

超高速心臓断層図による左室容積のコンピューター分析

Computer-aided system analyzing left ventricular volume by real time cross-sectional echocardiograms

深谷 隆
富田 安彦
馬場 国蔵
大脇 嶺*
吉川 純一*

Takashi FUKAYA
Yasuhiko TOMITA
Kunizo BABA
Takane OWAKI*
Junichi YOSHIKAWA*

Summary

A computer-aided system was developed, which calculates left ventricular volume, major axis and minor axis, non-invasively from real time cross-sectional (two-dimensional) echocardiograms. Linear scan and sector scan cross-sectional echocardiograms were recorded on 35 mm cine-film at 19 frames/sec and 22 frames/sec, respectively. Each cine-frame is digitized with sonic pen system, and left ventricular volumes and axes were calculated according to the area-length method. Results were stored in the moving head disc, listed on the printer and plotted on the X-Y plotter.

Eight cases were studied by this system and the results were compared with those analyzed by cine-angiograms. The former were smaller than the latter, but their correlations were good.

Problems of this system were discussed. First, the improvement of the echo-system to record cross-sectional echocardiograms of better quality is considered to be the most necessary to obtain more accurate results. Second, the two-dimensional echocardiogram is a cross sectional view of the left ventricle and angiogram is a projectional one. This methodological difference is the prime reason why the volumes obtained from cross-sectional echocardiograms are smaller than those obtained from angiograms. Third, from our experience, sector scan is better for the volume study than linear scan cross-sectional echocardiograms.

Key words

Real time cross-sectional echocardiogram Left ventricular volume Computer

はじめに

左室容積は心機能評価の上で基本的かつ重要な

指標の1つであり、臨床的には心血管造影をはじめ種々の方法で算出されている。心エコー図を用いた方法としては、Pombo法などMモード心

神戸市立中央市民病院循環器センター 小児科
* 同 内科
神戸市生田区加納町 1-5 (〒650)

Department of Cardiology, Pediatrics and *Internal
Medicine, Kobe Municipal Central Hospital, Kano-
cho 1-5, Ikuta-ku, Kobe 650

Presented at the 16th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, March 28, 1978
Received for publication April 21, 1978

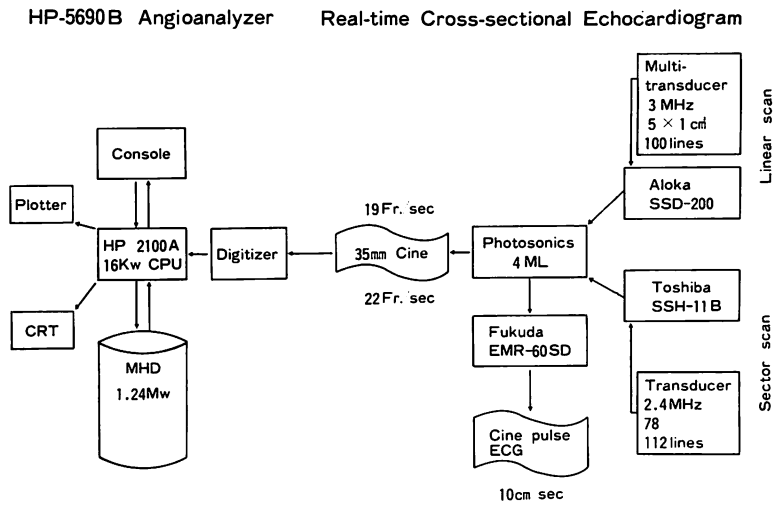


Fig. 1. Hardware of the system.

Real time cross-sectional echocardiograms are recorded on 35 mm cine-films, which are analyzed with the computer-aided system.

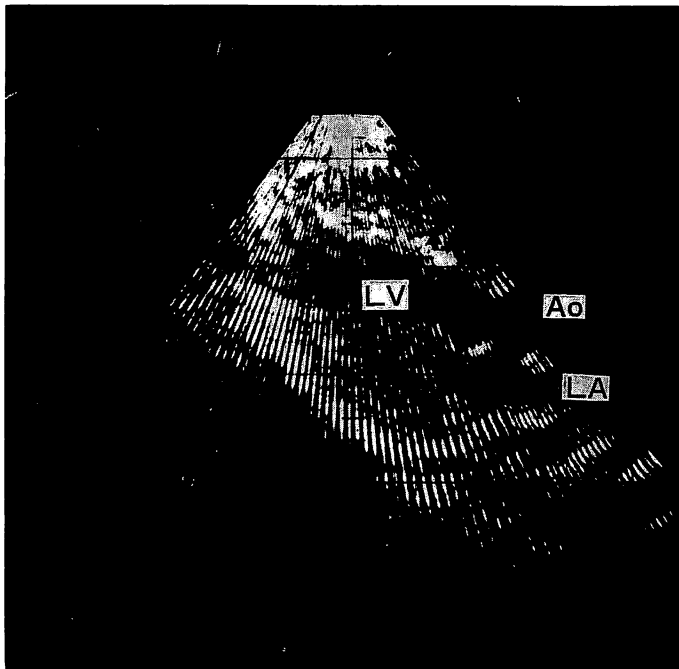


Fig. 2. Sector scan echocardiogram recorded on 35 mm cine-film at 15 frames/sec.

This frame shows early diastole. Ao: aorta, LA: left atrium, LV: left ventricle.

エコー図による方法¹⁻⁵⁾がいくつか提唱されている。これらの方法は非観血的であることから多くの利点をもっているが、いずれも方法論上の問題点があり、結果に対する信頼性は心血管造影に比して著しく劣っている。そこで、心エコー図のもつ非侵襲的という利点を生かし、しかも連続的に左室長軸、短軸に相当する値を得られる real time 超音波断層図をもとに左室容積等を分析するコンピュータシステムを作成した。

方 法

Fig. 1 にシステムの構成を示す。Real time

linear scan 超音波断層図 (以下 linear scan 断層図) は、3 MHz、振動子 60 個、走査幅 5 cm のマルチ探触子を用いて Aloka 製 SSD-200 で記録した。Real time sector scan 超音波断層図 (以下 sector scan 断層図) は、2.4 MHz 32 素子の探触子で、東芝製 SSH-11B を用いて走査角 78° 走査線 112 本で記録した。Sector scan 断層図での超音波ビーム投入部位は、第 3 または第 4 肋間胸骨左縁とした。超音波ビーム投入方向は、大動脈弁および僧帽弁エコーが明瞭に得られる方向で、心尖拍動および心室壁の収縮様態を参考にして左室長軸に相当する方向とした。

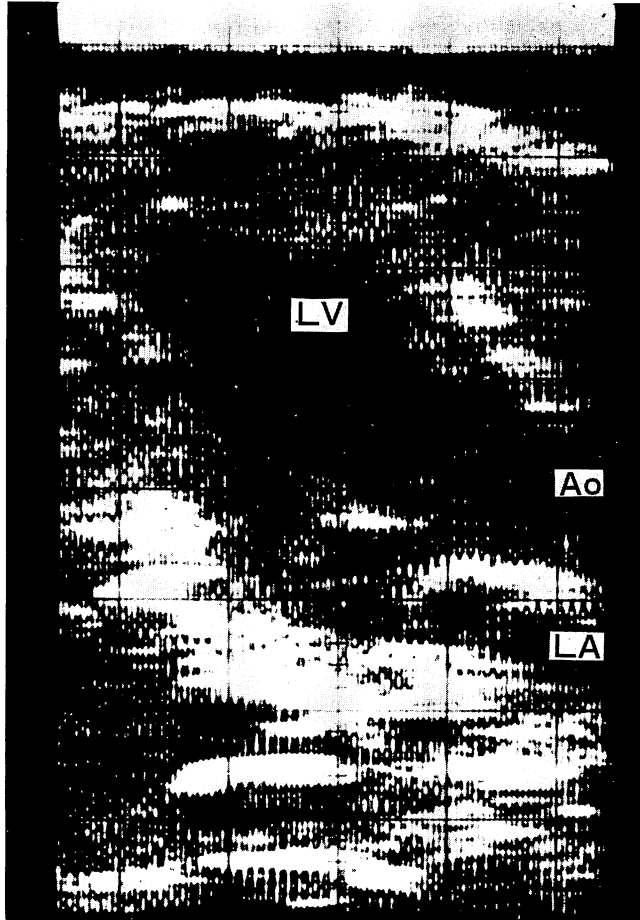


Fig. 3. Linear-scan echocardiogram recorded on 35 mm cine-film at 19 frames/sec. This frame shows diastole. Ao: aorta, LA: left atrium, LV: left ventricle.

得られた断層像をコンピュータで解析するため、35 mm シネに収録した (Fig. 2, 3). シネ撮影スピードはシネカメラのシャッター開放角 144° と超音波断層像作成に要する時間から決まる理論値をもとに、同期ずれによる像の重なりが少なく、しかも像の欠損を生じない値を経験的に決定し、linear scan 断層図は 19 フレーム/秒、sector scan 断層図は 22 フレーム/秒とした。シネ撮影時、シネカメラから発生するシャッターパルスを心電図とともに記録し、各シネフレームの心時相の同定を行った。

コンピュータシステムは、HP5690B angio-analyzer system を用いた。このシステムは 16Kw HP2100A コンピューターを中心に moving head disc, console, display, plotter 等から構成されている。前述の 35 mm シネを、分解能 0.5 mm の digitizer を介してコンピュータに入力した。

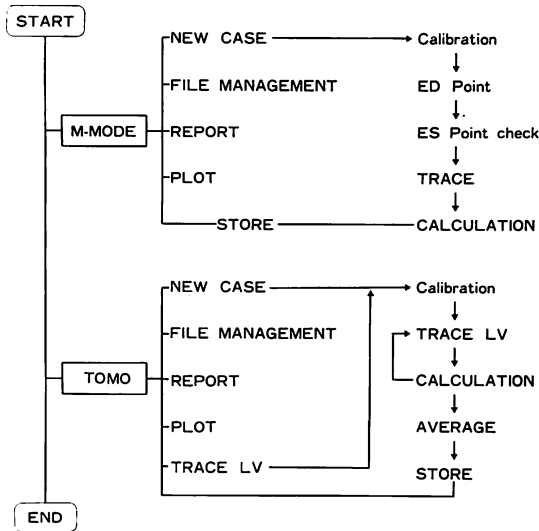


Fig. 4. Software of the system.

Left ventricular volumes and axes are calculated by either M-mode or cross-sectional echocardiograms. After calibrating the magnification, left ventricular volumes and axes are calculated and stored in the moving head disc. Results are listed on the printer and plotted on the X-Y plotter.

プログラム (Fig. 4) は 2つの部分から成っている。1つは超音波断層図からの容積分析システムで、もう1つは M モード心エコー図から Pombo 法¹⁾ で左室容積を求めるシステムである。言語は Fortran IV レベルを使用し、disc operating system 管理下にコンピュータとの対話形式で分析が進められる。超音波断層図からの分析は、まずブラウン管上のスケール (Fig. 2, 3) を利用して拡大率補正を行った後、シネフレームごとに左室腔をトレースし、大動脈起始部中点から左室壁までの最大距離を長軸とし、Sandler-Dodge の area-length 法⁶⁾ により短軸と容積を算出している。分析結果は disc に収録し、console や plotter に出力している。

対 象

現在までの分析対象は、各種心疾患児 8 例であり、いずれも心エコー検査施行前後 2 日以内に心血管造影を行ったものに限った。Linear scan 断層図で分析した 5 例は、冠動脈病変を伴わない小児急性熱性皮膚粘膜リンパ節症候群 (以下 MCLS) 3 例、動脈管開存 (以下 PDA) 1 例、心室中隔欠損 (以下 VSD) に肺動脈弁狭窄 (以下 PS) を伴ったもの 1 例で、年齢は 7 ヶ月~2 歳 7 ヶ月、平均 1 歳 8 ヶ月である。Sector scan 断層図での分析例は、冠動脈病変を伴わない MCLS 2 例、VSD 1 例の計 3 例で、年齢は 3 歳 4 ヶ月~6 歳 6 ヶ月である。

結 果

超音波断層図から得られた結果を評価するために、心血管造影から求めた値と比較した (Fig. 5 a, c). 心血管造影からの容積は、主肺動脈造影または左室造影を毎秒 100 フレーム正側同期 35 mm パイプレンシネに収録したのから Chapman 法⁷⁾ で算出した。長軸は大動脈起始部中点から左室壁までの最大距離を正側で比較して長いほうとし、短軸は容積と長軸から回転楕円体近似して算出した。両方法で求めた容積を比較する (Fig. 5

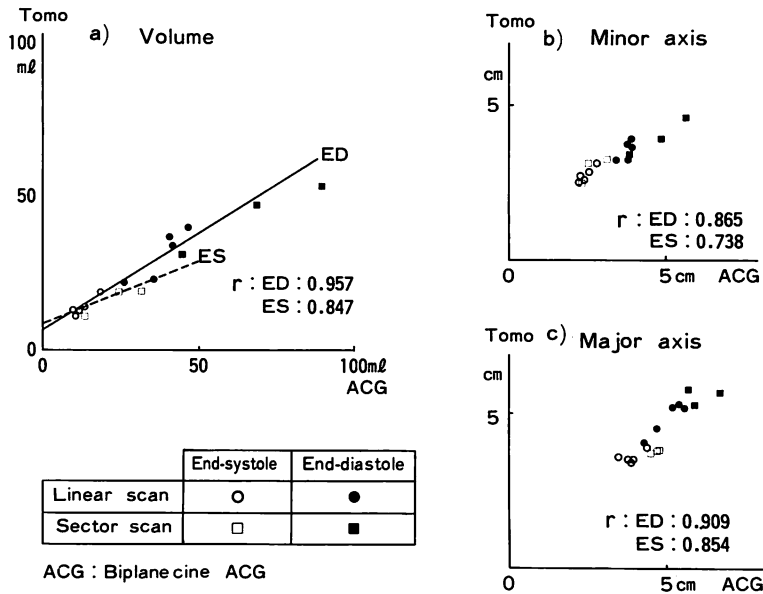


Fig. 5. Comparison of the results calculated from cross-sectional echocardiograms with cine-angiograms.

ED: end-diastole, ES: end-systole, r: correlation coefficient.

a) Left ventricular volume. Solid line indicates the regression equation at end-diastole and dotted line that at end-systole.

b) Minor axis. c) Major axis.

a) と、実線で示す拡張末期の回帰直線は、傾き 0.63, 切片 6.5 ml となり、破線で示す収縮末期の回帰直線は傾き 0.41, 切片 7.9 ml となった。分析症例が 8 例と少数ではあるが、両方法からの容積の相関係数は拡張末期 0.96, 収縮末期 0.85 と良い相関にあった。短軸 (Fig. 5 b) と長軸 (Fig. 5 c) も両方法で得た値は良い相関にあった。また、拡張末期と収縮末期とでは、拡張末期のほうがより良い相関係数が得られた。

考 察

心エコー図を用いて左室容積を分析する方法は、Pombo 法をはじめとし M モード心エコー図を中心にいくつか提唱されてきた^{1-5,8,9)}。これらの大部分は、左室内径を心血管造影によって求めた値に回帰させるか、心電図トリガーを利用して数心拍のいわば平均的左室容積を求める方法^{8,9)}を

とっている。我々も、ちなみに心疾患児 17 例 (MCLS 3 例, VSD 5 例, PS 3 例, PDA 2 例, 大動脈弁閉鎖不全 2 例, ファロー四徴 2 例) で Pombo 法により求めた左室容積等を、心血管造影から求めた値と対比し、検討してみた (Fig. 6 a~f)。17 例での左室長軸短軸比は、拡張末期 1.35 ± 0.13 (平均土標準偏差), 収縮末期 1.66 ± 0.20 で、MCLS および PS の 6 例ではそれぞれ 1.30 ± 0.13 , 1.66 ± 0.17 であった。Pombo 法で得た値は心血管造影で得た値と比べると、相関の良い拡張末期では短軸 (Fig. 6 e) は短く、短軸を 2 倍した長軸 (Fig. 6 c) は長く、結果として得られた容積 (Fig. 6 a) は回帰直線 (Fig. 6 の実線) の傾き 0.83, 切片 -4.1 ml と小さくなっている。すなわち、最も広く用いられている Pombo 法では、数字の上では一見良い値が得られているものの、心周期全体を通して長軸は短

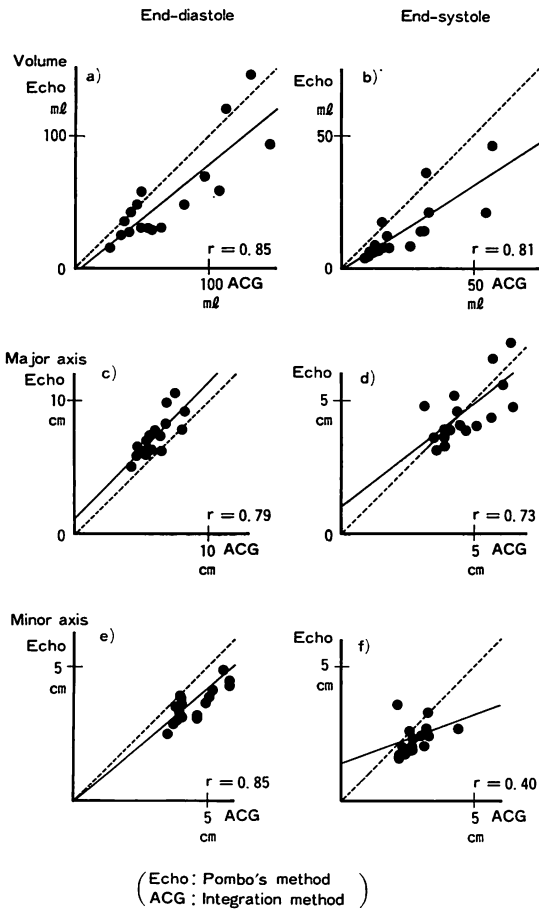


Fig. 6. Comparison of the results calculated from M-mode echocardiograms with those calculated from cine-angiocardiograms.

Solid line shows regression equation and dotted one the median line. Volume (a, b), major axis (c, d) and minor axis (e, f) are compared at end-diastole (a, c, e) and end-systole (b, d, f).

軸の2倍という事実に即さない仮定を含んでいるため、結果に対する信頼性は低下せざるをえなくなっている。

Real time 超音波断層図を用いると、長軸と短軸に相当する値が連続的に得られ、理論的にはMモード心エコー図より少ない仮定で容積算出が可能である。心疾患児8例で、本法から求めた容積、長軸、短軸はいずれも心血管造影からの結果と良

い相関にはあったが、容積は心血管造影に比して小さい値であった。本来、方法論上、心血管造影は投影図であり、常に心室の最大部分を示しているのに比して、超音波断層図はあくまで1断面をとらえている (Table 1-1~5)。このため、超音波断層法ではできるだけ心室の最大軸方向に一致した断層像を得る必要がある。したがって、我々は先に述べた方法で超音波ビーム投入部位と方向を決めているが、これまでビーム投入部位および方向には統一されたものではなく、断層図記録者により必ずしも一定していないと思われる。我々の用いているビーム方向で記録しても、必ずしも最大軸方向の断層像を得ていない可能性があり、心血管造影に比して小さい値を得た一因であると考えている。厳密には、心臓は心周期ごとに振子運動や回転運動など位置の変化を行っているため、心周期全体にわたって軸方向に一致した断層像を得ることは方法論上不可能であると思われる。投影図と断面図の相違から、超音波断層図ではとくに僧帽弁などの心内構造物がより明確に捕えうるので、これらについてトレース上の問題が生じる。僧帽弁は弁輪部と思われる部位を直線で結んでいるため、この点も心血管造影に比して小さい値が得られた原因と考えている。

その他の方法論上の問題点を Table 1-1~4 に列挙する。分析の誤差を少なくする上で最も重要な点は、分解能が良く鮮明な断層像を得ることであると考えられる。超音波断層像をシネに収録し、1フレームを静止像でみると動態での観察に比してかなりの像の劣化が生じている。このため、心内膜や心尖部の同定が困難になり、トレース部位同定上大きな誤差の原因となっている。今後、断層装置が工学的にさらに改良されることが期待される。

Linear scan 断層法と sector scan 断層法の比較は、我々の使用した linear scan 断層装置がやや古い方法を用いているため、sector scan 装置に比して分解能が悪く、像そのものがやや不鮮明なため十分な比較は行えなかった。しかし、心

Table 1. Problem list

-
1. Real time cross-sectional echocardiogram
 - 1) Quality of the echocardiogram
 - a) The limitation of the beam width, focus and resolution
 - b) The detection of endocardium and apical region
 - 2) The distortion of the picture
 - 3) Time required to make one picture of the tomogram
 - 4) The position and the direction of the echo beam
 - a) The detection of the left ventricular axes and apex
 - b) The movement of the heart during a cardiac cycle
 2. Cine-system
 - 1) Film rate
 - 2) Quality of the picture of a frame
 - 3) Noise from the cine-camera
 - 4) Distortion
 3. Digitizing the echocardiogram
 - 1) Resolution capacity of the digitizer
 - 2) Problems of tracing
 - a) Mitral valve and papillary muscle
 - b) Endocardium and apical region
 4. Volume calculation

Mathematical assumptions included in the area-length method
 5. Comparison of the results with those obtained from angiocardiography
 6. Age
-

The problems of the system are listed along the course of volume analysis

尖部の同定は sector scan 断層法のほうが容易に思われた。対象の年齢分布では linear scan が平均1歳8ヵ月であったのに比して、sector scan では平均4歳9ヵ月と年長児、つまり大きい心臓まで分析可能であり、探触子の長さで走査範囲が固定される linear scan より、sector scan 断層図のほうが容積分析に適していると考えている。

今後の方向としては、現在のビデオ装置は画質の上で不十分ではあるが、いずれは断層図記録装置をシネからビデオ装置に変更することにより、シネに伴う煩雑な中間処理を解消できることから、分析に適した断層像を記録して分析を行える上に、将来はビデオ装置からの自動解析も可能になりうると考えている。

結 語

Real time 超音波断層図から非侵襲的に、かつ連続的に左室容積等を分析するシステムを作成し、本システムの概容、分析の結果、方法論上の問題点のおもなものについて述べ、若干の考察を加えた。

文 献

- 1) Pombo JF, Troy BL, Russel RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480, 1971
- 2) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
- 3) Fortuin NJ, Hood WP, Sherman ME, Craige E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971
- 4) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume deter-

- minations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Amer J Cardiol* **37**: 7, 1976
- 5) Murray JA, Johnson W, Reid JM: Echocardiographic determination of left ventricular dimensions, volumes and performance. *Amer J Cardiol* **30**: 252, 1972
- 6) Sandler H, Dodge HT: The use of single plane angiocardiograms for the calculation of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* **75**: 325, 1968
- 7) Chapman CB, Baker O, Reynold J, Bonte FJ: Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volumes. *Circulation* **18**: 1105, 1958
- 8) King DL, Jaffee CC, Schmidt DH, Ellis K: Left ventricular volume determination by cross-sectional cardiac ultra-sonography. *Radiology* **104**: 201, 1972
- 9) Gehrke J, Leeman S, Raphael M, Pridie RB: Non-invasive left ventricular volume determination by two-dimensional echocardiography. *Brit Heart J* **39**: 911, 1975