

画像処理の手法による心エコー図の自動解析

Automatic processing of echocardiography for analysis of left ventricular function

高橋 正明
小坂田元太
篠山 重威
琴浦 肇
河合 忠一

Masaaki TAKAHASHI
Genta OSAKADA
Shigetake SASAYAMA
Hajime KOTOURA
Chuichi KAWAI

Summary

The image processing system of M-mode echocardiograms has been developed for analyzing left ventricular function. Left ventricular echograms obtained using conventional echocardiographic instruments were directly recorded on video tape, which can be displayed on an oscilloscope of the instrument repeatedly with the same quality as the original data, were transferred to a minicomputer through the interface circuit. The analog to digital conversion was performed directly from the A-mode signal with sampling rate of 2 MHz and 8 bits resolution, together with the echocardiographic samples, and if desired, with left ventricular pressure signals. The edges of left ventricular posterior wall and interventricular septum were determined automatically by a computer tracing of the echo signals. Each edge was determined by detecting the peak point in an appropriate area of the A-mode echo. Various parameters concerning cardiac function such as diameter, wall thickness, left ventricular volume, and instantaneous velocity of circumferential fiber shortening of the left ventricle, were obtainable from the changes of the detected cardiac edges. Left ventricular echograms with simultaneously recorded left ventricular pressure were also automatically processed for analyzing the left ventricular pressure-diameter-velocity relation in the three dimensional framework of the cardiac function. The use of this system to analyze cardiac function will have wide applicability for the routine use because it allows complex quantitative data to be obtained automatically and objectively from conventional echocardiographic equipment.

Key words

Echocardiography

Left ventricular function

Automatic processing

はじめに

心エコー図は無侵襲かつ簡便に心臓の動きをと

らえることができるため、各種心疾患の診断のみならず、心機能の解析にも広く利用されるようになった。しかしながら、データの解析には多大の

京都大学医学部 第三内科
京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

The Third Division, Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Kyoto University, Kawaracho 54, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606

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

Received for publication December 15, 1979

時間と労力を必要とするため, 心エコー図のコンピュータ処理が各種の方法で試みられるようになった. 一般的に広く行われている方法は, 写真または strip chart に記録された M モード心エコー図をライトペンまたはソナーペンを用いてトレースし, コンピューターに入力する, 半自動的な方法である. この方法は記録に光学系を介することにより品質の劣化を伴い, 入力段階である程度, 検者の主観にたよる面があった.

そこで我々は通常的心エコー装置より得られた左室心エコー図を A モード信号として取りだし, 直接ビデオテープレコーダー (VTR) にて記録を行い, ついでコンピューターに入力し, 左室壁各辺縁を自動的に処理するシステムを京大工学部とともに開発し, 左室心機能評価に応用した¹⁻⁴⁾.

方 法

使用したシステムの主構成は M モード心エコー装置 (Aloka 製 SSD-110), VTR (Victor 製 CR-6060), ミニコンピューター (YHP 2100A, 32 kW), グラフィックディスプレイ (Tektronix 製 model 4012), アナログ・デジタル変換器よりなり, Fig. 1 にそのブロック図を示した.

1. 心エコー図の記録およびコンピューターへの取り込み

心エコー装置により, 通常の方法で M モード左室心エコー図を描出する. 心エコー装置より A モード信号を取り出し, タイミング回路よりなるインターフェースを介して, コンポジットビデオ信号に変換され, VTR に記録される. ついで, VTR を再生しアナログ・デジタル変換器により A モード信号を 8 ビットの分解能, 2 MHz のサンプリングレートで 256 個デジタル化し, バッファメモリーを経てコンピューターに入力される. この 1 組の心エコー信号のコンピューターへの転送は, 通常 16 本の心エコー信号ごとに 1 本の割合 (すなわち約 8 msec に 1 本の割合) で行われる. この割合は最高 4 本ごとに 1 本から, 最低 64 本ごとに 1 本まで可能である. サンプリングさ

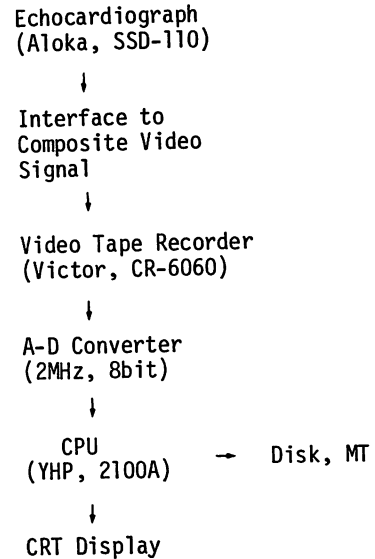


Fig. 1. Blockdiagram of the computer processing of echocardiography.

れる心エコー信号は 200 個であり, 一心周期の信号を確実に取り込められるようになっている. Fig. 2 は入力された心エコー信号を M モード表示したものである. 表示輝度レベルを 8 段階に圧縮し, データ数を間引いてあるにもかかわらず, 心エコー図として十分な画質をもっていると考えられる.

2. 左室心エコー図の辺縁自動処理

心室中隔, 左室後壁心内膜, 心外膜の各辺縁は A モード信号の極大点に対応するものとし, 各辺縁点の位置は心エコー信号の, それぞれ限られた領域内での最大点をもつ点であるとした. 左室後壁の心外膜エコーは一般的に最も強い反射強度を示すので, 雑音の影響を除くため最初の数本の A モード信号を加算し, 最大値を持つ点を心外膜辺縁探索の始点とした. 以後, 一定の探索領域内における最大点を順次結ぶことにより, 心外膜の辺縁を決定した. 心内膜側の辺縁は中隔, 後壁ともにエコー信号が弱く, 途切れたり, 腱索と重なったりして追跡が頻々困難となる. そこで心外膜側

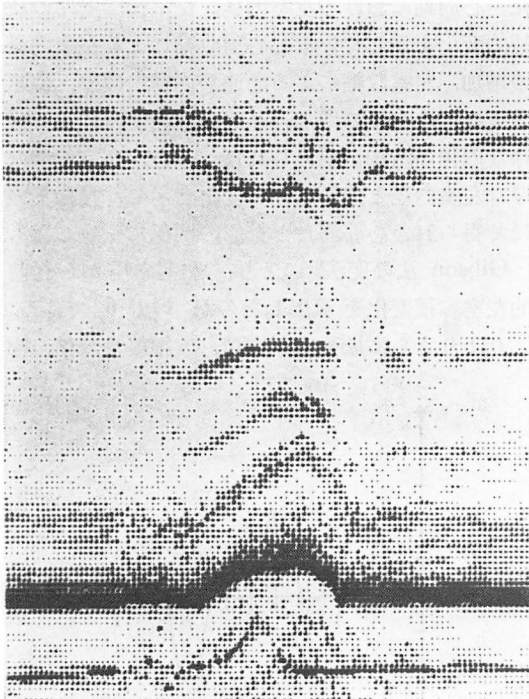


Fig. 2. A M-mode presentation of the echocardiographic signal on CRT.

の動きを参考にして、一定の幅の狭い帯状の領域を設定して、その中でエコー信号の最大点を順次追跡することにより、心内膜辺縁を決定した。

心室中隔左室側心内膜は通常比較的明瞭に記録されるため、まず左室側辺縁を左室後壁心外膜と同様の方法で検出した。心室中隔右室側心内膜は左室側の動きを参考にして、一定領域内における最大点を追跡する方法にて決定した。Fig. 3 は以上の方法により自動抽出された左室各辺縁を示している。Fig. 4 はコンピューターに入力した左室 M モード心エコー図と、自動抽出した各辺縁を重ね合わせたものであり、両者はよく一致していることがわかる。このようにして求められた心室中隔、左室後壁の辺縁より左室内径、壁厚等各種パラメーターが容易に求められる。

3. 左室心エコー図と左室圧の同時記録

左室カテーテル時、左室心エコー図とカテ先マ

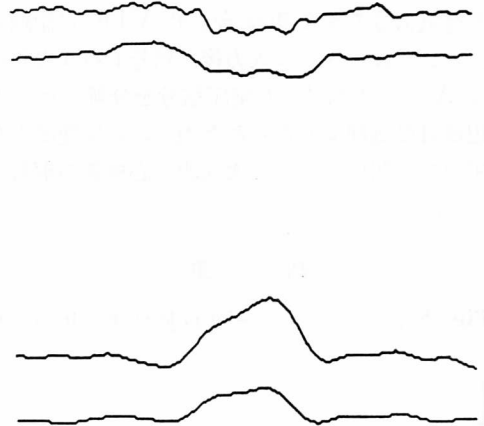


Fig. 3. The automatically detected left ventricular edges obtained from the M-mode echocardiogram.

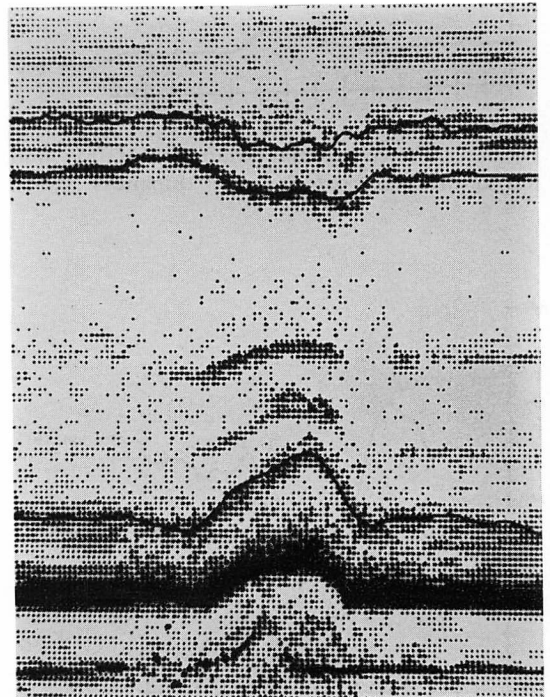


Fig. 4. The edges of the left ventricle superimposed on the original M-mode echocardiogram.

ノメーターより得られた左室圧を, 同様の方法により電気信号のまま重ね合わせ VTR に記録した. コンピューターに入力後, 信号レベルの差により A モード信号と左室圧信号を分離した. 左室辺縁自動処理より得られた内径, 収縮速度と左室圧の相互関係より, 三次元的に心機能の解析を行った.

結 果

Fig. 5 は左室心エコー図自動処理より得られ

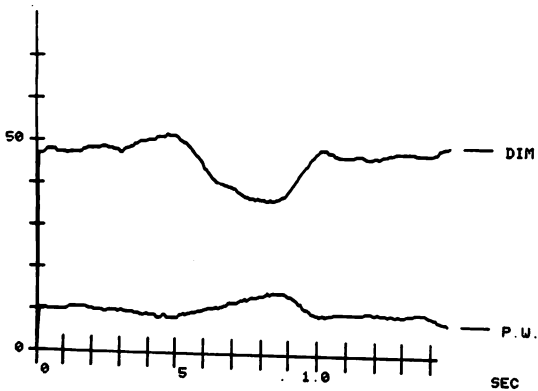


Fig. 5. Left ventricular diameter (DIM) and left ventricular posterior wall thickness (P.W.).

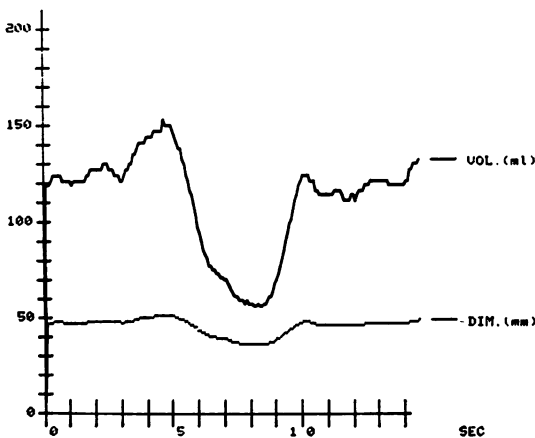


Fig. 6. Left ventricular volume (VOL) and left ventricular diameter (DIM).

た一心周期における左室内径, 左室後壁壁厚の径時的变化を示している. 心房収縮による左室内径の増加, 左室収縮による急速な内径の減少, 急速流入による内径の増加, ついで緩速流入による緩徐な内径の増加が認められた. 一方, 左室後壁壁厚は左室内径と鏡面関係の変化を示し, 動物実験にて得られた心筋筋長と壁厚の關係に一致した⁵⁾.

Gibson 法の変法⁶⁾により, 左室内径から径時的左室容積変化を算出したのが Fig. 6 である. これよりさらに拡張終期容積, 収縮終期容積, 駆

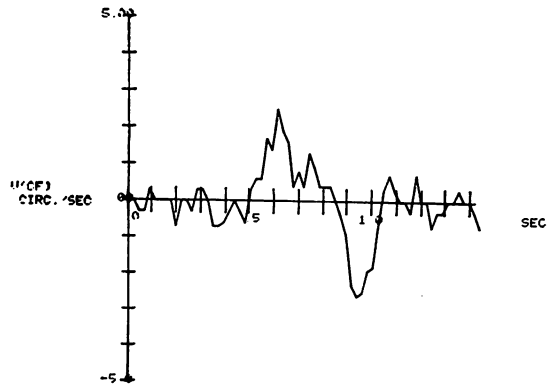


Fig. 7. The instantaneous velocity of circumferential fiber shortening.

```

SWDT
EDGE NUM
1--6 ?
2
*NEXT(SPS) ?
SWDT
EDGE NUM
1--6 ?
3
*NEXT(SPS) ?
SWDT
EDGE NUM
1--6 ?
4
*NEXT(SPS) ?
SWDT
EDGE NUM
1--6 ?
6
*NEXT(SPS) ?
    
```

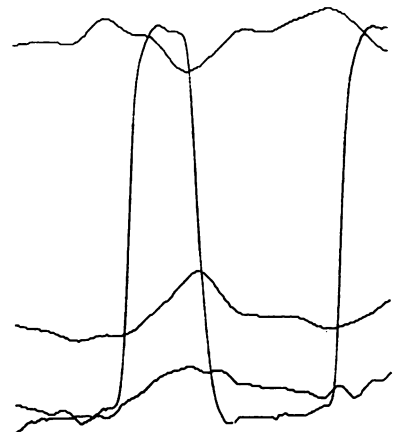


Fig. 8. The automatically detected edges of the left ventricle and left ventricular pressure.

出率を容易に求めることができた。

左室内径 (D) より円周方向の瞬時収縮速度 (VCF) がつぎの式で求められる。

$$VCF = (D_n - D_{n+1}) / (dt D_n)$$

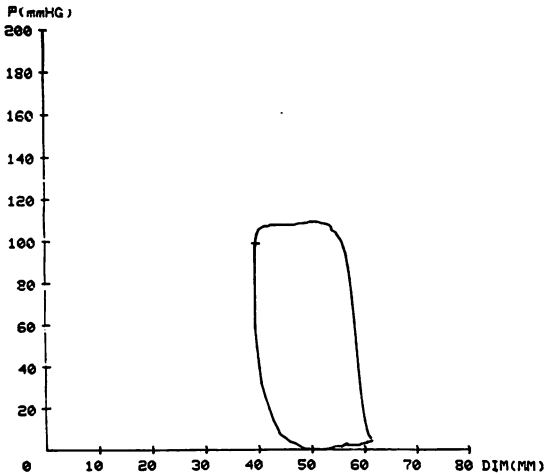


Fig. 9. The relation between left ventricular pressure (P) and left ventricular diameter (DIM) during one cardiac cycle.

Pressure is plotted on vertical axis and diameter on horizontal axis.

ものである。

Fig. 8 は左室心エコー図と左室圧の同時記録より、左室各辺縁および左室圧を自動処理したものである。Fig. 9 は処理したデータより求めた左室圧と左室内径の関係を示しており、一心周期に反時計方向に回転するループとして表わされた。Fig. 10 は左室圧と内径および収縮速度の一心周期における関係を、三次元表示したものであり、おのおの2つのパラメーターによる関係は、投影図として各面に表わされている。

考 案

M モード心エコー図により、左室容積、収縮動態を正確に推定できることは、すでに数多く報告されており⁷⁻⁹⁾、非観血的左心機能評価の手段として、心エコー図は有用な方法と考えられる¹⁰⁾。しかし心エコー図を多くの患者でコンパスと定規を用い計測することは大変複雑な作業であり、また計測の誤差を生じやすい。そこで心エコー図の解析に、コンピューターを利用する試みが行われるようになった。

一般的に行われ、すでにシステムとして商品化

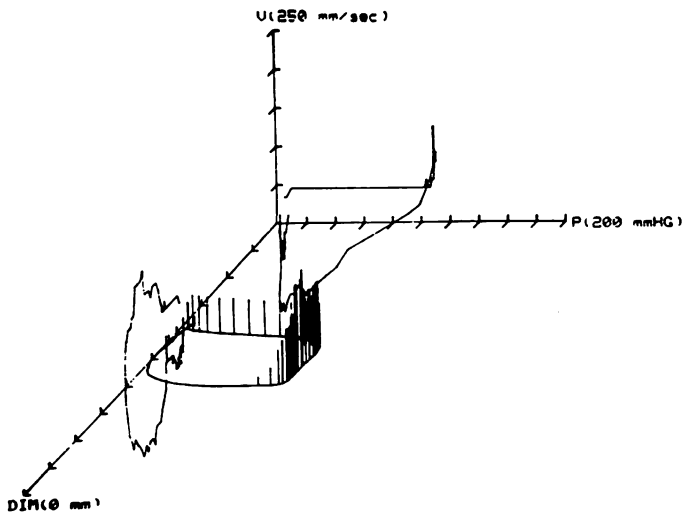


Fig. 10. The three dimensional display of left ventricular pressure (P), diameter (DIM) and velocity of circumferential fiber shortening (V) during one cardiac cycle.

Fig. 7 は瞬時収縮速度の径時的变化を示したされている方法は、感光紙上に記録された心エコー図を人が認識して、ソナーペンまたはライトペンを用いてトレースし、コンピューターに入力する方法である。また感光紙上の心エコー図をフライングスポットスキャナーや、テレビカメラを経由してコンピューターに入力する方法^{11,12)}も試みられているが、これらの方法は心エコー図記録の撮影条件に左右され、記録の過程で歪みを生じたり、品質が劣化する欠点を持っている。

また Romick ら¹²⁾は心エコー信号をデータレコーダーを用いて記録し、後にコンピューターの処理速度に合わせるために、低速度で再生し、アナログ・デジタル変換してコンピューターに入力し、画像処理を行った。しかし用いられたデータレコーダーはきわめて特殊なもので、一般的ではなかった。

それに対して、我々が使用したシステムは市販されている普通の超音波装置、VTR に若干のインターフェースを付加した比較的簡単な機器構成であり、実用的なシステムである。心エコー信号を直接VTR に記録することにより、ダイナミックレンジの広い、高品質の記録が可能となった。またデータを長期に保存しても、記録条件は良好に保たれ、保管、整理も比較的簡単である。VTR を再生し、心エコー信号を高速アナログ・デジタル変換器を介して、コンピューターに高密度のデータを入力できるという利点がある。

入力された心エコー信号を自動処理することにより、臨床的に有用な左室機能各種パラメーターを迅速かつ客観的に求めることができるようになり、また各パラメーターの相互関係を解析することにより、より詳細な循環動態の評価を可能にした。

ま と め

通常的心エコー装置より得られた左室心エコー図を、A モード信号のまま VTR に記録し、ついで VTR を再生、高速アナログ・デジタル変換

器を介してコンピューターに入力後、左室各辺縁を自動処理するシステムを開発した。

このシステムを用いることにより高品質のデータの記録ができ、また心エコー図自動処理により左室機能各種パラメーターを迅速、かつ客観的に求めることが可能となった。

本研究は京大工学部オートメーション研究施設との協同研究によるものである。同施設 桑原道義教授、英保茂助教授、三堀 隆、三木徳久、北川尚男の各氏に謝意を表す。

文 献

- 1) 英保 茂, 三堀 隆, 北川尚男, 桑原道義, 小坂田元太, 篠山重威, 琴浦 肇, 河合忠一, 平川顕名: 超音波心エコー信号の計算機への実時間取込みとその処理. 医用電子と生体工学. 第 17 回 ME 学会論文集 1978 p. 77
- 2) 小坂田元太, 篠山重威, 河合忠一, 琴浦 肇, 平川顕名, 英保 茂, 桑原道義: オンライン処理による心エコー図解析の自動化. 日超医講演論文集 33: 43, 1978
- 3) 小坂田元太, 篠山重威, 河合忠一, 琴浦 肇, 平川顕名, 英保 茂, 桑原道義: 心エコー図解析の自動化による新しい心機能評価. 日超医講演論文集 34: 171, 1978
- 4) 小坂田元太, 篠山重威, 河合忠一, 琴浦 肇, 平川顕名, 英保 茂, 桑原道義: オンライン処理による心エコー図解析の自動化. 超音波医学 6: 38, 1979
- 5) Sasayama S, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS, McKown D: Dynamic changes in left ventricular wall thickness and their use in analyzing cardiac function in the conscious dog. Amer J Cardiol 38: 870, 1976
- 6) 松尾裕英, 北島 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法の応用. 最新医学 30: 1144, 1975
- 7) Pombo JF, Troy BL, Russel RO: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. Circulation 43: 480, 1971
- 8) Fortuin NJ, Hood WP Jr, Sherman ME, Craig E: Determination of left ventricular volume by ultrasound. Circulation 44: 575, 1971
- 9) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. Brit Heart J 35: 128, 1973
- 10) Sasayama S, Kotoura H: Echocardiographic approach for the clinical assessment of left ventri-

- cular function: The analysis of end-systolic pressure (wall stress)-diameter relation and force-velocity relation of ejecting ventricle. *Jpn Circulat J* **43**: 357, 1979
- 11) Griffith JM, Henry WL: Video scanner-analog computer system for semiautomatic analysis of routine echocardiogram. *Amer J Cardiol* **32**: 961, 1973
- 12) Ledley FD, Wilson JB: Computer analysis of ultrasoundcardiograms. *Comput Biol Med* **4**: 27, 1974
- 13) Romick CA, Hagan AD: Automated echocardiogram analysis. *Proc San Diego Biomedical Symposium*, 1974, p 145