

Axius Auto Ejection Fraction 法による左室容量・駆出率計測: マニュアル・トレース法および視覚的な左室駆出率との比較検討

Left Ventricular Volume and Ejection Fraction by the Axius Auto Ejection Fraction Method: Comparison With Manual Trace Method and Visual Assessment of Ejection Fraction

川井 順一	Junichi KAWAI, RMS
田辺 一明 ^{*1}	Kazuaki TANABE, MD ^{*1}
山口 一人	Kazuto YAMAGUCHI, RMS
細井 優作 ^{*2}	Yusaku HOSOI ^{*2}
渡辺 真之 ^{*2}	Masayuki WATANABE ^{*2}
谷 知子 ^{*1}	Tomoko TANI, MD ^{*1}
八木登志員	Toshikazu YAGI, RMS
藤井 洋子	Yoko FUJII, RMS
紺田 利子	Toshiko KONDA, RMS
角田 敏明	Toshiaki SUMIDA, RMS
中村 仁美	Hitomi NAKAMURA, RMS
宇井 一世	Kazuyo UI, RMS
米山 文子 ^{*1}	Ayako YONEYAMA, MD ^{*1}
盛岡 茂文 ^{*1}	Shigefumi MORIOKA, MD, FJCC ^{*1}
木原 康樹 ^{*1}	Yasuki KIHARA, MD, FJCC ^{*1}

Abstract

Objectives. Visual assessment of the ejection fraction (EF) is often used in clinical practice, but is subjective and requires training and experience. The auto EF method has been newly developed for automated detection of the left ventricular (LV) endocardial border throughout the cardiac cycle. The clinical feasibility was assessed of the auto EF method for measuring LV volumes and EF in patients. Manually traced EF measured by the biplane modified Simpson's rule was used as the reference standard.

Methods. The study population consisted of 30 consecutive patients with normal sinus rhythm. All patients underwent two-dimensional echocardiography. The auto EF method incorporated pattern and shape recognition to automatically locate the LV, track the endocardium, and calculate EF from routine digital images. LV end-diastolic and end-systolic volumes and EF measured by the auto EF method were compared those by the manually traced method. LVEF by the Auto EF method was also compared with visual EF determined by nonattending physicians.

Results. Auto EF was more reproducible than visual EF by the expert reader. LVEF by the auto EF method had excellent correlation and close limits of agreement with manually traced EF compared with visual EF (4-chamber view: $y = 1.10x - 4.28$, $r = 0.94$, bias = 1.6%, 2-chamber view: $y = 0.88x + 7.25$, $r = 0.90$, bias = 0.4%). LV volumes by the auto EF method underestimated those by manually

神戸市立中央市民病院 臨床検査技術部, ^{*1}循環器内科: 〒650-0046 神戸市中央区港島中町4-6; ^{*2}持田シーメンスメディカルシステム株式会社, 東京

Divisions of Clinical Laboratory and ^{*1}Cardiology, Kobe General Hospital, Kobe; ^{*2}Mochida Siemens Medical Systems Co., Ltd., Tokyo
Address for correspondence: KAWAI J, RMS, Division of Clinical Laboratory, Kobe General Hospital, Minatojima Naka-machi 4-6, Chuo-ku, Kobe 650-0046; E-mail: jkawai@kcgh.gr.jp

Manuscript received November 6, 2006; revised November 27, 2006; accepted December 1, 2006

RMS = registered medical sonographer

traced EF (end-diastolic volume by 4-chamber view: $y = 0.72x + 8.92$, $r = 0.93$, bias = - 16.7 ml, end-systolic volume by 4-chamber view: $y = 0.82x - 0.97$, $r = 0.98$, bias = - 8.5 ml, end-diastolic volume by 2-chamber view: $y = 0.73x + 12.4$, $r = 0.82$, bias = - 12.3 ml, end-systolic volume by 2-chamber view: $y = 0.65x + 6.94$, $r = 0.90$, bias = - 6.8 ml)

Conclusions. The auto EF method is a clinically useful tool for the measurement of LV volumes and EF.

J Cardiol 2007 Mar; 49(3): 125 - 134

Key Words

■Echocardiography, transthoracic

■Ejection fraction

■Ventricular function

はじめに

左室容量を計測する際に、左室心内膜の境界が不明瞭である部位のトレースは、検者の主観的作業を伴う。とくにベッドサイドや救急外来など限られた時間で検査を行っている状況下では誤差が大きくなる可能性がある。一方で、限られた時間での検査では、視覚的な左室駆出率 (visual ejection fraction: visual EF) 法が用いられることがある。しかし、visual EF法は検者の経験が必要となる。オート・トレース法は、客観的で、再現性の高い左室容量の計測が可能と考えられるが、これまでのオート・トレース法は、完全に自動化されてはいなかった。また、画質不良例や乳頭筋や肉柱の著明に突出した例では、左室心内膜を正確にトレースできないなどの問題点があった¹⁻⁵⁾。

近年登場した axius auto ejection fraction (auto EF) 法は、learned pattern recognition (LPR) の技術⁶⁾を採用し、実際の心臓の形態と、あらかじめ構築されたデータベースに登録されている特徴 (心臓の外観、左室心内膜など) を照合してパターン認識を行い、同様のパターンを有した心臓を探し出して左室心内膜を検出する方法である。Auto EF法は、完全に自動化された方法であり、左室心内膜の描出が不十分な場合でも検者の操作によるばらつきを抑えて高い再現性を実現し、臨床への応用が期待される^{6,7)}。本研究の目的は、臨床例を対象に auto EF法の臨床的有用性を熟練者による visual EF法およびマニュアル・トレース法と対比して検討することである。

対象と方法

1. 使用装置

超音波診断装置は、ACUSON Sequoia 512 (Siemens

Medical Solutions 製) で、発振周波数が 1.1 - 4 MHz (tissue harmonic imaging: 2.25 - 4.25 MHz) の探触子を使用した。左室心内膜のオート・トレース法は、超音波診断装置に搭載されたソフトウェアである auto EF法 (Siemens Medical Solutions 製) を用いて検討を行った。

2. 対象

検査の対象は同意が得られた 2006 年 6 月 - 7 月の間の連続 30 症例であり、内訳は正常 13 例、陳旧性心筋梗塞 10 例、心筋疾患 3 例、弁膜症 4 例であった。性別は男性 22 例、女性 8 例であり、年齢範囲は 22 - 85 歳、平均年齢は 63.8 ± 15.5 歳であった。全症例は洞調律で、心拍数 50 - 90 (64.0 ± 10.0) min であり、心房細動などの不整脈例は除外した。対象の 30 症例のうち、10 症例は画質不良例 (左室心内膜全体の 50% 以上同定ができない) であり、13 症例は著明な乳頭筋突出例であった。

3. Auto EF 法による左室容量、駆出率計測の方法

1) 超音波診断装置のハードディスク内に、2 心拍分の動画像を保存する。つぎに、保存された動画像が心尖部四腔断面と心尖部二腔断面のどちらの断面であるかを、選択画面から選択する。本検討での動画像のフレームレートは、心尖部四腔断面で 55.0 ± 5.3 frame/sec、心尖部二腔断面で 56.4 ± 4.4 frame/sec であった。

2) 心電図の R 波と同期することにより、自動的に拡張末期のフレームを検出する。

3) 拡張末期のフレームをデータベースと照合させながら、パターン認識によって、左室心内膜を自動的に同定する (Fig. 1 - A)。また、拡張末期のフレームでの左室心内膜がデータベースに存在しない場合には、

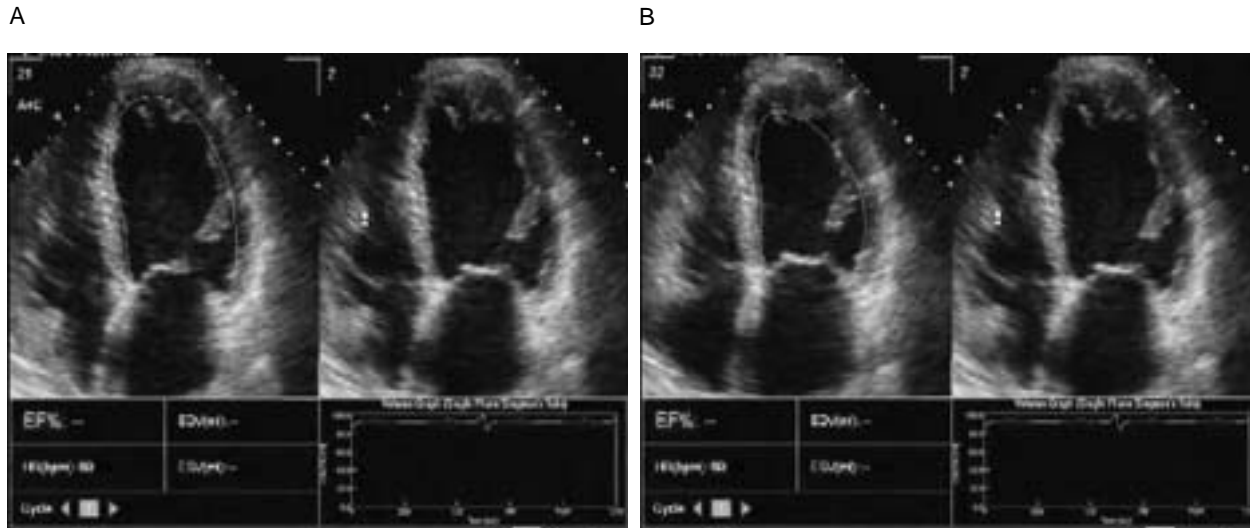


Fig. 1 Steps in the axis auto ejection fraction(auto EF)method

Automated contour tracking in 4-chamber view is achieved by selection of the end-diastolic image(*A*)and end-systolic image(*B*)based on electrocardiography.
EF = ejection fraction.

部分的に一致しているパターンをデータベースより複数選出し、それらを統合させることで新たなパターンを作り出し、左室心内膜を自動的に同定する。

4) 拡張末期のフレームから1フレームずつ送っていき、すべて心周期にわたって左室心内膜を自動的に同定していく。

5) つぎに、心電図から収縮末期の時相の画像を検出する。

6) 収縮末期のフレームをデータベースと照合させながら、パターン認識によって、左室心内膜を自動的に同定する(Fig. 1 - B)。

7) 収縮末期のフレームから1フレームずつ送っていき、すべて心周期にわたって左室心内膜を自動的に同定していく。

8) 上記4)と7)で得られた拡張末期からスタートしたトレース結果と、収縮末期からスタートしたトレース結果との2つの情報を別々に求めて最終的にこれらを統合させて 精度の高いトレースラインを確定する。このとき、トレースラインはマニュアルで修正することも可能である。一つのフレームが修正されると、すべての心周期のフレームのトレースラインに反映され、容量変化曲線と駆出率が修正される。

9) Single plane から modified Simpson 法を用いて、フレームごとの左室容量が計算される。

10) 得られた容量変化曲線から、最大容量(拡張末

期)と最小容量(収縮末期)の時相を決定し、駆出率を計算する(Fig. 2)。

4. Auto EF法とマニュアル・トレース法, visual EF の比較

対象全例の心尖部四腔断面と二腔断面に対して、熟練者のソノグラファー A(1,000 例以上の経験者)がマニュアル・トレース法による modified Simpson 法から計測した左室容量、左室駆出率をゴールド・スタンダードにして、以下の項目について比較検討を行った。Auto EF 法はトレースラインの修正機能を有しているが、トレースラインの修正機能は使用せずに自動的に得られた計測値を用いて検討を行った。

1) Auto EF 法と visual EF による左室駆出率の比較

はじめにソノグラファー A が、各断面に対して visual EF によって左室駆出率を評価し、マニュアル・トレース法で計測した左室駆出率と比較した。つぎにソノグラファー A が、各々の断面に対して auto EF 法によって左室駆出率を計測し、ソノグラファー A がマニュアル・トレース法で計測した左室駆出率と比較した。

2) Auto EF 法の精度の評価

ソノグラファー A が、各断面に対して Auto EF 法によって左室容量、左室駆出率を計測し、ソノグラファー A がマニュアル・トレース法で計測した左室容

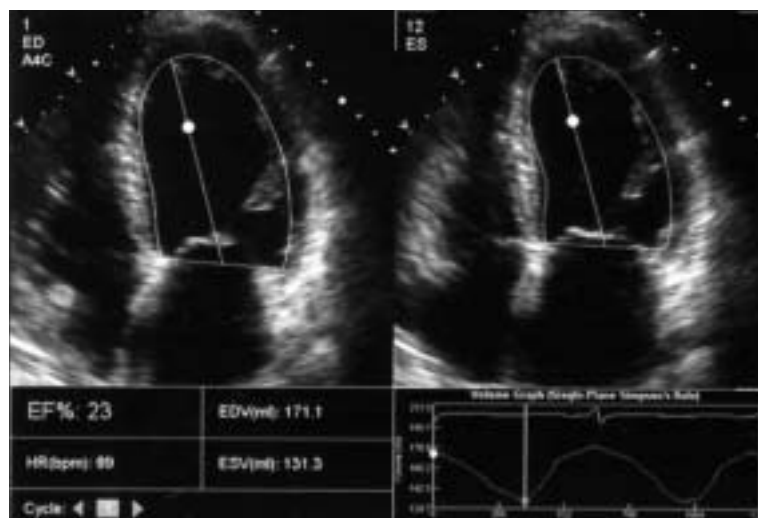


Fig. 2 Auto EF method

Left ventricular volumes and ejection fraction are measured from the apical 4-chamber view in every frame throughout 2 cardiac cycles by the auto EF method.

Left: Enddiastole. *Right*: Endsystole.

HR = heart rate; EDV = end-diastolic volume; ESV = end-systolic volume.

Other abbreviation as in Fig. 1.

量, 左室駆出率と比較した.

3) 再現性の評価

検者間変動については, 各断面に対してソノグラファーAがvisual EFを評価した直後に, ソノグラファーB(500例以上の経験者)が同様の方法で評価した. さらに, 各断面に対してソノグラファーAがはじめにマニュアル・トレース法, つぎにauto EF法によって左室容量, 駆出率を計測した後, ソノグラファーBも同様の方法で左室容量, 駆出率を計測した. このとき, ソノグラファーBは, ソノグラファーAによる計測値を知ることなく計測を行った.

検者内変動については, 1ヵ月後に各断面に対してソノグラファーAがvisual EFを評価した. さらに, 各断面に対してソノグラファーAが, はじめにマニュアル・トレース法, つぎにauto EF法によって左室容量, 駆出率を計測した.

5. 統計処理

計測値は平均±標準偏差で示した. 相関関係は単回帰解析を, 一致度はBland-Altman解析を用いて, $p < 0.05$ を有意差の判定とした. また, おのおのの計測値の比較においては, Studentの*t*検定を用いて評価した.

結 果

1. Auto EF法とvisual EFによる左室駆出率の比較

熟練者によるvisual EFによって評価された左室駆出率をマニュアル・トレース法とで比較した結果, 心

尖部四腔断面, 二腔断面ともに良好な相関, 一致度が認められた(心尖部四腔断面: $y = 1.05x - 1.18$, $r = 0.96$, $\text{bias} = 1.7\%$, 心尖部二腔断面: $y = 0.94x + 4.34$, $r = 0.96$, $\text{bias} = -0.5\%$)(Figs. 3, 4, Table 1). また, auto EF法によって計測された左室駆出率をマニュアル・トレース法とで比較した結果, 心尖部四腔断面, 二腔断面ともに良好な相関, 一致度が認められた(心尖部四腔断面: $y = 1.10x - 4.28$, $r = 0.94$, $\text{bias} = 1.6\%$, 心尖部二腔断面: $y = 0.88x + 7.25$, $r = 0.90$, $\text{bias} = 0.4\%$)(Figs. 3, 4, Table 1).

2. Auto EF法の精度の評価

Auto EFによって計測された左室容量(左室拡張末期容量, 左室収縮末期容量)をマニュアル・トレース法とで比較した結果, 心尖部四腔断面, 二腔断面ともに左室容量は相関が認められるものの過小評価する傾向が認められた(心尖部四腔断面; 左室拡張末期容量: $y = 0.72x + 8.92$, $r = 0.93$, $\text{bias} = -16.7\text{ml}$, 左室収縮末期容量: $y = 0.82x - 0.97$, $r = 0.98$, $\text{bias} = -8.5\text{ml}$, 心尖部二腔断面; 左室拡張末期容量: $y = 0.73x + 12.4$, $r = 0.82$, $\text{bias} = -12.3\text{ml}$, 左室収縮末期容量: $y = 0.65x + 6.94$, $r = 0.90$, $\text{bias} = -6.8\text{ml}$)(Figs. 5, 6, Table 2). しかし, 左室駆出率については, 良好な相関, 一致度が認められた(心尖部四腔断面: $y = 1.10x - 4.28$, $r = 0.94$, $\text{bias} = 1.6\%$, 心尖部二腔断面: $y = 0.88x + 7.25$, $r = 0.90$, $\text{bias} = 0.4\%$)(Figs. 5, 6, Table 2).

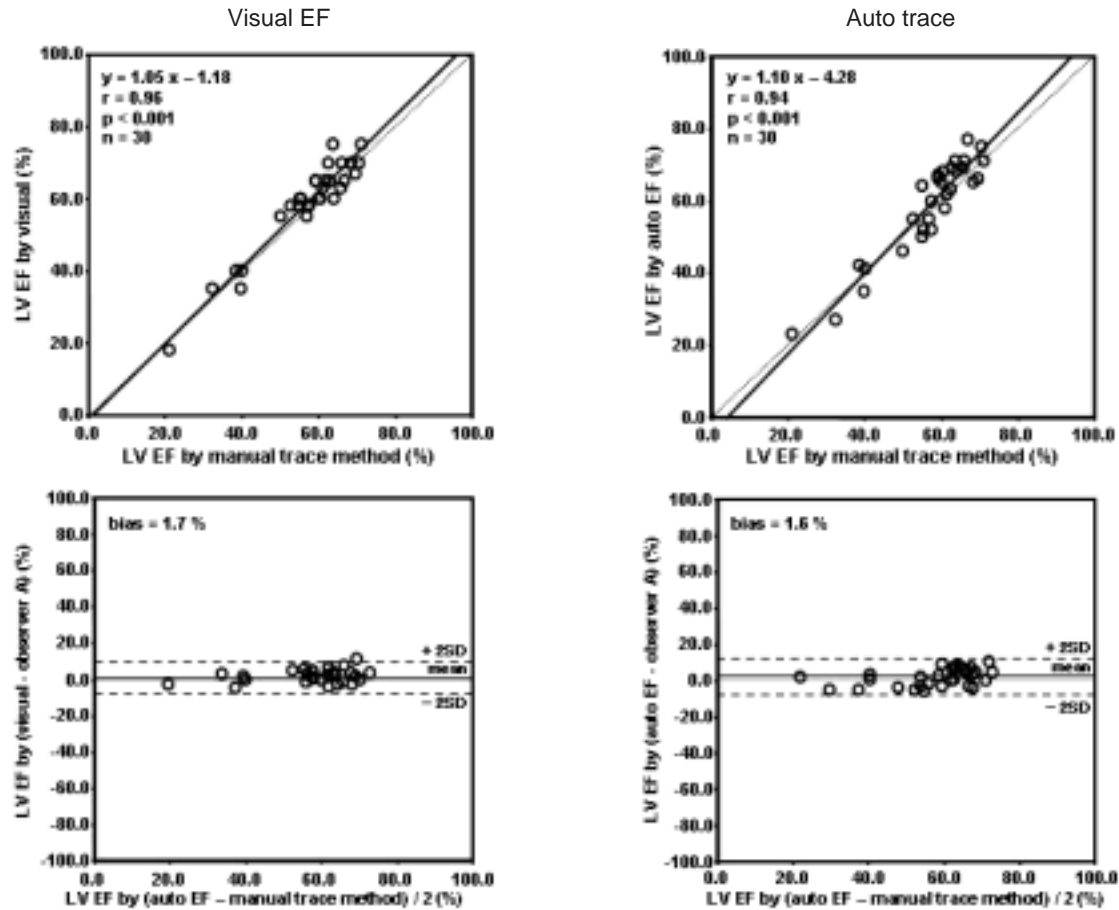


Fig. 3 Correlations between the visual EF and manual trace methods(*left*) and the auto EF and manual trace methods(*right*) in the 4-chamber view

Scatter plots show the correlation in the 4-chamber view between the visual EF and manual trace methods in measurement of LVER(*left-upper*) and mean LVEF by the visual EF and manual trace methods(*x axis*) and difference between visual EF and manual trace methods(*y axis*)(*left-lower*); and between the auto EF and manual trace methods in measurement of LVER(*right-upper*) and mean LVEF by the auto EF and manual trace method(*x axis*) and difference between the auto EF and manual trace method(*y axis*)(*right-lower*).

LV = left ventricular. Other abbreviation as in Fig. 1.

3. 再現性の評価

左室容量での検者内変動については、心尖部四腔断面、二腔断面ともにマニュアル・トレース法では平均6%以内であったが、auto EF法では完全に自動的であることから0%と検者内変動は認められなかった。また、左室駆出率での検者内変動についても、マニュアル・トレース法では平均4%以内、visual EFでは平均12%以内であったが、auto EF法は0%と検者内変動は認められなかった(Table 3)。

左室容量での検者間変動については、心尖部四腔断面、二腔断面ともにマニュアル・トレース法では平均

15%以内であったが、auto EF法では0%と検者間変動は認められなかった。また、左室駆出率での検者間変動についても、マニュアル・トレース法では平均8%以内、visual EFでは平均12%以内であったが、auto EF法は0%と検者間変動は認められなかった(Table 3)。

考 察

アメリカ心エコー図学会は、左室容量、駆出率の計測において、biplaneによるdisk法(Simpson's rule)を推奨している⁸⁾。しかし、左室心内膜をマニュアルで

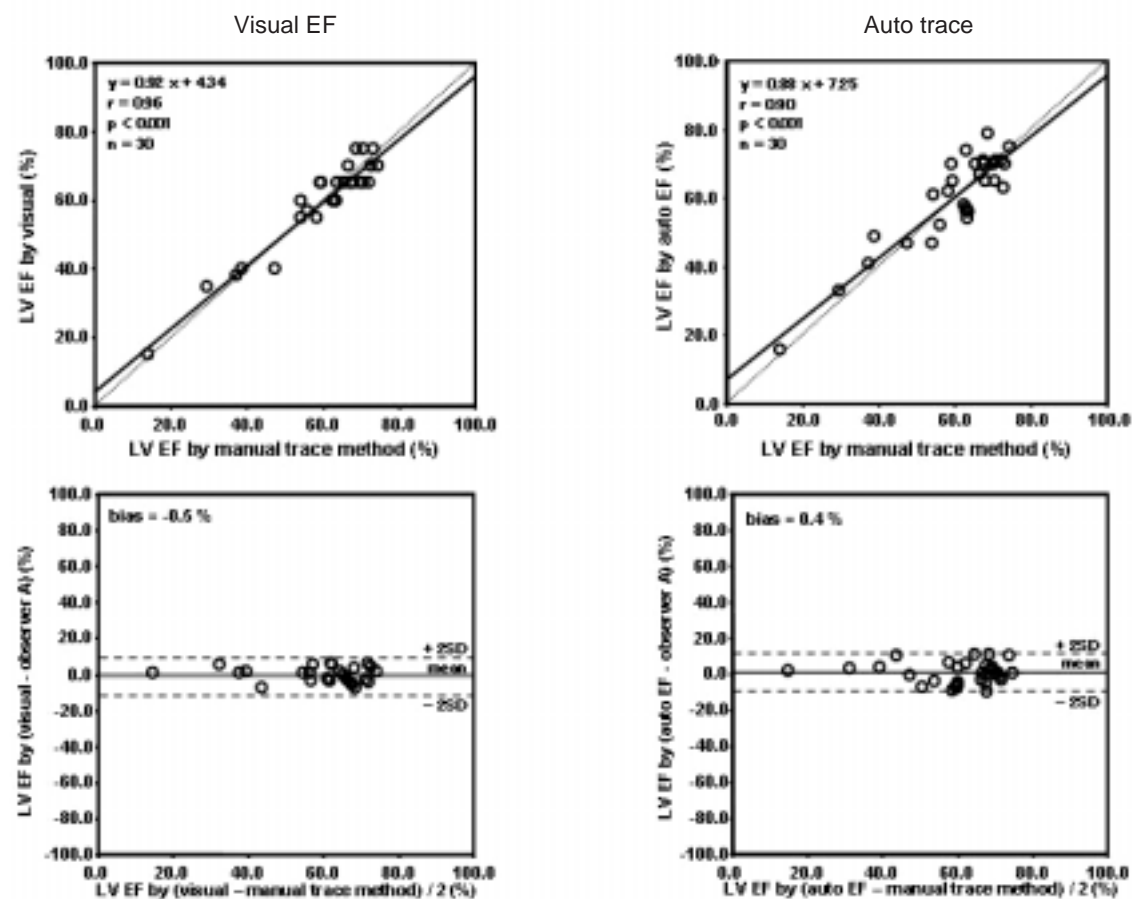


Fig. 4 Correlations between the visual EF and manual trace methods(*left*) and the auto EF and manual trace methods(*right*) in the 2-chamber view

Scatter plots show the correlation in the 2-chamber view between the visual EF and manual trace methods in measurement of LVEF(*left-upper*) and difference between visual EF and manual trace methods(*y axis*) (*left-lower*); and between the auto EF and manual trace methods in measurement of LVEF(*right-upper*) and difference between the auto EF and manual trace method(*y axis*) (*right-lower*).

Abbreviations as in Figs. 1, 3.

Table 1 Comparison of visual EF and manual trace method(*upper*), auto EF method and manual trace method(*lower*)

	<i>r</i> value	Regression equation	Bias
Comparison of visual EF and manually traced EF			
4CH	0.96	$y = 1.05x - 1.18$	1.7%
2CH	0.96	$y = 0.94x + 4.34$	-0.5%
Comparison of Auto EF and manually traced EF			
4CH	0.94	$y = 1.10x - 4.28$	1.6%
2CH	0.90	$y = 0.88x + 7.25$	0.4%

4CH = 4-chamber view; 2CH = 2-chamber view. Other abbreviation as in Fig.1.

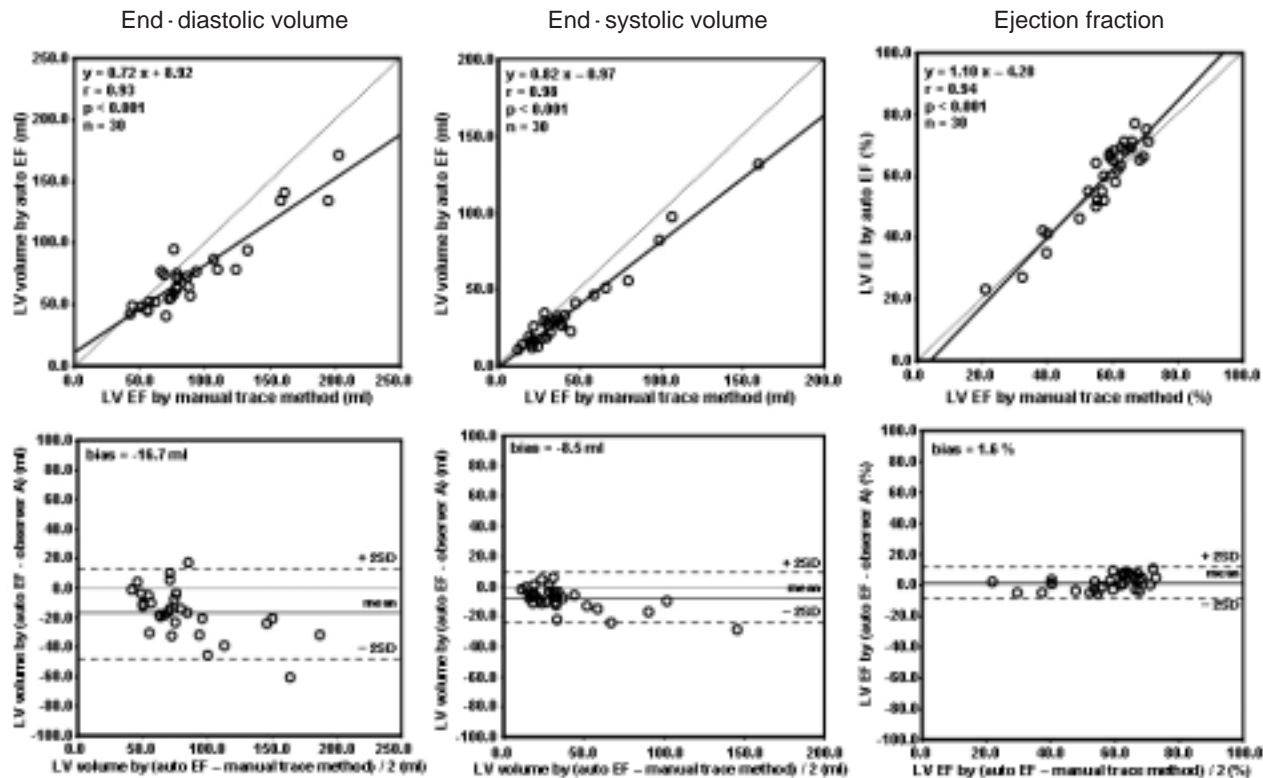


Fig. 5 Correlations between the auto EF and manual trace methods in the 4-chamber view

Scatter plots show the correlation in the 4-chamber view between the auto EF and manual trace methods in measurement of left ventricular end-diastolic volume (left-upper), end-systolic volume (middle-upper) and LVEF (right-upper), and mean left ventricular end-diastolic volume (left-lower), end-systolic volume (middle-lower) and LVEF (right-lower) by the auto EF and manual trace methods (x axis) and difference between the auto EF and manual trace method (y axis).

Abbreviations as in Figs. 1, 3.

Table 2 Comparison of auto EF method and manual trace method

	r value	Regression equation	Bias
4CH			
EDV	0.93	$y = 0.72x + 8.92$	- 16.7 ml
ESV	0.98	$y = 0.82x - 0.97$	- 8.5 ml
EF	0.94	$y = 1.10x - 4.28$	1.6%
2CH			
EDV	0.82	$y = 0.73x + 12.4$	- 12.3 ml
ESV	0.90	$y = 0.65x + 6.94$	- 6.8 ml
EF	0.90	$y = 0.88x + 7.25$	0.4%

Abbreviations as in Figs. 1, 2, Table 1.

トレースする方法は、心内膜面を見極めながらトレースするため時間がかかる場合がある。一方、ベッドサイドや救急外来など限られた時間内で検査を行う場合

や、画質不良のため左室心内膜の同定ができない場合には、視覚的な左室駆出率の評価 (visual EF) が用いられることがある。Hirose ら⁹⁾ は熟練者による visual EF は熟練者によるマニュアル・トレース法で計測された左室駆出率と良好な相関、一致度が認められたことから、visual EF の臨床的有用性を報告している。しかし、初心者による visual EF は、検者内変動、検者間変動がともに大きかったと報告している。オート・トレース法を用いれば、精度および再現性が良好な左室容量の計測が可能であるとともに、短時間で効率の良い検査が期待される。しかし、これまでのオート・トレース法は、いずれの方法も検者の操作を介さなければならぬことから完全に自動化されていなかった⁶⁾。また、画質不良例や乳頭筋や肉柱の著明に突出した例に対しては適切なオート・トレースができない場合があった¹⁻⁵⁾。Auto EF法は、検者の操作がまったく不要であり、乳頭筋や肉柱の著明に突出した場合でも検者の操

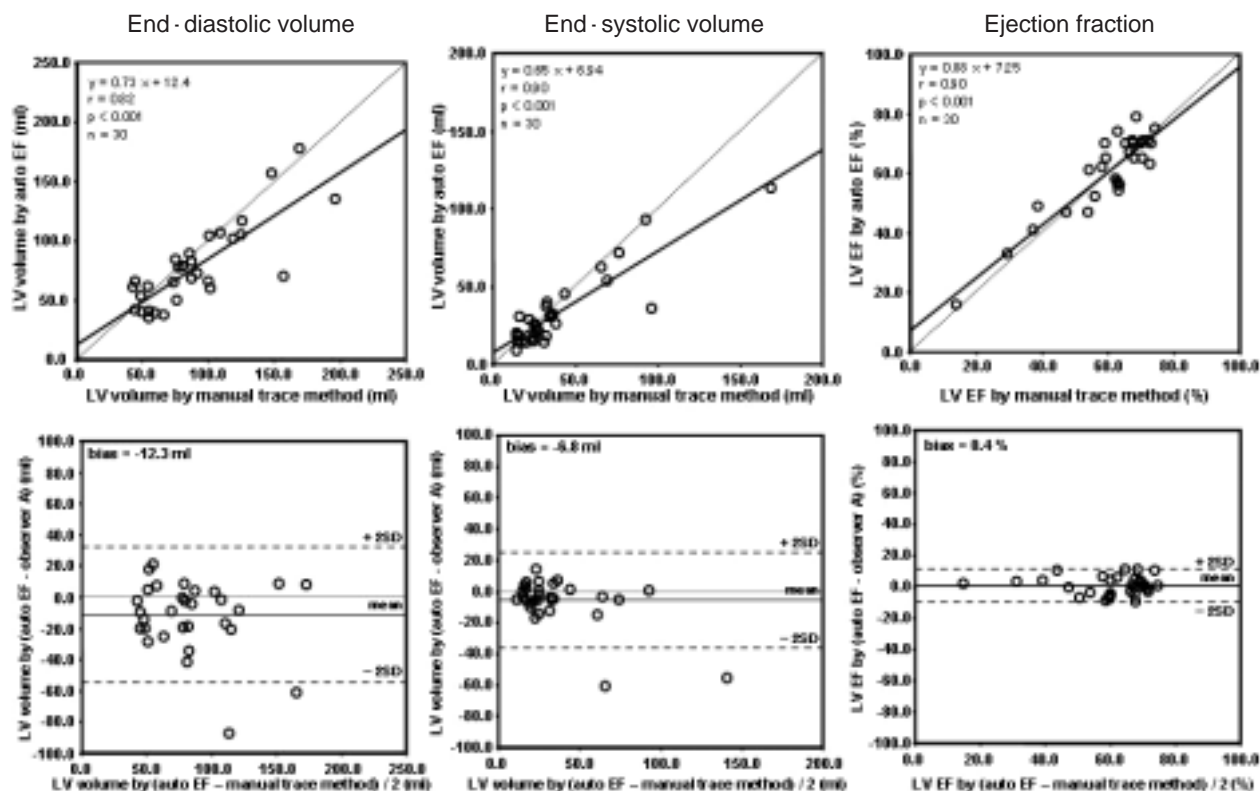


Fig. 6 Correlations between the auto EF and manual trace methods in the 2-chamber view

Scatter plots show the correlation in the 2-chamber view between the auto EF and manual trace methods in measurement of left ventricular end-diastolic volume(*left-upper*), end-systolic volume(*middle-upper*) and LVER(*right-upper*), and mean left ventricular end-diastolic volume(*left-lower*), end-systolic volume(*middle-lower*)and LVER(*right-lower*)by the auto EF and manual trace methods(*x axis*)and difference between the auto EF and manual trace method(*y axis*).

Abbreviations as in Figs. 1, 3.

Table 3 Comparison of intraobserver and interobserver variability by 4-chamber view and 2-chamber view

	Intraobserver variability(%)			Interobserver variability(%)		
	EDV	ESV	EF	EDV	ESV	EF
4CH						
Manual trace	5.2 ± 5.7	5.9 ± 9.8	3.3 ± 2.6	13.1 ± 11.1	14.1 ± 13.2	7.2 ± 5.4
Visual EF			11.8 ± 6.2			11.5 ± 9.7
Auto EF	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
2CH						
Manual trace	5.8 ± 5.3	5.8 ± 6.0	3.5 ± 2.8	9.1 ± 11.1	15.0 ± 18.5	7.3 ± 6.6
Visual EF			8.4 ± 7.4			11.8 ± 6.9
Auto EF	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

Values are mean ± SD.

Abbreviations as in Figs.1, 2, Table1.

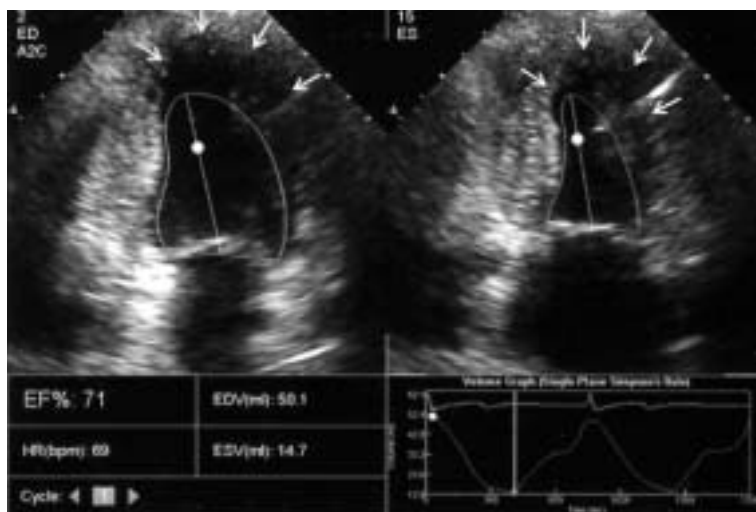


Fig. 7 Representative case of inadequate endocardial border detection by the auto EF method

The auto EF method failed to detect the apical endocardial border.

Left: Enddiastole. *Right*: Endsystole.

Abbreviations as in Figs. 1, 2.

作によるばらつきを抑えて高い再現性を実現した方法である⁶⁾。本研究では、auto EF法による左室駆出率は、熟練者による visual EF と比べて、modified Simpson法で心尖部四腔断面および二腔断面ともに同程度かつ良好な相関、一致度および再現性が認められたことから、auto EF法は臨床的に有用な方法であると考えられる。しかし、左室拡張末期容量および収縮末期容量については、auto EF法はマニュアル・トレース法に比べて過小評価する傾向が認められた。Auto EF法によるトレースを観察してみると、左室心尖部は良好に描出できているにもかかわらず、心尖部まで十分にトレースできていない症例が認められた(Fig. 7)。この原因については、LPRによる照合がうまくできなかったことが原因と考えられる。現在のところ、このデータベースには熟練者によって左室機能評価が行われた成人連続1,000症例(心室同期不全、心不全、hourglass shaped

heartsなどが含まれる)が、画質を問わず全例登録され、そのデータをもとに照合が行われている。このデータベースについては、今後の検討が必要である。また、左室心内膜を描出する際に、ゲイン設定がアンダーゲインのため心内膜が欠落している部位については十分なトレースができないことがあった。したがって、ゲイン調整の影響についても今後検討が必要である。

結 語

Auto EF法は、左室駆出率については臨床精度の高い計測が可能であり、さらに再現性が良好であることから、臨床上有用な方法であると考えられる。しかし、左室容量についてはマニュアル・トレース法に比べて過小評価する傾向があり、今後の改善が望まれる。

要 約

目 的: 視覚的な左室駆出率(visual EF)は、臨床の場で用いられているが主観的であり、正確な計測をするためにはトレーニングと経験が必要である。近年、心周期を通して左室心内膜を自動的に検出する auto EF法が開発された。我々は、2断面の左室心内膜をマニュアルでトレースして modified Simpson法によって算出された左室容量および駆出率をゴールド・スタンダードとして、auto EF法で算出された左室容量および駆出率の臨床的有用性を比較検討した。

方 法: 対象は、洞調律である連続30症例で、全例に断層心エコー図検査を施行した。Auto EF法は、取り込んだデジタル動画像から左室のパターンと形状により左室内膜を自動的に認識して、左室駆出率を算出する方法である。本検討では、auto EF法で算出された左室容量および駆出率を、マニュアル・トレース法と比較検討した。また、auto EF法で算出された駆出率を、熟練者による

visual EFと比較検討した。

結果: マニュアル・トレース法による左室駆出率との比較では, 熟練者による visual EF よりも Auto EF法のほうが再現性は良好であった。また, auto EF法による左室駆出率はマニュアル・トレース法で計測された左室駆出率と比較して, 良好な相関, 一致度であった(心尖部四腔断面: $y = 1.10x - 4.28$, $r = 0.94$, $\text{bias} = 1.6\%$, 心尖部二腔断面: $y = 0.88x + 7.25$, $r = 0.90$, $\text{bias} = 0.4\%$)。Auto EF法による左室容量はマニュアル・トレース法と良好な相関を認めたが, 過小評価する傾向があった(心尖部四腔断面; 左室拡張末期容量: $y = 0.72x + 8.92$, $r = 0.93$, $\text{bias} = -16.7 \text{ ml}$, 左室収縮末期容量: $y = 0.82x - 0.97$, $r = 0.98$, $\text{bias} = -8.5 \text{ ml}$, 心尖部二腔断面; 左室拡張末期容量: $y = 0.73x + 12.4$, $r = 0.82$, $\text{bias} = -12.3 \text{ ml}$, 左室収縮末期容量: $y = 0.65x + 6.94$, $r = 0.90$, $\text{bias} = -6.8 \text{ ml}$)。

結論: Auto EF法は, 左室容量および左室駆出率の計測において臨床上有用な方法であると考えられる。

— J Cardiol 2007 Mar; 49(3): 125 - 134 —

文献

- 1) Bednarz JE, Marcus RH, Lang RM: Technical guidelines for performing automated border detection studies. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; **8**: 293 - 305
- 2) Yagi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Shakudo M, Takagi T, Miyake S, Okura H, Hozumi T, Maenishi F: Evaluation of ventricular areas and fractional change using an acoustic quantification method. *J Med Ultrasonic* 1993; **20**: 291 - 295 (in Jpn with Eng abstr)
- 3) Yagi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Shakudo M, Takagi T, Miyake S, Okura H, Hozumi T, Maenishi F: Evaluation of left ventricular volume and ejection fraction using an acoustic quantification method. *J Med Ultrasonic* 1993; **20**: 669 - 673 (in Jpn with Eng abstr)
- 4) Tsujita-Kuroda Y, Zhang G, Sumita Y, Hirooka K, Hanatani A, Nakatani S, Yasumura Y, Miyatake K, Yamagishi M: Validity and reproducibility of echocardiographic measurement of left ventricular ejection fraction by acoustic quantification with tissue harmonic imaging technique. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; **13**: 300 - 305
- 5) Sugioka K, Hozumi T, Watanabe H, Yamagishi H, Matsumura Y, Takemoto Y, Muro T, Yoshiyama M, Takeuchi K, Yoshikawa J: Rapid and accurate noninvasive assessment of global left ventricular systolic function using biplane advanced automated contour tracking method. *J Am Soc Echocardiogr* 2003; **16**: 1237 - 1243
- 6) 斉藤雅博: フルオートの左室容積・駆出率の計測: *Axius Auto Ejection Fraction*. *超音波検技* 2006; **31**: 382 - 388
- 7) Cannesson M, Tanabe M, Suffoletto MS, McMamara DM, Gorcsan J: Comparison of a novel artificial intelligence echocardiographic image analysis system with visual assessment of ejection fraction by expert and analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; **19**: 623 (abstr)
- 8) Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, Picard MH, Roman MJ, Seward J, Shanewise JS, Solomon SD, Spencer KT, Sutton MS, Stewart WJ; Chamber Quantification Writing Group; American Society of Echocardiography & Guidelines and Standards Committee; European Association of Echocardiography: Recommendations for chamber quantification: A report from the American Society of Echocardiography & Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; **18**: 1440 - 1463
- 9) Hirose K, Ohta T, Yoshitomi H, Kawata R, Sumi T, Kasima Y, Okada S, Kinoshita Y, Koshino Y, Matsuno Y: Reliability and usefulness of visual estimation of left ventricular ejection fraction: Comparison with modified Simpson's method. *J Med Ultrasonic* 2003; **30**: J651 - J661 (in Jpn with Eng abstr)