=0.92$) for EDV and $y=0.57x+12$ ($r=0.93$) for ESV.

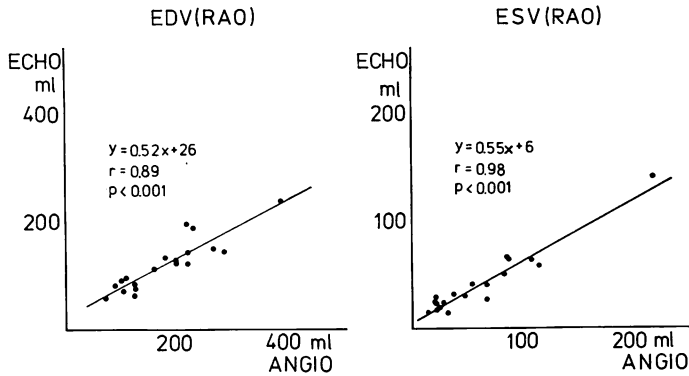


Fig. 3. End-diastolic (EDV) and end-systolic (ESV) volumes determined by two-dimensional echocardiography in RAO equivalent view compared with cineangiography.

The regression equation is $y=0.52x+26$ ($r=0.89$) for EDV, and $y=0.55x+6$ ($r=0.98$) for ESV.

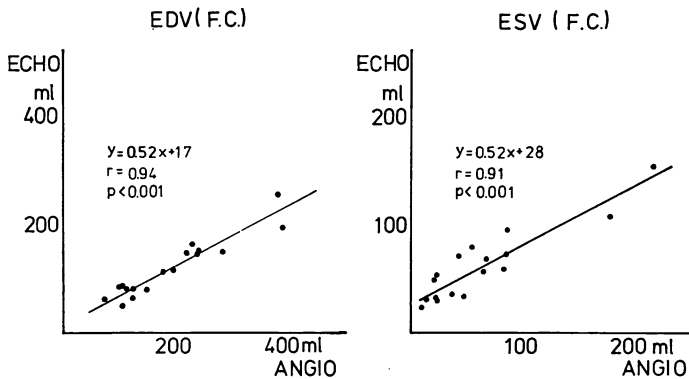


Fig. 4. End-diastolic (EDV) and end-systolic (ESV) volumes determined by two-dimensional echocardiography in four chamber view compared with cineangiography.

The regression equation is $y=0.52x+17$ ($r=0.94$) for EDV, and $y=0.52x+28$ ($r=0.91$) for ESV.

考 案

従来、断層心エコー図による左室容量計測は種々の問題、とくに左室心内膜面の描出の困難さのためかえりみられず、主として M モード法により求められてきた。近年装置の改良により、左室心内膜面の同定が容易となり、断層像による容量計測が可能となってきた。

今回の心尖部からの断層像を用いて算出した左室容量は、LAO equivalent view, RAO equi-

valent view, four chamber view とも左室造影によるそれとの相関はよかったが、その絶対値は約 60% に過小評価された。これまでの文献でも断層心エコー図により求めた左室容量と、左室造影によるそれとを比較すると、その相関は良いが ($r=0.80\sim0.93$)⁴⁻⁷⁾、その絶対値の一致に関しては断層心エコー図により求めた値は、いずれも左室造影により求めた値と比べて小さい値をとっており、Gehrke ら⁴⁾ は約 80% に、Carr ら⁵⁾ は EDV で約 60% に、Schiller ら⁶⁾ は EDV・ESV

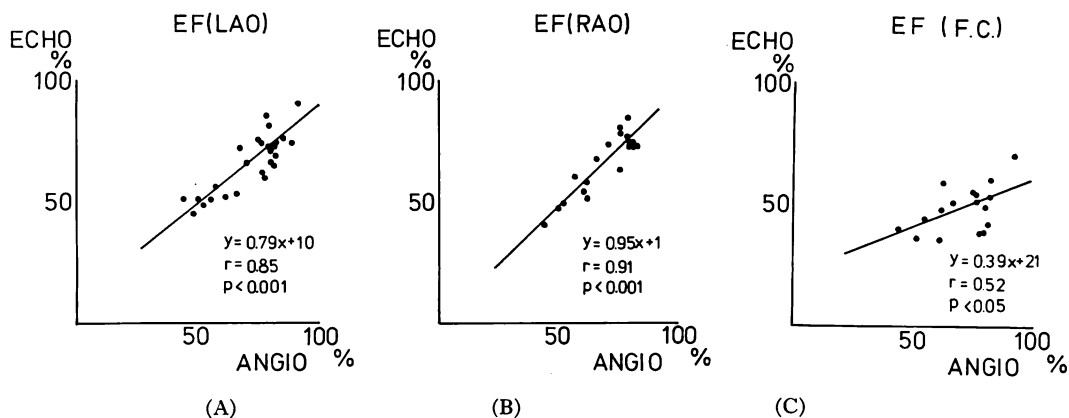


Fig. 5. Relationship of left ventricular ejection fraction determined by three different views of two-dimensional echocardiography compared with cineangiography.

- A: EF is calculated from LAO equivalent view. Regression equation is $y=0.79x+10$ ($r=0.85$).
- B: EF is calculated from RAO equivalent view. Regression equation is $y=0.95x+1$ ($r=0.91$).
- C: EF is calculated from four chamber view. Regression equation is $y=0.39x+21$ ($r=0.52$).

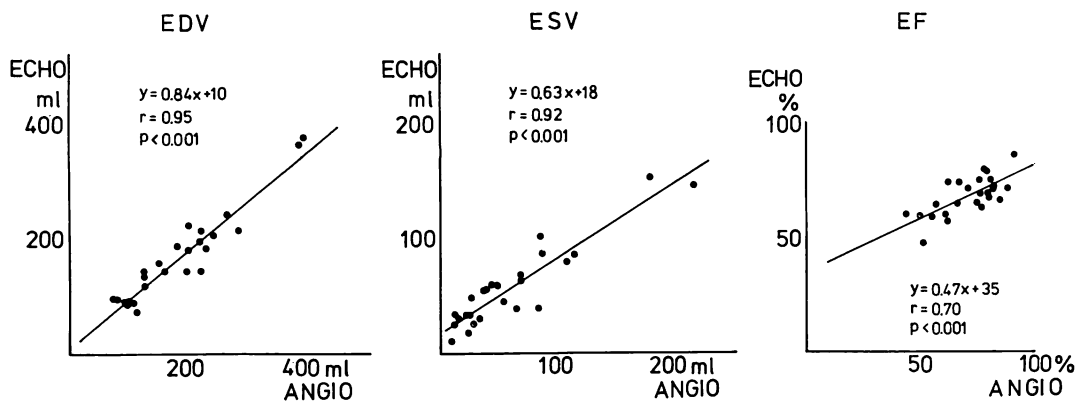


Fig. 6. End-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) and ejection fraction (EF) determined by M-mode echocardiography compared with cineangiography.

Regression equation is $y=0.84x+10$ ($r=0.95$) for EDV, $y=0.63x+18$ ($r=0.92$) for ESV, and $y=0.47x+35$ ($r=0.70$) for EF.

とも約70%に、Follandらは約80%に過小評価するとしている。

断層心エコー図による左室容量が過小評価される原因として、第1に観察される面の相違があげられる。すなわち左室造影は左室の投影像をみており、一方向の左室造影でも第一斜位では長径はある程度正確に反映されてくる。しかし断層心エ

コー図は1つの任意の面のみを観察しており、その面に真の長径が含まれていない可能性がある。今回の我々の成績でも各断層面における長径を左室造影による値と比較してみると、3断層面のいずれの長径も左室造影による長径に比して短く、また短径も短かった。第3肋間から記録したMモード法による左室短径は、左室造影により求め

たそれと比較して幾分小さい値をとるが³⁾、3断層像から area-length 法により算出した左室短径は、各像とも M モード法により求めた短径よりさらに小さい値となった。すなわち断層面が真の心尖部からはずれ、長径に平行または斜めの面を観察しているものと考えられ、最大となる長径を記録すべく努力が必要である。

第2に肉柱・乳頭筋の問題がある。左室造影では肉柱の間に造影剤がはいりこみ、最も外側を心内膜面とするが、心エコー図では必ずしもそうではなく、肉柱の内側を心内膜面とすることが多いと考えられる。第3に方位分解能の限界の問題がある。心尖部からビームを投入した場合、RAO equivalent view では前側壁・下壁が、LAO equivalent view では心室中隔・後壁が、four chamber view では心室中隔・側壁がビームに平行となり、それらの部分の心内膜の同定に困難をきたしたり、実際より内側に心内膜面を同定し、内腔を小さく評価する可能性があり、技術的な改良が要求される。

M モード法により求めた左室容量は左室造影法のそれとの相関はよく (EDV で $r=0.95$, ESV で $r=0.87$)、その絶対値に関しても EDV では約 90% に、ESV では約 80% に過小評価したが、断層法に比べ左室造影での値により近い値を示した。Asynergy のない場合には、M モード法による左室容量計測は優れた方法であることに変わりないと考えられる。

駆出率 (EF) は断層心エコー図の RAO equivalent view によるものが、左室造影との相関が最もよく、絶対値もより近い値を示した。RAO equivalent view は観察している面が、左室造影法と最も近似しているためであると考えられる。これまでの文献でも LAO equivalent view、胸骨左縁からの短軸断層面と RAO equivalent view の組み合わせ、短軸断層面と four chamber view の組み合わせなどの方法で EF を算出しているが、 $r=0.78\sim 0.93^{4-7)}$ でその回帰式は $y=x+5$ から $y=0.66x+13$ とその絶対値に関して左室造影と

の一致はよい。

3つの断層面の中では、four chamber view はトランスデューサーの角度を変えても類似した像が得られ、その中で長径の最大のものをとらえる努力を要する。RAO equivalent view は時として前側壁の描出が困難であるという欠点がある。LAO equivalent view は僧帽弁・大動脈弁を心尖部の対側の目標としており、心室中隔・左室後壁が比較的記録しやすく、EF の絶対値の一致に関しては RAO equivalent view にやや劣るが、3断層面の中では臨床的に標準となる面と考えられる。

結 語

心尖部から LAO equivalent view, RAO equivalent view, four chamber view の断層心エコー図を記録し、左室容量を計測した。

1) 3断層面とも、EDV・ESV は左室造影による値とよく相関するが、その絶対値は約 60% に過小評価された。いわゆる心尖部からの断層心エコー図は真の長径を含む面をとらえていないこと、方位分解能の影響による心内膜同定の誤認、乳頭筋・肉柱の影響などがこの原因と考えられた。

2) EF は LAO equivalent view, RAO equivalent view で左室造影による値とよく相関したが、その絶対値は RAO equivalent view による値が最も近い値を示した。

要 約

30例の asynergy のない症例で、第一斜位による左室造影および断層心エコー図検査を施行し、両者による左室容量、駆出率を比較した。

心尖部にトランスデューサーを置き、心室中隔・左室後壁の描出される LAO equivalent view、左室前壁・下壁の描出される RAO equivalent view、両心房・両心室の描出される four chamber view の3つの断層像を記録し、area-length 法により左室拡張終期容量 (EDV)、収縮終期容量 (ESV)、駆出率 (EF) を算出した。また第3肋間

田村, 山口, 松田, ほか

から M モード法により左室短径 (D) を求め, 長径 L を推定し ($L_d=0.97D_d+3.8$, $L_s=1.1D_s+3.1$), 左室容量を算出した. 以上により求めた心エコー図による左室容量と, 左室造影によるそれとを比較した.

断層心エコー図により求めた EDV, ESV は 3 断層像とも左室造影によるそれとの相関はよかったが ($r=0.89\sim 0.98$), その絶対値は約 60% で過小評価された. EF は RAO equivalent view によるものが最も相関もよく ($r=0.91$), 絶対値もよく一致もした. M モード法による左室容量は EDV, ESV とともに左室造影のそれとよく相関し ($r=0.94, 0.87$), その絶対値もやや過小評価されたが, 左室造影によるそれとの一致性は断層像に優っていた. M モード法による EF はその絶対値において, 断層法よりも劣っていた.

真の長径をとおらない面を記録する可能性があること, 方位分解能の限界による心内膜の同定に誤りを生じる可能性があること, 左室肉柱・乳頭筋の左室心内膜面同定に与える影響等が心尖部からの断層心エコー図により算出した左室容量が過小評価される原因と考えられた.

文 献

1) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord LD:

The use of biplane angiocardiology for measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* 60: 762, 1960

- 2) 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
- 3) 田村 勤, 夏目隆史, 町井 潔, 梅田 徹, 山口 徹, 松田光生: 心エコー図による左室容量. 長径直接測定および長径推定による補正. *J Cardiography* 7: 429, 1977
- 4) Gehrke J, Leeman S, Raphael M, Pridie RB: Non-invasive left ventricular volume determination by two-dimensional echocardiography. *Brit Heart J* 37: 911, 1975
- 5) Carr KW, Engler RL, Forsythe JR, Johnson AD, Gosink B: Measurement of left ventricular ejection fraction by mechanical cross-sectional echocardiography. *Circulation* 59: 1196, 1979
- 6) Schiller NB, Acquatella H, Ports TA, Drew D, Goerke J, Ringerty H, Silverman NH, Brundage B, Botvinik EH, Boswell R, Carlsson E, Parmley WW: Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. *Circulation* 60: 547, 1979
- 7) Folland ED, Parisi AF, Moynihan PF, Jones DR, Feldman CL, Two DE: Assessment of left ventricular ejection fraction and volume by real-time, two-dimensional echocardiography. A comparison of cineangiographic and radionuclide techniques. *Circulation* 60: 760, 1979