

Apicoechoventriculography による左室容量, 駆出率の算出: 左室シネアングリオとの対比について

Left ventricular volumes and ejection fraction by cross-sectional echocardiography: A comparison with cineangiographic data

諏訪 道博
古林 光一
弘田 雄三
鷹津 正

Michihiro SUWA
Kōichi FURUBAYASHI
Yūzō HIROTA
Tadasu TAKATSU

Summary

A method to quantify left ventricular (LV) volumes and ejection fraction (EF) using cross-sectional echocardiography was evaluated. LV images were obtained with a sector scan echocardiography by the apical approach (apicoechoventriculography) and were recorded on a 35 mm film at the end-diastole and end-systole. LV volumes were calculated with semicomputerized volume analyzer system (Cardias GP-2000, Nac Inc.) using the area-length method. Apicoechoventriculographic images were successfully obtained in 33 out of 50 patients (66%) with valvular heart disease, cardiomyopathies, coronary artery disease and others. Seven out of 33 patients exhibited paradoxical movement of the interventricular septum or LV asynergy. The LV volumes and EF obtained from apicoeshoventriculography and M-mode echocardiography were compared with those by cineangiographic method in 33 patients with and without LV asynergy and paradoxical septal motion. Whereas volumes and EF by M-mode echocardiography correlated pretty well with cineangiographic data (EDV: $r=0.77$, ESV: $r=0.89$ and EF: $r=0.83$), the correlation between apicoechoventriculography and cineangiography were much better (EDV: $r=0.90$, ESV: $r=0.91$, and EF: $r=0.93$), but apicoechoventriculography had tendency to underestimate the volumes.

We conclude that sector scan echocardiography is more reliable non-invasive method than M-mode echocardiography for quantitating left ventricular volumes and EF, especially in cases with paradoxical movement of the interventricular septum or LV asynergy.

Key words

Cross-sectional echocardiography Cineangiography M-mode echocardiography Left
ventricular volumes Ejection fraction

大阪医科大学 第三内科
高槻市大学町 2-7 (〒569)

The Third Division, Department of Internal Medicine, Osaka Medical College, Daigaku-cho 2-7, Takatsuki 569

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

Received for publication November 22, 1979

はじめに

M モード心エコー図は心機能, とくに左室の血行動態の把握に用いられ, 左室シネアンジオ法と対比した Pombo, Fortuin, Feigenbaum らの検討により, 左室容量測定に有用な検査法であることが示されている¹⁻⁸⁾. しかし, この方法は左室 asynergy を示す症例では不正確である⁹⁻¹²⁾. これに対して, B モード心エコー図は心室壁全体の二次元表示が可能であり, M モード法での欠点を克服できると考えられる. Teichholz¹³⁾ や Gehrke ら¹⁴⁾は B モード心エコー図を使用して parasternal approach 法により, 左室容量および駆出率の測定を行い, 左室 asynergy を示す症例においても左室シネアンジオ法と良好な相関関係を示している. したがって, B モード法は左室容量の算出により有効な方法であると考えられる.

Table 1. Details of the patient population

| | |
|-------------------------------|--|
| Total patients tried: | 50 |
| Satisfactory echo recorded: | 33/50 (66%) |
| LV cineangiography performed: | 21/33 (64%) |
| Cardiac rhythm: | NSR 14 Af 7 |
| Clinical diagnosis: | Valvular diseases s̄ paradoxical IVS 7 c̄ paradoxical IVS 2 CAD s̄ LV asynergy 3 CAD c̄ LV asynergy 4 ICMP 2 MVP 1 HHD 1 Idiopathic LBBB 1 |

NSR=normal sinus rhythm; Af=atrial fibrillation; IVS=interventricular septum; CAD=coronary artery disease; LV=left ventricle; ICMP=idiopathic cardiomyopathy; MVP=mitral valve prolapse; HHD=hypertensive heart disease; LBBB=left bundle branch block.

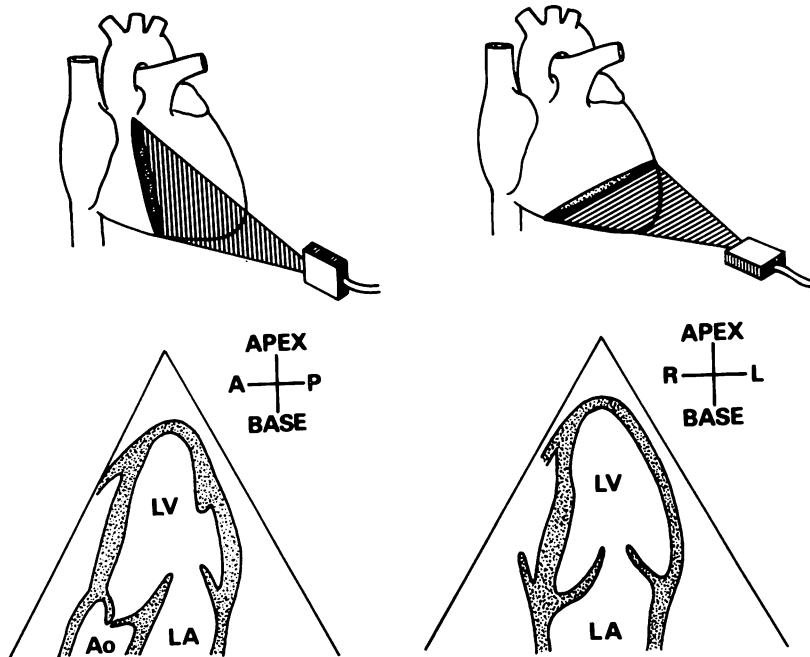


Fig. 1. Illustrations of transducer position and beam plane for imaging the left ventricle by the apical approach.

The left panel shows the approach to describe the LV cavity equivalent to a right anterior oblique (RAO) cineangiographic image and the right panel is the technique to visualize the image equivalent to a left anterior oblique (LAO) silhouette.

今回、我々はセクター式リアルタイム超音波断層装置を用いて、心尖部アプローチ法により左室像 (apicoechoventriculogram) を描出し、Dodg¹⁵⁾ の area-length 法を適用して左室容量および駆出率を算出、M モード法によるそれらと比較検討した。

対象と方法

1979年1月より同年9月までに心精査の目的で当科へ入院した患者50例について、心尖部アプローチ法によるリアルタイム超音波断層法 (apicoechoventriculography) を行い、そのうち満足な心エコー図が得られ、かつ左室シネアンジオを施行し得た21例を対象とした。その内訳は心室中隔奇異性運動を示さない心弁膜症7例、奇異性運動を示す心弁膜症2例、左室 asynergy のない冠動脈疾患3例、asynergy を有する冠動脈疾

患4例、特発性心筋症2例、僧帽弁逸脱症候群、高血圧性心疾患、特発性左脚ブロック各1例である (Table 1)。

患者を左半側臥位とし、心尖拍動上に探触子を固定、左房および大動脈根部に向けた一左室シネアンジオ右前斜位に相当する一左室像 (apical two chamber view) およびこれを90°回転し一左室シネアンジオ左前斜位像に相当した一左室像 (apical four chamber view) を求めた。今回はこの右前斜位像に類似した apical two chamber view による画像のみを検討した (Fig. 1)。

使用した超音波断層装置は東芝製セクター式SSH-11Aで、2.4 MHz、32素子の探触子を使用、走査角78°、走査線224本でブラウン管に表示した。左室拡張終期容量 (EDV) の測定には同時記録した心電図のR波の頂点、収縮終期容量 (ESV) には同期した心音図 IIa 音開始点を取り、

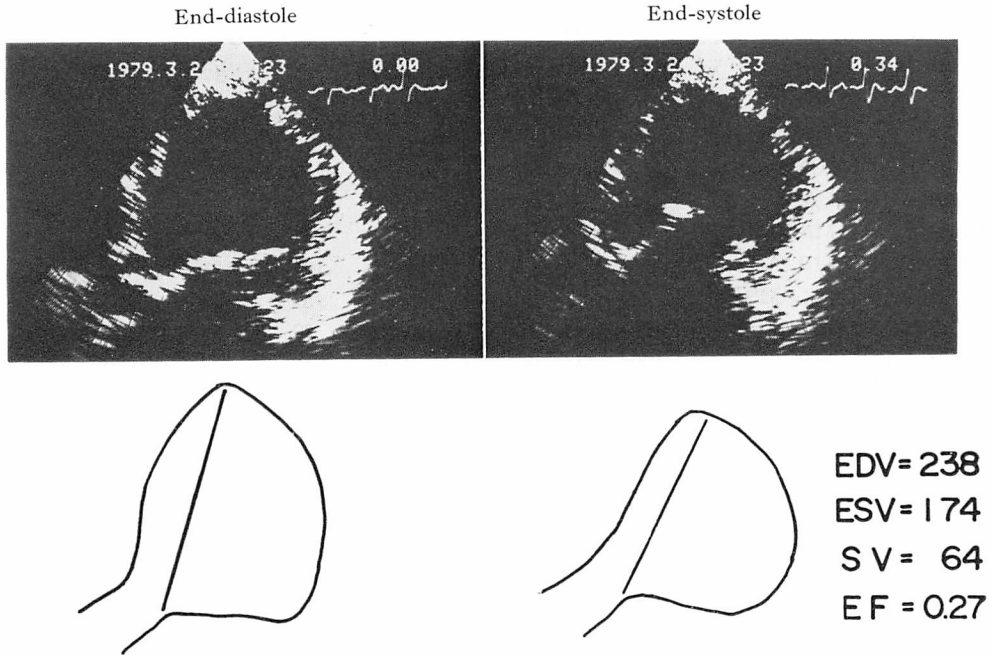


Fig. 2. The apical view of the left ventricle equivalent to a RAO cineangiographic silhouette.

The left side panel is the end-diastolic image and the right side is the end-systolic image. The endocardial line was traced by a sonic pen and the volume was calculated by the area-length method. EDV=end-diastolic volume; ESV=end-systolic volume; EF=ejection fraction.

それぞれ1心拍ごとに35mmフィルムに同期撮影し, Nac製Cardias model GP-2000, film motion analyzer およびsonic penを用い, Dodgeのarea-length法を適用, 洞調律では5心拍, 心房細動例では7心拍の平均を求めた. なお, 大動脈前壁のエコー像が不明瞭なこともあり, area-length法における大動脈根部の中点の決定が困難なため, 大動脈根部後壁側および心尖部を長軸とした(Fig. 2). 左室心内膜とくに心尖部付近の像を描出するため, 適当なgain調節を行い, 十分な画像が得られないものを除外した. 駆出率(EF)はEDV-ESV/EDVより求めた.

Mモード法はpaper speed 10 cm/secでstrip chart recorderに記録し, 左室拡張期径は左室後

壁心内膜最深点, 左室収縮期径は第IIa音開始点で測定, 左室容量および駆出率はGibson法¹⁶⁾を使用し, 洞調律例では5心拍, 心房細動例では10心拍の平均値より求めた. 左室 asynergy や心室中隔奇異性運動を有する例では, 左室容量の測定が不正確になるためこれを除外した.

左室シネアングジオは右前斜位45°にて1秒60フレームで記録, EDVは同時記録の左室圧曲線より, ESVは最小容量よりDodgeのarea-length法を用い, 同じくvolume analyzer systemにより2~3心拍の平均値を求め, 期外収縮および収縮後1心拍は除外した.

統計的解析は回帰直線, 相関係数および分散比検定により行った. なお, 3方法ともに測定値誤

Table 2. Comparison between angiographic and echocardiographic measurements of end-diastolic volume, end-systolic volume and ejection fraction

| Case No. | Age | Sex | Diagnosis | EDV | | | ESV | | | EF | | |
|----------|-----|-----|-----------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | | | | Angio | Sector | M-mode | Angio | Sector | M-mode | Angio | Sector | M-mode |
| 1. | 58 | F | MS+MR, Af | 112 | 85 | 107 | 49 | 42 | 37 | 0.56 | 0.50 | 0.65 |
| 2. | 14 | M | MR | 150 | 142 | 151 | 53 | 55 | 59 | 0.65 | 0.62 | 0.61 |
| 3. | 43 | M | CAD | 142 | 150 | 183 | 50 | 67 | 73 | 0.65 | 0.56 | 0.60 |
| 4. | 55 | M | ICMP, Af | 129 | 106 | 137 | 73 | 49 | 67 | 0.43 | 0.53 | 0.51 |
| 5. | 43 | M | CAD | 121 | 108 | 108 | 36 | 39 | 30 | 0.70 | 0.64 | 0.72 |
| 6. | 52 | M | MS+MR, Af | 108 | 123 | 136 | 39 | 46 | 41 | 0.64 | 0.63 | 0.69 |
| 7. | 20 | M | MR, Af | 228 | 249 | 352 | 98 | 125 | 131 | 0.57 | 0.49 | 0.62 |
| 8. | 56 | F | AR+MS, Af | 138 | 121 | 178 | 59 | 59 | 78 | 0.58 | 0.51 | 0.56 |
| 9. | 37 | M | ICMP | 104 | 92 | 90 | 23 | 32 | 13 | 0.78 | 0.65 | 0.86 |
| 10. | 23 | F | MR | 160 | 157 | 253 | 48 | 55 | 72 | 0.70 | 0.65 | 0.72 |
| 11. | 35 | M | HHD | 250 | 241 | 203 | 163 | 155 | 112 | 0.35 | 0.36 | 0.45 |
| 12. | 30 | M | AR | 115 | 120 | 179 | 35 | 43 | 48 | 0.70 | 0.64 | 0.73 |
| 13. | 54 | M | CAD | 175 | 130 | 125 | 43 | 48 | 28 | 0.76 | 0.63 | 0.78 |
| 14. | 49 | F | MVP | 153 | 135 | 122 | 25 | 40 | 36 | 0.83 | 0.70 | 0.71 |
| 15. | 36 | M | CAD | 130 | 129 | — | 52 | 64 | — | 0.60 | 0.51 | — |
| 16. | 54 | M | CAD | 116 | 126 | — | 41 | 52 | — | 0.65 | 0.59 | — |
| 17. | 40 | M | CAD | 278 | 199 | — | 201 | 131 | — | 0.28 | 0.35 | — |
| 18. | 66 | M | CAD | 100 | 103 | — | 53 | 49 | — | 0.47 | 0.53 | — |
| 19. | 53 | F | MR+AR, Af | 136 | 129 | — | 93 | 80 | — | 0.32 | 0.38 | — |
| 20. | 51 | M | MR+AR, Af | 189 | 176 | — | 90 | 95 | — | 0.52 | 0.46 | — |
| 21. | 43 | F | LBBB | 111 | 113 | — | 41 | 52 | — | 0.63 | 0.54 | — |

EDV=left ventricular end-diastolic volume; ESV=left ventricular end-systolic volume; EF=ejection fraction; MS=mitral stenosis; MR=mitral regurgitation; AR=aortic regurgitation. Other abbreviations: see Table 1.

差を伴うため、修正回帰直線による解析を追加した。

結 果

対象患者 50 例中満足な apicochoventriculogram は 33 例 (66%) に得られ、このうち左室シネアンジオを施行し得たもの 21 例において、左室容量および駆出率をシネアンジオ法と対比した。また、左室 asynergy あるいは心室中隔奇異性運動を示す 7 例を除いた 14 例において、M モード法とシネアンジオ法を比較検討した (Table 2)。

セクター法における左室拡張終期容量 (EDV_{SECTOR}) をシネアンジオ法で求めた EDV (EDV_{ANGIO}) と対比すると、 $EDV_{SECTOR} = 0.80 \times EDV_{ANGIO} + 20 \text{ ml}$ の回帰式を得、良好な相関関係が認められた ($r=0.90$, $p<0.001$: Fig. 3)。EDV においては、100 ml 以上になるとセクター法では過小評価する傾向を示した。

セクター法による左室収縮終期容量 (ESV_{SECTOR}) をシネアンジオ法 (ESV_{ANGIO}) と対比すると、 $ESV_{SECTOR} = 0.69 \times ESV_{ANGIO} + 21 \text{ ml}$ の回帰式が得られ、良好な相関関係を認めた ($r=0.91$, $p<0.001$: Fig. 4)。ESV においては 70 ml を越えるとセクター法は過小評価の傾向を示した。

セクター法による駆出率 (EF_{SECTOR}) をシネアンジオ法による EF (EF_{ANGIO}) と対比すると、 $EF_{SECTOR} = 0.62 \times EF_{ANGIO} + 0.18$ の回帰式を得、同様に良好な相関関係が認められた ($r=0.93$, $p<0.001$: Fig. 5)。EF では、0.5 以上になると過小評価する傾向を示した。

M モード法による EDV, ESV および EF (EDV_{M-mode}, ESV_{M-mode}, EF_{M-mode}) を、左室 asynergy や心室中隔奇異性運動を有する例を除外した 14 例において、左室シネアンジオ法と対比すると、同様に良好な相関関係が認められた (EDV: $r=0.67$, $p<0.01$, ESV: $r=0.81$, $p<0.001$, EF: $r=0.88$, $p<0.001$: Fig. 6)。M モード法により求められた値とシネアンジオ法のそれを比較すると、EDV は過大評価、ESV は

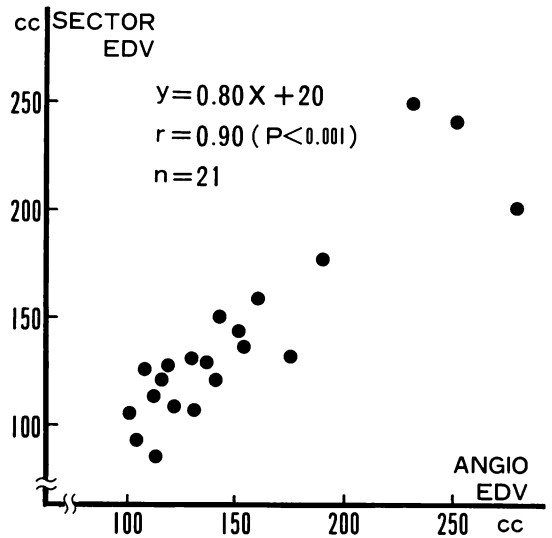


Fig. 3. Correlation of EDV by cineangiographic method (ANGIO) and sector echocardiographic method (SECTOR).

Although good correlation between these two methods are obtained, EDV by SECTOR underestimated compared to that by ANGIO.

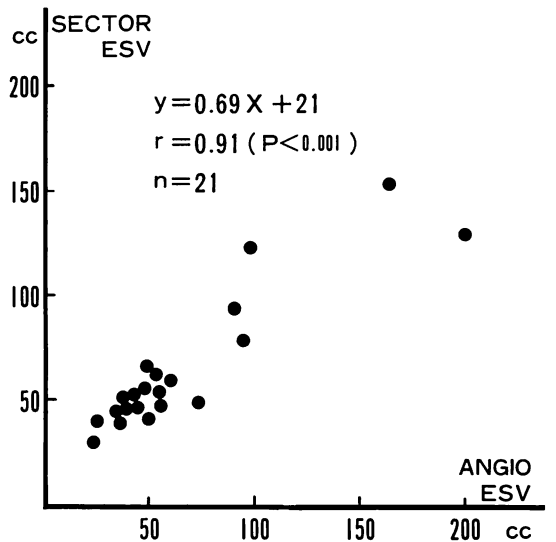


Fig. 4. Correlation of ESV by ANGIO and SECTOR.

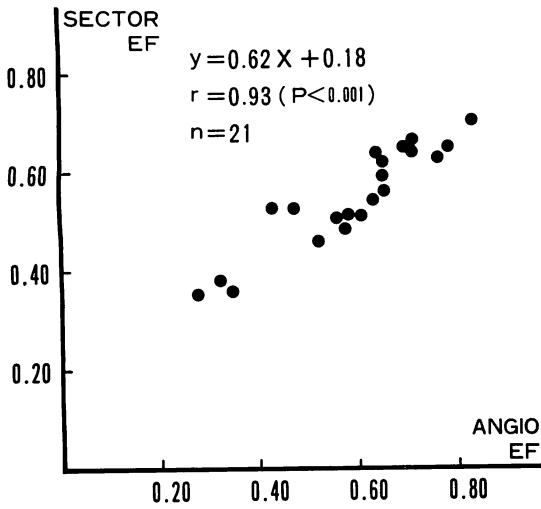


Fig. 5. Correlation of EF by ANGIO and SECTOR.

65 ml 以上になると過小評価, EF は 0.7 以下では過大評価することが判明した。

シネアンジオ法とセクター法および M モード法との対比において, それぞれ求めた修正回帰直線によって得られた推定値と実測値との相関関係を求めると, M モード法に比べセクター法の有

意性が高く, シネアンジオ法との対比では, セクター法が M モード法より優れていることが実証された。

考 案

M モード法における心機能測定は, 一断面より左室径を算出しているという欠点があるが, 左室シネアンジオ法との対比では, その有用性が証明されている¹⁻⁸⁾。しかし, 左室 asynergy や心室中隔奇異性運動を有する症例では, その有用性は低い⁹⁻¹¹⁾。超音波断層法を用いての容量測定は, Teichholz¹³⁾ や Gehrke ら¹⁴⁾による parasternal approach 法が最初であるが, 左室像全体の表示や心拍同期性の B-scan を使用しているため, 表示方法に問題がある。また, apical approach と parasternal approach により長径および短径を求めて容量を計測した Chaudry¹⁷⁾ の報告があるが, 左室 asynergy 例においては容量測定に問題が残る。

今回, 我々はセクター式リアルタイム超音波断層装置を用いて apical approach 法により左室像全体 (apicochoventriculogram) を描出し, こ

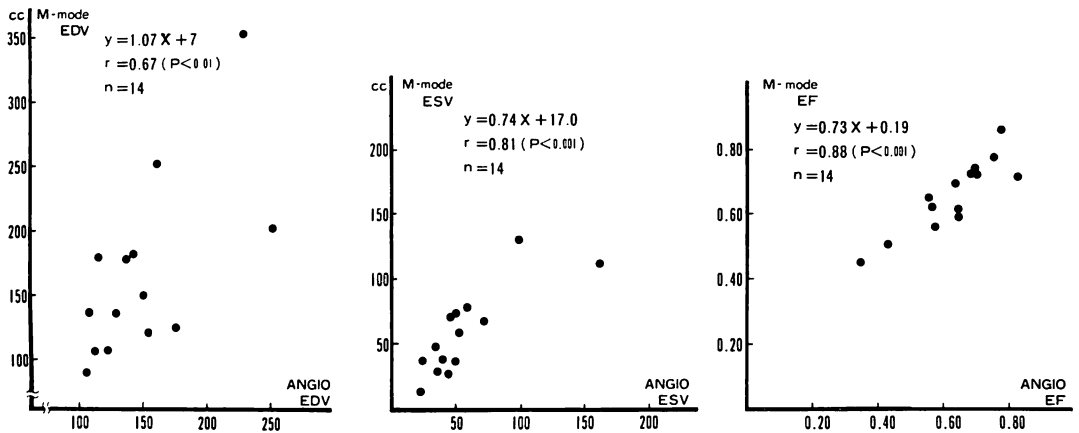


Fig. 6. Correlation of EDV, ESV and EF by ANGIO and M-mode echocardiographic method (M-mode).

Although the volumes and EF obtained by M-mode show good correlations with those obtained by ANGIO, the correlation coefficients are significantly lower than those of SECTOR, which indicates that SECTOR is a more reliable method to determine LV volumes (see text).

れに area-length 法を適用し、左室容量および駆出率の算出を、中隔奇異性運動 (3 例) や左室 asynergy (4 例) を有する症例を含めた計 21 例において行った。

セクター法における容量測定では拡張期および収縮期ともに過小評価するのに対し、M モード法は拡張期容量を過大評価する。これは左室容量増加による左室長径 / 短径比が小となるにもかかわらず、M モード法が左室前後径による一断面表示のため、また左室長軸を斜めに横断している可能性もあり、左室容量を過大評価する結果となる。またこのために EF を過大評価する傾向を生じる。以上の点よりシネアングロ法を基にセクター法と M モード法を対比すると、左室 asynergy のない症例における左室容量測定においてセクター法がより有用性が高く、左室 asynergy 例においても適用可能であった。

セクター法による容量測定における過小評価の原因としては、第 1 に心尖拍動上よりのアプローチのため、拍動による心臓回転の影響により最大長径あるいは最大短径を描出していないこと、第 2 に前胸壁に近い心尖部付近の超音波分解能が不良のため、長軸を過小評価しており、第 3 に走査線間に時間差が生じるため、動体を表示する場合、像にひずみを起こす¹⁸⁾ こと、第 4 にセクター方式のため超音波ビームに対し垂直方向に画像が流れる現象をきたす (Fig. 7) ため、短軸径を過小表示しているなどが考えられる。最近、Carr ら¹⁹⁾ や Schiller ら²⁰⁾ も同様な方法にて左室容量および駆出率を算出し、容量をアンジオ法に比べ過小評価しているが、その原因としてセクター法による画像表示における最大の問題点と考えられる像のひずみ、および流れの現象を考慮していない。画像が垂直方向に流れ、このため短軸径を過小評価する現象に対して、長軸および短軸を個々に測定し、容量を $(\pi/6)D^2L$ (D : 短径, L : 長径) より求めた Chaudry ら¹⁷⁾ の報告は、これを補正していると考えられるが、単に左室径のみより算出した左室容量の測定は、asynergy を有する症例において

Ultrasonic resolution

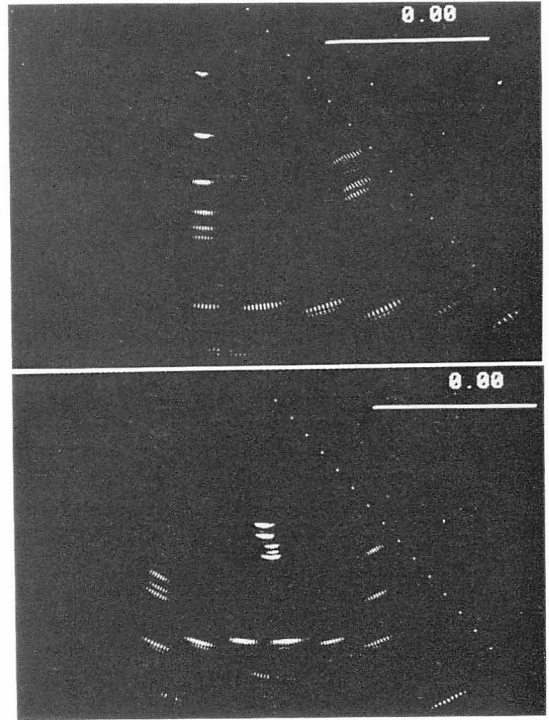


Fig. 7. Demonstration of the characteristics of ultrasonic beams using a phantom model.

The bilateral expansion of the images becomes greater in proportion to the distance from the transducer. Each spot is an echo silhouette of a marker of 1 mm width. This bilateral expansion makes LV inner surface smaller than the real size.

不正確さを残す。

本法の施行率は 66% で、超音波ビームの投入し難い心胸郭比の低い症例や、慢性肺疾患のある症例には M モード法と同様に本法も施行不可能で、一般に高齢者は施行率が低い。本法の施行率向上には、慎重な超音波投入方向ならびに投入場所の決定、十分な gain 調節に加え、超音波分解能ならびに画像処理方法の改善を要する。

以上、心尖部アプローチによる超音波断層図より、左室容量および駆出率を算出し、本法が左室壁異常運動を有する症例にも適用可能で、M モード法に比べ有用性が高いことを証明した。なお、

左室 asynergy を有する症例には, 左室シネアンジオ法と同様に2方向撮影による解析が必要であり, 現在検討中である。

文 献

- 1) Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480-490, 1971
- 2) Fortuin NJ, Hood WP Jr, Sherman ME, Craig E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575-584, 1971
- 3) Feigenbaum H, Popp RL, Wolfe SB, Troy BL, Pombo JF, Haine CL, Dodge HT: Ultrasound measurements of the left ventricle. A correlative study with angiocardiology. *Arch Int Med* **129**: 461-467, 1972
- 4) Murray JA, Johnston W, Reid JM: Echocardiographic determination of left ventricular dimensions, volumes and performance. *Amer J Cardiol* **30**: 252-257, 1972
- 5) Belenkie I, Nutter DO, Clark DW, Mccraw DB, Raizner AE: Assessment of left ventricular dimensions and function by echocardiography. *Amer J Cardiol* **31**: 755-762, 1973
- 6) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128-134, 1973
- 7) Quinones MA, Gaasch WH, Alexander JK: Echocardiographic assessment of left ventricular function with special reference to normalized velocities. *Circulation* **50**: 42-51, 1974
- 8) Martin MA: Assessment of correction formula for echocardiographic estimations of left ventricular volumes. *Brit Heart J* **40**: 294-296, 1978
- 9) Ratshin RA, Boyd CN Jr, Rackley CE, Moraski RE, Russell RO Jr: Quantitative echocardiography: Correlations with ventricular volumes by angiocardiology in patients with coronary artery disease with and without wall motion abnormalities. *Circulation* **48** (Suppl IV): IV-48, 1973
- 10) Ludbrook P, Karliner JS, Peterson K, Leopold G, O'Rourke RA: Comparison of ultrasound and cineangiographic measurements of left ventricular performance in patients with and without wall motion abnormalities. *Brit Heart J* **35**: 1026-1032, 1973
- 11) Sweet RL, Moraski RE, Russell RO Jr, Rackley CE: Relationship between echocardiography, cardiac output, and abnormally contracting segments in patients with ischemic heart disease. *Circulation* **52**: 634-641, 1975
- 12) 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**: 7-11, 1976
- 13) Teichholz LE, Cohen MV, Sonnenblick EH, Gorlin R: Study of left ventricular geometry and function by B-scan ultrasonography in patients with and without asynergy. *New Engl J Med* **291**: 1220-1226, 1974
- 14) Gehrke J, Leeman S, Raphael M, Pridie RB: Non-invasive left ventricular volume determination by two-dimensional echocardiography. *Brit Heart J* **37**: 911-916, 1975
- 15) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD Jr: The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* **60**: 762-776, 1960
- 16) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128-134, 1973
- 17) 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
- 18) 瀬沼訓行, 渋谷昇, 油田信一, 伊藤健一, 横井浩: 動体のリアルタイム表示像のひずみ. *超音波医学* **5**: 191-194, 1978
- 19) Carr KW, Engler RL, Forsythe JR, Johnson AD, Gosink B: Measurement of left ventricular ejection fraction by mechanical cross-sectional echocardiography. *Circulation* **59**: 1196-1206, 1979
- 20) 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**: 547-555, 1979