

左室内腔面積の自動計測における Automated Contour Tracking 法の臨 床的有用性

Automatic Assessment of Left Ven- tricular Cavity Area by the Automated Contour Tracking Method

八木登志員
吉田 清
穂積 健之
赤阪 隆史
高木 力
山室 淳
川井 順一
吉岡 秀樹*¹
吉川 純一*²

Toshikazu YAGI
Kiyoshi YOSHIDA, MD, FJCC
Takeshi HOZUMI, MD
Takashi AKASAKA, MD, FJCC
Tsutomu TAKAGI, MD
Atsushi YAMAMURO, MD
Junichi KAWAI, MD
Hideki YOSHIOKA*¹
Junichi YOSHIKAWA, MD, FJCC*²

Abstract

Measurements of left ventricular cavity area by the manual tracing method from apical four-chamber views were compared with those using the automated contour tracking (ACT) method. Nine consecutive patients in whom clear images were obtained by two-dimensional echocardiography were studied, and left ventricular end-diastolic, end-systolic areas and fractional area changes were calculated using the ACT method. The ACT method slightly underestimated left ventricular cavity areas, but excellent correlations were obtained with left ventricular end-diastolic and end-systolic areas between the ACT and manual methods ($r=0.99$, $SEE=1.5\text{cm}^2$; $r=0.99$, $SEE=1.2\text{cm}^2$; respectively). Manual tracing fractional area change correlated well with that by the ACT method ($r=0.95$, $SEE=3.4\%$). The ACT method provides accurate estimates of the area of the left ventricular cavity.

Key Words

Echocardiography, Computer-assisted instruction

はじめに

断層心エコー図法では、左室内腔のトレースを行うことにより、内腔面積、容量の定量化が可能である。しかし、そのためには用手的に心内膜をトレースする必要があった。

今回開発された自動的輪郭追跡抽出法 (automated contour tracking: ACT) は、エネルギー最小化原理により、心内膜の自動追跡を行う方法である。すなわち本法は左室内に1ポイントを設定すれば、自動的に心内膜トレースが行われ、関心領域を設定することなく左

室内腔面積の自動計測が可能な方法である^{1,2)}。

今回の研究目的は、左室内腔面積の自動計測における本法の臨床的有用性について検討することである。

方 法

ACT法の原理は、最初に心腔内領域に1点を設定することにより、複数個の離散点(制御点)から構成される初期輪郭が自動的に設定され、最初のフレームにおいて輪郭抽出が行われる。次のフレームでは、一つ前のフレームで自動設定された輪郭抽出結果を初期輪郭として認識し、次の追跡演算処理が行われる。すなわ

神戸市立中央市民病院循環器センター 内科: 〒650 神戸市中央区港島中町4-6; *¹東芝関西研究所, *²(現) 大阪市立大学 第一内科
Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Kobe; *¹Toshiba Kansai Research Laboratory, Kobe; *²The First Department of Internal Medicine,
Osaka City University Medical School, Osaka

Address for reprints: YOSHIDA K, MD, FJCC, Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Minatojima-nakamachi 4-6, Chuo-ku, Kobe 650
Manuscript received August 5, 1996; accepted August 23, 1996

Selected abbreviations and acronyms

ACT=automated contour tracking
ROI=region of interest

ち、絶えず一つ前の輪郭抽出結果が初期輪郭としてとられ、これに基づいて次々と高速演算処理が繰り返され、心内膜が検出されるまで続けられる方法である。この輪郭変形には弾性エネルギーと画像エネルギーが用いられ、エネルギー最小化原理により展開される²⁾。また、心拍とともに大きく動く僧帽弁や弁輪部などの滑らかでない部分(鋭角な形状)の抽出には、弾性エネルギーと画像エネルギーを別々に最小化し、更に弾性エネルギー中の輪郭を小さくする項を除いた処理を行うことで可能となっている。また心内膜の検出には、分離度法³⁾に重みを持たせた重み付き分離度法を用いることで、検出精度の向上が行われている。

対象は断層心エコー図で良好な画像が得られた連続9例(男6例, 女3例, 平均年齢 56 ± 5 歳)である。使用装置は東芝製 SSA-380A と Hewlett Packard 製 SONOS-2500 で、2.5 MHz の探触子を使用した。

今回の検討には、各症例の心尖部四腔断面のビデオ収録画像をワークステーション(AS4080)に取り込み、ACT法により心内膜の自動トレースを行い、拡張末期および収縮末期の左室内腔面積を計測した(Fig. 1)。また、用手法による左室内腔面積計測(拡張末期, 収縮末期)は、本法の検討に用いたものと同じ画像により熟練した検者によって行われた。面積変化率は得られた拡張末期内腔面積と収縮末期内腔面積から、

$$\text{面積変化率} = (\text{拡張末期内腔面積} - \text{収縮末期内腔面積}) / \text{拡張末期内腔面積} \times 100$$

の式により算出した。

拡張末期内腔面積、収縮末期内腔面積および面積変化率のおおのについて、用手法で求めた値とACT法で求めた値を、回帰直線解析を用いて比較検討した。

結 果

左室拡張末期内腔面積に関して、ACT法と用手法との間には良好な相関が認められた($y = 0.81x + 3.6$, $r = 0.99$, $SEE = 1.5 \text{ cm}^2$; Fig. 2-左)。左室収縮末期内腔面積についても、同様に、ACT法と用手法との間には良好な相関が認められた($y = 0.96x - 0.8$, $r = 0.99$, $SEE =$

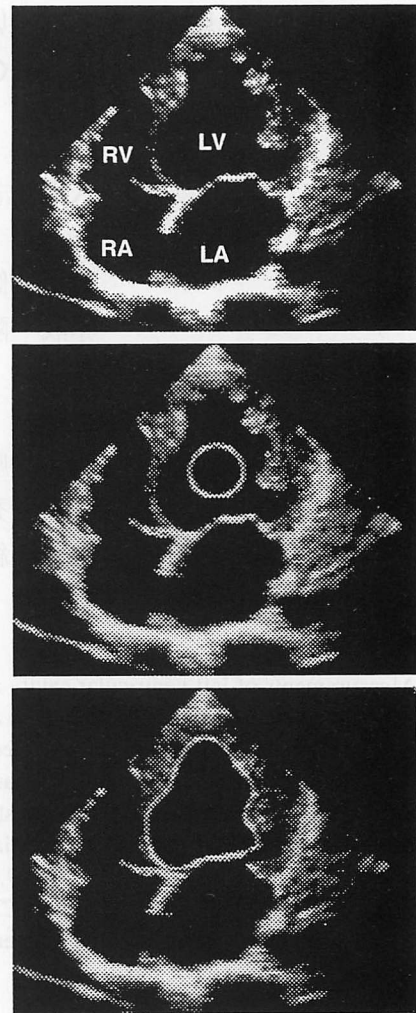


Fig. 1 Process of the automated contour tracking method

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

1.2 cm^2 ; Fig. 2-右)。また、面積変化率に関しても、本法は用手法と極めて良好な相関を示した($y = 1.2x - 6.6$, $r = 0.95$, $SEE = 3.4\%$; Fig. 3)。

考 察

これまでの心内膜自動抽出法に関しては、幾つかの報告がある^{4-7,8,9)}。従来の方法は輝度勾配を用いて心内膜境界を検出する方法であり⁴⁾、関心領域設定(region of interest: ROI)の必要性^{8,9)}と、それに伴う弁輪部(僧帽弁)同定の問題があった¹⁰⁾。すなわち、ROIを拡張期弁輪レベルに設定すると、収縮期に弁輪は心尖部に移動する。この結果、ROIの中に左房が入ってくるため、収縮期左室内腔面積を過大評価する。逆にROIを収縮期弁輪レベルに設定すると、拡張期に弁輪はROIをはずれ、

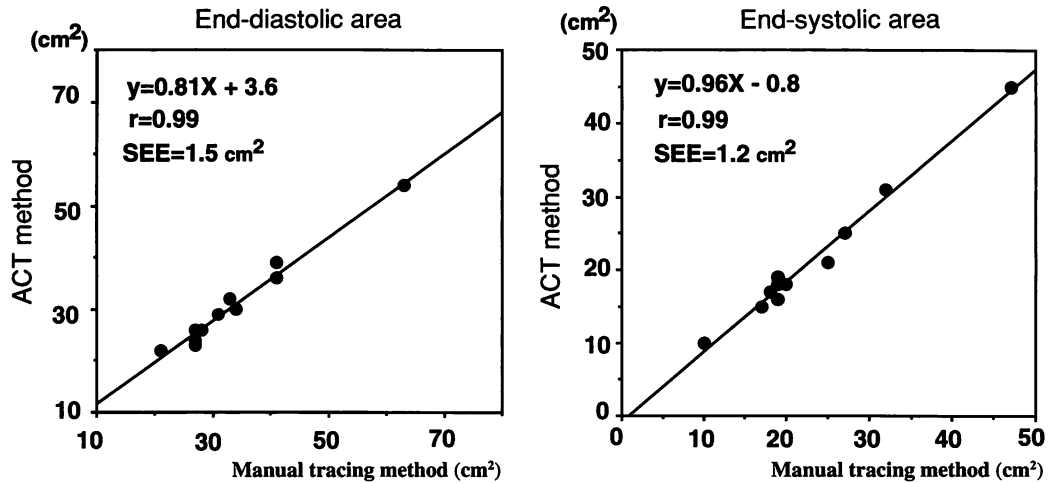


Fig. 2 Scatter plots showing left ventricular areas measured by the automated contour tracking and manual tracing methods

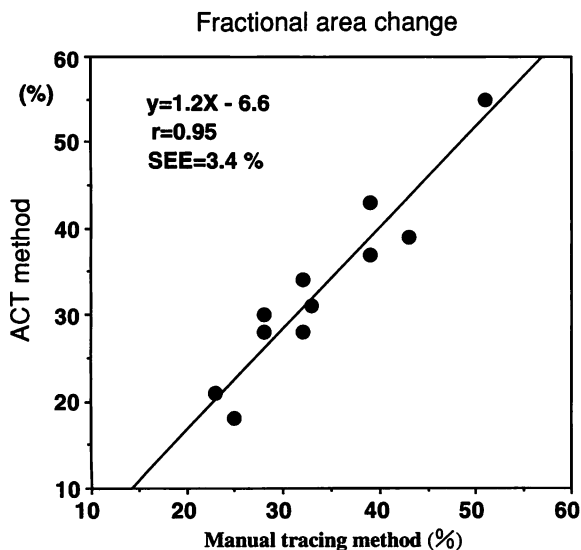


Fig. 3 Scatter plots showing fractional area changes measured by the automated contour tracking and manual tracing methods

拡張期左室面積を過小評価することになる。

今回開発された ACT 法は、心腔内に手動的に 1 ポイント設定すれば、エネルギー最小化原理に基づく輪郭モデルの自動的変形により、心内膜の境界が抽出される新しい方法である。

本法は、1988 年 Kass ら¹¹⁾ によって提案された輪郭抽出法 (Snakes) とは異なり、エネルギー最小化処理を 2 段階に分けて行うなどの方法を応用している。これは、輪郭を滑らかに変形させようとする弾性エネルギー (弾性力) と、画像上で輝度が大きく変化する場所 (心内膜面) に引き付けられる画像エネルギー (引力) の両方が、エネルギー最小化原理に基づき小さくなるように輪郭を移動させる方法である²⁾。

一方、今回用いた ACT 法は、心内膜の輪郭抽出精度をよくするため、画像上にある境界を挟んだ 2 つの小領域を考え、この小領域内の輝度の分散とピクセル数の統計量から、心内膜の輪郭を求めている²⁾。更に、心内膜面以外の強いエコーと区別するために、この小領域内の輝度分布と輪郭モデルから小領域までの位置情報を重みとして加えた重み付き分離度法²⁾を用いている。これは、福井³⁾ が提案した分離度法をより発展させたものである。実際の操作では、最初に左室内腔内に 1 ポイントを手動的に指定すると、初期輪郭が自動的に設定される。その初期輪郭は心内膜に向かって広がり、心内膜面が自動的に描出された断層画像が表示される。

ACT 法で描かれた心内膜では、画質が劣る心尖部付近や、僧帽弁ないし弁輪部などの鋭角的形状部分に関しても、殆ど抽出誤差は認められなかった。このように良好な結果が得られたのは、重み付き分離度法の採用や、輪郭移動法に様々な工夫を凝らすなどの幾つかの新しい技法を取り入れたためと考えられた。

左室内腔面積の計測に本法を用いれば、ROI の必要性がなくなるため、ROI に伴う弁輪部の問題¹⁰⁾ も生じない。しかし、現在のところ、本法はオフライン解析のみ可能であり、今後オンライン解析への改善が期待される。

結 語

ACT 法は、関心領域設定を必要とせず、左室内腔面積の自動計測において臨床的に有用な方法である。

要 約

新たに開発された自動的輪郭抽出法 (ACT) によれば, 左室内腔内に1ポイントを設定すれば自動的に心内膜トレースが行われ, 左室内腔面積の自動計測が可能になる. 今回の研究目的は, 左室内腔面積の自動計測における ACT 法の臨床的有用性について検討することである.

対象は断層心エコー図で良好な画像が得られた連続9例 (男6例, 女3例, 平均年齢 56 ± 5 歳) であった. 断層心エコー図により心尖部断面を描出し, そのビデオ収録画像よりオフラインで, ACT 法を用いて左室拡張末期内腔面積と収縮末期内腔面積, 面積変化率を算出した. また, ACT 法で計測したものと同一画像で用手的計測も行い, 両方法間で比較検討した.

ACT 法と用手法との間には, 左室拡張末期内腔面積, 収縮末期内腔面積および面積変化率ともに以下のような良好な相関が得られた.

左室拡張末期内腔面積: $r=0.99$, $SEE=1.5 \text{ cm}^2$

左室収縮末期内腔面積: $r=0.99$, $SEE=1.2 \text{ cm}^2$

面積変化率: $r=0.95$, $SEE=3.4\%$

このように, 左室内腔面積の自動計測において, ACT 法は臨床的に有用であると考えられた.

J Cardiol 1996; 28: 345-348

文 献

- 1) Yoshioka H, Yuasa M, Yoshikawa J, Yoshida K, Hozumi T, Yagi T: Heart wall contour extraction on ultrasound image by using ACC (automatic contour chase) method. *Med Imaging Technol* 1995; 4: 653-654 (in Jpn with Eng abstr)
- 2) Yoshioka H, Yuasa M: Heart wall contour extraction on ultrasound image using the automatic contour tracking (ACT) method. *Jpn Soc Med Imaging Tech*, in press (in Jpn with Eng abstr)
- 3) Fukui K: Edge extraction based on separability of image features. *Comput Vision* 1994; 87: 43-49 (in Jpn with Eng abstr)
- 4) Melton HE Jr, Collins SM, Skorton DJ: Automatic real-time endocardial edge detection in two-dimensional echocardiography. *Ultrason Imaging* 1983; 5: 300-307
- 5) Collins SM, Skorton DJ, Geiser EA, Nichols JA, Conetta DA, Pandian NG, Kerber RE: Computer-assisted edge detection in two-dimensional echocardiography: Comparison with anatomic data. *Am J Cardiol* 1984; 53: 1380-1387
- 6) Vandenberg BF, Rath LS, Stuhlmuller P, Melton HE Jr, Skorton DJ: Estimation of left ventricular cavity area with an on-line, semiautomated echocardiographic edge detection system. *Circulation* 1992; 86: 159-166
- 7) Bosch JG, Reiber JHC, Burken G, Gerbrands JJ, Kostov A, Goor AJ, Deal MERM, Roelandt JRTC: Development towards real-time frame-to-frame automatic contour detection on echocardiograms. *Comput Cardiol* 1990; 435-438
- 8) Pérez JE, Waggoner AD, Barzilai B, Melton HE Jr, Miller JG, Sobel BE: On-line assessment of ventricular function by automatic boundary detection and ultrasonic backscatter imaging. *J Am Coll Cardiol* 1992; 19: 313-320
- 9) Yagi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Shakudo M, Takagi T, Miyake S, Ookura H, Hozumi T, Maenishi F: Evaluation of ventricular area and fraction change using an acoustic quantification method. *Jpn J Med Ultrasonics* 1993; 20: 291-295 (in Jpn with Eng abstr)
- 10) Yagi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Hozumi T, Shakudo M, Miyake S, Ookura H, Honda Y: The effects of a trackball-derived region of interest on left ventricular volume using an acoustic quantification method. *Jpn J Med Ultrasonics* 1994; 21: 489-491 (in Jpn with Eng abstr)
- 11) Kass M, Witkin A, Terzopoulos D: Snakes: Active contour models. *Int J Comput Vision* 1988; 321-331