

カラードップラー法による心拍出量の自動計測

Automated Cardiac Output Measurement by Color Doppler Echocardiography

八木登志員
 吉田 清
 穂積 健之
 赤阪 隆史
 赤土 正洋
 高木 力
 加地修一郎
 川元 隆弘
 緒方裕美子
 川井 順一
 盛岡 茂文
 吉川 純一*

Toshikazu YAGI
 Kiyoshi YOSHIDA, MD, FJCC
 Takeshi HOZUMI, MD
 Takashi AKASAKA, MD, FJCC
 Masahiro SHAKUDO, MD
 Tsutomu TAKAGI, MD
 Shuichiro KAJI, MD
 Takahiro KAWAMOTO, MD
 Yumiko OGATA, MD
 Junichi KAWAI, MD
 Shigefumi MORIOKA, MD, FJCC
 Junichi YOSHIKAWA, MD, FJCC*

Abstract

Recently, automated cardiac flow measurement (ACM) has been developed for measuring the volume flow rate of blood flow through the left ventricular outflow tract.

Measurements of left ventricular cardiac output by the ACM method were compared with those by the thermal dilution method with a Swan-Ganz catheter in 27 patients (16 men and 11 women; aged 44 ± 3 years) in whom clear two-dimensional and color Doppler images of the left ventricular outflow tract were obtained. The total time required for left ventricular stroke volume calculation by both ACM and pulsed Doppler methods was measured in 10 patients (six men and four women; aged 41 ± 2 years). There was an excellent correlation in the measurements of cardiac output between the ACM and thermal dilution methods ($y = 0.77x + 0.77$, $r = 0.84$, $SEE = 0.4$ l/min). The total time required for left ventricular stroke volume calculation by the ACM method was significantly shorter than that by the pulsed Doppler method (92 ± 10 vs 177 ± 30 sec, $p < 0.01$).

The ACM method is simple, quick, and accurate for the automated assessment of cardiac output.

J Cardiol 1998; 31 (4) : 223-226

Key Words

Stroke volume, Cardiac output, Echocardiography (transthoracic), Doppler ultrasound (color Doppler imaging)

はじめに

これまでの左室心拍出量の測定は、パルス・ドップラー法にて得られた血流速度波形の時間速度積分値と、断層心エコー図にて算出された大動脈弁輪部断面

積を乗ずることで求められていた¹⁾。この方法では、用手的方法を用いる際の操作性の煩雑さや、測定誤差の問題、安定したデータが出るために熟練を要するなどの問題が存在する。

最近開発された automated cardiac flow measure-

神戸市立中央市民病院 循環器センター内科：〒 650-0046 神戸市中央区港島中町 4-6；*大阪市立大学医学部 第一内科，大阪 Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Kobe；*The 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, Hyogo 650-0046

Manuscript received February 9, 1998; accepted February 16, 1998

ment (ACM) 法²⁾によれば、関心領域を大動脈弁輪部に設定するだけで、自動的に心拍出量の計測が可能である。今回の研究目的は、心拍出量の自動計測における ACM 法の臨床的有用性について検討することにある。

方 法

1. ACM 法の原理

ACM 法の原理は、既に報告²⁾されているとおりである。関心領域の中には、1 ライン 100 個の計測ポイントからなるラインが 5 本並べられ、それぞれの計測ポイントから得られた血流速度分布を 180° 回転させ、空間積分を行うことで、関心領域内の単位時間当たりの流量が求められる^{2,3)}。この単位時間当たりの流量に時間 0.033 sec (フレームレート設定 30 Hz) を乗ずることで、1 フレーム当たりの流量が求められる。更に駆出の開始から終了までの各フレームごとの流量を総加算することにより、1 回拍出量が求められる (Fig. 1)。

2. 熱希釈法との比較

対象は熱希釈法にて心拍出量を計測された患者のうち、短絡疾患や大動脈弁疾患がなく、心尖部長軸断面にて左室流出路の断層画像と、血流カラー Doppler 画像が良好であった連続 27 例 (男 16 例、女性 11 例、平均年齢 [±SD] 44±3 歳) である。

今回の検討には、心尖部左室長軸からのカラー Doppler 画像 [使用装置: 東芝製 (東京) SSA-380A, 2.5 MHz の探触子] を用いた。駆出の開始から終了までの

Selected abbreviations and acronyms

ACM=automated cardiac flow measurement

確定を行い、駆出期のみシネループ動画像を描出した。この動画像で大動脈弁輪部に関心領域を設定し、駆出の開始から終了までの各フレームごとの流量を加算することにより 1 回駆出量を求め、これに心拍数を乗ずることで心拍出量を算出した。

Swan-Ganz カテーテルによる熱希釈法を用いて得られた心拍出量は、ACM 法にて心拍出量を計測した後に測定した。いずれの心拍出量計測も連続 3 回行い、その平均値を求めた。

3. ACM 法とパルス・ドップラー法による心拍出量の計測時間の検討

ACM 法では、駆出開始から終了までのシネループ画像で大動脈弁輪部に関心領域を設定した後、心拍出量の自動計測を行った。これら一連の操作の開始から計測値が表示されるまでの時間を、ACM 法による心拍出量の計測時間とした。パルス・ドップラー法では、心尖部左室長軸像を描出後、サンプルボリュームを大動脈弁輪中央部に設定し、得られた駆出血流速波形から時間速度積分値を求めた。次に第 4 肋間左縁に探触子を移動させ、この部位の左室長軸像から左室流出路断面積を求めた。心拍出量は左室流出路断面積と時間速度積分値との積にて求めた。これら一連の操作の開始から心拍出量が求められるまでの時間をパルス・

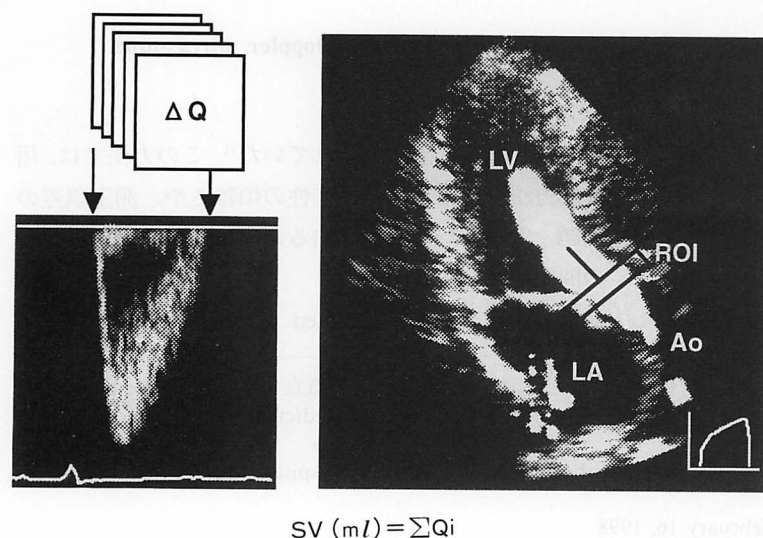


Fig. 1 Calculation of stroke volume by automated cardiac flow measurement method

Blood flow through the left ventricular outflow tract from the apical long-axis view. Forward stroke volume is calculated by integrating the velocity in space and time throughout systole.

SV=stroke volume; ΔQ =volumetric flow of 1 frame; LV=left ventricle; ROI=region of interest; Ao=aorta; LA=left atrium.

ドップラー法による心拍出量の計測時間とした。いずれの計測においても2回の測定値の平均を求め、連続10症例(男性6例, 女性4例, 平均年齢 $[\pm SD]$ 41 \pm 2歳)について検討した。

ACM法の観察者間変動(interobserver variability)の検討には、何も知らされていない熟練者がルーチン検査の中で心拍出量を測定し、検査終了直後、何も知らされていない別の熟練者が再度心拍出量を測定した。いずれの値も連続2回測定での平均値を用い、連続10症例についての検討を行った。

4. 統計学的検討

ACM法と熱希釈法による心拍出量の相関は、回帰直線解析を用いて比較検討した。また、ACM法とパルス・ドップラー法による検査時間の検討には paired *t* 検定を用い、 $p < 0.01$ をもって有意差の判定とした。

結 果

心拍出量計測において、ACM法は熱希釈法と極めて良好な相関を示した($y=0.77x+0.77$, $r=0.84$, $SEE=0.4$ l/min; Fig. 2)。

ACM法における計測時間は 92 ± 10 secであったのに対し、パルス・ドップラー法におけるそれは 177 ± 30 secであり($p < 0.01$)、ACM法ではパルス・ドップラー法に比べ、有意に短かった。

また、ACM法における観察者間変動は $3.2 \pm 2.1\%$ であった。

考 案

これまでの心拍出量は、パルス・ドップラー法による速度時間積分値と断層法からの大動脈弁輪部断面積の積にて1回駆出量を求め、この1回駆出量と心拍数との積で求められていた⁴⁾。この方法は、大動脈弁輪部断面積と速度時間積分値計測の両方に用手的操作が加わるため、計測誤差の原因となりうる。特に大動脈弁輪部断面積の測定誤差が大きくなることが挙げられており⁵⁾、その検者間の測定差は $6.0 \pm 1.6\%$ であったと報告されている¹⁾。

一方、ACM法では、心尖部長軸断面におけるカラードップラー法から血流速度の空間積分を行い、それを時間方向に積分することで、流量が自動的に求められる^{2,3)}。本法は、この一連の高速演算処理がコンピュー

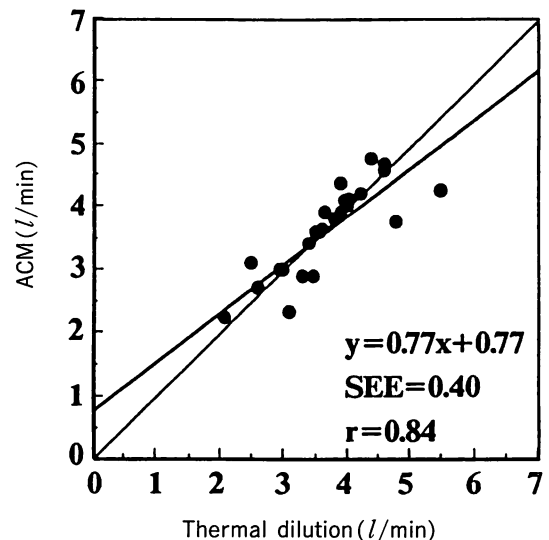


Fig. 2 Regression plots comparing cardiac output measured by the ACM and thermal dilution methods in consecutive patients

ターにて自動的に行われるため、実際には大動脈弁輪部に関心領域を設定するのみで心拍出量が簡単に求められる方法である。また、本法はパルス・ドップラー法に比べ検査時間が短く、操作が簡単であり、短時間のトレーニングにて、パルス・ドップラー法と高い相関が得られるとされている^{6,7)}。今回の心拍出量の計測時間の検討では、ACM法を用いれば、従来のパルス・ドップラー法による計測時間に比べ、明らかに短時間で計測が可能であることが示された。また、本法の観察者間変動は $3.2 \pm 2.1\%$ であり、本法は正確かつ再現性の高い自動計測法であると考えられる。

本法はカラードップラー法の応用であり、得られた値は各フレームごとの流量総和であることより、実際にACM法を適用する際には、フレームレイト、カラーゲイン、フィルターなど、種々の設定条件が計測値に影響を及ぼすことにも注意が必要である⁸⁾。高画質のカラードップラー画像と装置の適正な各種設定がなされれば、ACM法は再現性の高い正確な心拍出量計測法であり、臨床的に有用と思われる。

結 語

ACM法による心拍出量の自動計測は、正確、かつ短時間で実施可能であり、臨床的に有用な方法であると考えられた。

要 約

最近, 左室流出路を通過する血流の自動計測を行う方法 [自動的心拍出量計測 (ACM) 法] が開発された。我々は Swan-Ganz カテーテルを用いた熱希釈法を用いて計測された心拍出量と, ACM 法にて得られた心拍出量との比較検討を行った。

対象は心尖部長軸断面にて左室流出路の断層画像とカラードプラー画像が良好であった連続 27 例 (男性 16 例, 女性 11 例, 平均年齢 [±SD] 44±3 歳) である。対象例において, ACM 法と熱希釈法により心拍出量を計測し, 比較検討した。また連続 10 例 (男性 6 例, 女性 4 例, 平均年齢 [±SD] 41±2 歳) において, 本法とパルス・ドプラー法による心拍出量計測時間について比較検討した。

ACM 法と熱希釈法との間には $y=0.77x+0.77$, $r=0.84$, $SEE=0.4$ l/min の相関が得られた。心拍出量計測時間は ACM 法がパルス・ドプラー法より短時間であった (92±10 vs 177±30 sec, $p<0.01$)。

このように, ACM 法は心拍出量を自動計測する上で, 簡便かつ正確, また短時間で実施可能であり, 臨床的に有用であると考えられた。

J Cardiol 1998; 31 (4) : 223-226

文 献

- 1) Lewis JF, Kuo LC, Nelson JG, Limacher MC, Quinones MA: Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac output: Clinical validation of two new methods using the apical window. *Circulation* 1984; **70**: 425-431
- 2) 辻野弘行, 志岐栄一, 平間 信: カラードプラー法速度プロファイルを用いた心拍出量計測の基礎検討. *超音波医* 1993; **20**(Suppl II): 369-370
- 3) Tsujino H, Shiki E, Hiramasa M, Iinuma K: Quantitative measurement of volume flow rate (cardiac output) by the multibeam Doppler method. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; **8**: 621-630
- 4) Robson SC, Murray A, Peart I, Heads A, Hunter S: Reproducibility of cardiac output measurement by cross sectional and Doppler echocardiography. *Br Heart J* 1988; **59**: 680-684
- 5) Fusejima K, Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ohwa M, Tsumura K, Masuda K, Sakakibara H, Nimura Y: Noninvasive measurement of cardiac output using two-dimensional Doppler echocardiography and analysis of sources of error. *J Cardiol* 1987; **17**: 139-148 (in Jpn with Eng abstr)
- 6) Sun JP, Pu M, Fouad FM, Christian R, Stewart WJ, Thomas JD: Automated cardiac output measurement by spatiotemporal integration of color Doppler data: In vitro and clinical validation. *Circulation* 1997; **95**: 932-939
- 7) Hozumi T, Yoshida K, Akasaka T, Takagi T, Yamamuro A, Yagi T, Yoshikawa J: Automated assessment of mitral regurgitant volume and regurgitant fraction by a newly developed digital color Doppler velocity profile integration method. *Am J Cardiol* 1997; **80**: 1325-1330
- 8) 八木登志員, 吉田 清, 穂積健之, 赤阪隆史, 高木 力, 加地修一郎, 川井順一, 盛岡茂文, 吉川純一, 辻野弘行: Automated cardiac flow measurement (ACM) 法による自動血流量計測における各種画像設定の影響: 臨床例での検討. *超音波医* 1997; **24**(Suppl I): 297