

カラードップラー法による自動血 流量計測における装置設定の影響

Effects of Imaging Parameters on Automated Cardiac Flow Measurement Using Color Doppler Echocardiography

八木登志員
吉田 清
穂積 健之
赤阪 隆史
高木 力
加地修一郎
川元 隆弘
川井 順一
盛岡 茂文
吉川 純一*¹
辻野 弘行*²

Toshikazu YAGI
Kiyoshi YOSHIDA, MD, FJCC
Takeshi HOZUMI, MD
Takashi AKASAKA, MD, FJCC
Tsutomu TAKAGI, MD
Shuichiro KAJI, MD
Takahiro KAWAMOTO, MD
Junichi KAWAI
Shigefumi MORIOKA, MD, FJCC
Junichi YOSHIKAWA, MD, FJCC*¹
Hiroyuki TSUJINO, MS*²

Abstract

The color Doppler echocardiographic technique has been developed for automated cardiac flow measurement (ACM). This study evaluated the effect of imaging parameters on stroke volume measurement. Cardiac output derived from the ACM method was compared with that obtained from pulsed wave Doppler in 36 patients (26 men and 10 women, mean age 54 ± 8 years) in whom clear two-dimensional and color Doppler images of the left ventricular outflow tract were obtained. The effects of frame rate, color gain and moving target indicator (MTI) filter on cardiac output were evaluated in 13 patients (8 men and 5 women, mean age 49 ± 6 years).

Using ACM at a frame rate of 30Hz, optimal color gain setting and high-frequency MTI filter (cutoff frequency: 915 Hz), there was an excellent correlation in cardiac output between the ACM and pulsed wave Doppler methods (stroke volume: $r = 0.91$, $SEE = 0.32$ l/min). Using ACM at a frame rate of 30, 22 and 15 Hz, the differences in stroke volume were 4.4%, 5.2% and 8.6%, respectively. When color gain was reduced, left ventricular stroke volume reduction was 12.1% (-2 dB), 18.9% (-4 dB). In contrast, there was no significant change in stroke volume measurement when color gain was increased. There was a significant decrease in stroke volume using the low-frequency MTI filter [cutoff frequency: 467 Hz (-35.6%)] and medium-frequency MTI filter [cutoff frequency: 703 Hz (-13.4%)].

Color Doppler imaging parameters are extremely important for automated assessment of cardiac output.

J Cardiol 1999; 33(3): 163-167

Key Words

■ Echocardiography (transthoracic)

■ Doppler ultrasound

■ Stroke volume

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; *¹大阪市立大学医学部 第一内科, 大阪; *²東芝医用機器技術研究所, 栃木

Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Kobe; *¹The First Department of Internal Medicine, Osaka City University Medical School, Osaka; *²Medical Engineering Laboratory, Toshiba Corp, Tochigi

Address for reprints: YOSHIDA K, MD, FJCC, Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Minatojima-nakamachi 4-6, Chuo-ku, Kobe, 650-0046

Manuscript received October 20, 1998; accepted November 30, 1998

はじめに

最近、カラー Doppler 法を応用した自動血流量計測 (automated cardiac flow measurement: ACM) 法が開発された¹⁾。本法による心拍出量の臨床的有用性はすでに報告されている²⁾。しかし、本法がカラー Doppler 法を用いている限り、カラー画像条件設定が計測値に与える影響は無視できない。

本研究の目的は、ACM 法を用いて自動血流量測定を行う場合の色調描出度 (カラーゲイン) や、可動性標的指標 (moving target indicator: MTI) フィルター、フレームレートなどの設定が、計測値に及ぼす影響について検討することである。

方法と対象

1. ACM 法の原理

本法はすでに報告²⁾されているように、カラー Doppler 法の応用であり、駆出開始から駆出終了までのカラー Doppler 法により得られる血流速度プロファイルから自動的に血流量を求める方法である^{1,3)}。実際にはシネ画像の大動脈弁輪部に関心領域 (region of interest) を設定することで、血流量が自動的に計測される (Fig. 1)。

2. ACM 法とパルス・Doppler 法との比較

ACM 法のカラー表示が左室流出路全体にわたってみられるが、壁内にはみられない状態にゲイン設定し (適正ゲイン)、高周波 MTI フィルター (カットオフ周波数 915 Hz)、フレームレート 30 Hz の条件にて心拍出量を求めた。パルス・Doppler 法による心拍出量は、血流速度波形から求められた時間積分値に、断層画像からの大動脈弁輪部断面積を乗ずる従来⁴⁾の方法を用いて求めた。いずれの値も 4 回の計測の平均値を用いて検討した。

3. カラー画像条件設定の影響

1) フレームレート設定の影響

フレームレートの検討には、30、22、15 Hz の 3 種類の設定値を用いた。各フレームレートについて、それぞれ 4 回の繰り返し測定を行い、平均値からのばらつき (% 標準偏差) について検討した。

2) カラーゲイン設定の影響

血流表示が左室流出路全体にみられるが、壁内にはみられない状態を適性ゲイン [ベースライン (0 dB)] 設定とした。そのレベルから ± 2 dB、 -4 dB にゲイン設定を変化させ、それぞれ 4 回の繰り返し測定を行い、その平均値を検討した。

3) フィルター設定の影響

フィルターのカットオフ周波数は 467、703、915 Hz の 3 段階に設定し、それぞれ低周波、中間波、高周波 MTI フィルター設定とした。これらのフィルター設定についてそれぞれ 4 回の測定を行い、その平均値を比較検討した。

4. 対 象

対象は、心尖部からのアプローチで、左室流出路の断層像と血流カラー表示が良好であった連続 36 例 (男性 26 例、女性 10 例、平均年齢 54 ± 8 歳) であった。また、連続 13 例 (男性 8 例、女性 5 例、平均年齢 49 ± 6 歳) についてフレームレート、カラーゲイン、MTI フィルター設定の影響の検討を行った。使用装置は東芝製 SSA-380A、2.5 MHz 探触子を用いた。

5. 統計学的検討

ACM 法とパルス・Doppler 法による心拍出量の相関は、回帰直線解析を用いて検討した。また、各計測値の有意差判定は paired *t* 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意差の判定とした。

結 果

1. ACM 法とパルス・Doppler 法との比較

1 回拍出量において、ACM 法はパルス・Doppler 法と極めて良好な相関を認めた (心拍出量: $r = 0.91$, $SEE = 0.32$ l/min; Fig. 2)。

2. フレームレート設定の影響

フレームレート設定 30 Hz での計測値のばらつきは 4.4% であったが、フレームレート設定を 22 Hz に下げたときは 5.2%、さらに 15 Hz に下げると 8.6% になった。フレームレート 30 と 22 Hz との間には、ばらつきに有意差は認められなかったが、30 と 15 Hz、22 と 15 Hz との間のばらつきには有意差が認められた ($p < 0.01$; Fig. 3)。平均値そのものは各フレーム間での差

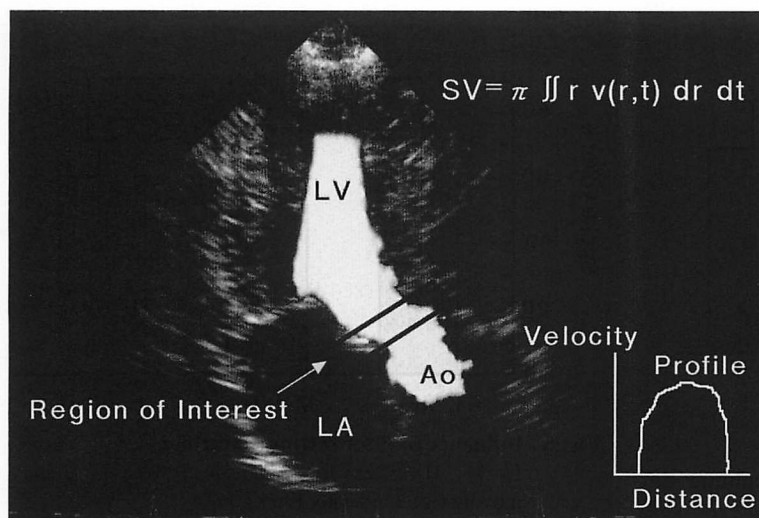


Fig. 1 Calculation of stroke volume (SV) by the automated cardiac flow measurement (ACM) method

$v(r, t)$ is the velocity at a distance r from the center of the aortic annulus and at time t during systole.

LV = left ventricle; Ao = aorta; LA = left atrium.

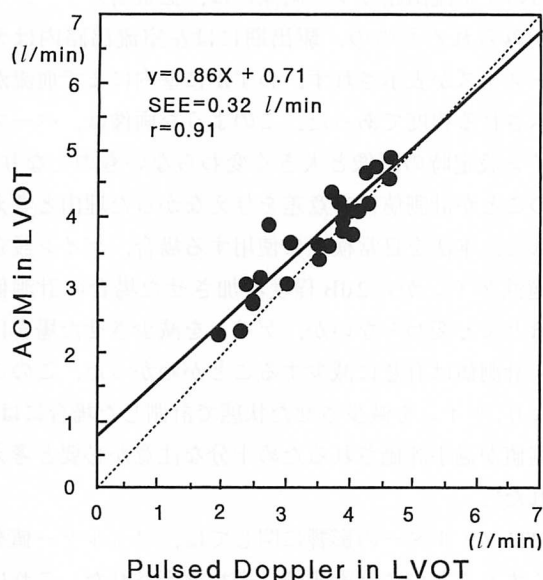


Fig. 2 Regression plots comparing cardiac output measured by ACM and pulsed Doppler methods

LVOT = left ventricular outflow tract; SEE = standard error of the estimate. Other abbreviation as in Fig. 1.

はなかったが、フレームレートを下げるほど1回ごとの測定値のばらつきが大きくなり、結果として標準偏差が大きかった。

3. カラーゲイン設定の影響

ベースライン(0dB)設定からゲインを2dB増加させた場合の測定値と、ベースラインでの測定値との間で有意差は認められなかった。ゲインをベースライン設定より-2dB、-4dBと順次減少させていくと、

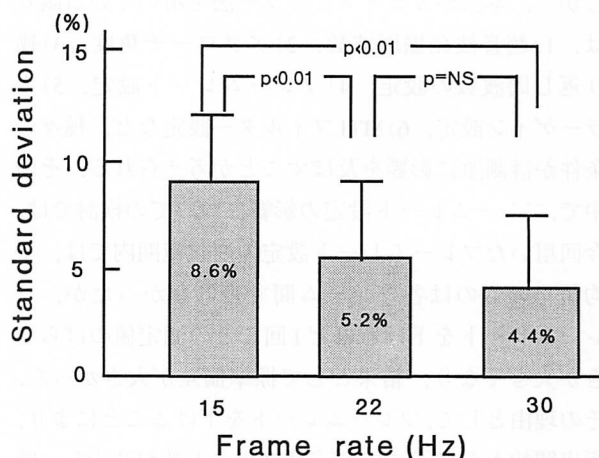


Fig. 3 Influence of frame rate setting on standard deviation of stroke volume

それらの値はベースライン設定の値より、12.1%(-2dB)、18.9%(-4dB)と有意に過小評価した(それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$; Fig. 4).

4. フィルター設定の影響

中間波MTIフィルター設定時の測定値は、高周波MTIフィルター設定時の値に比べ13.4%過小評価し($p < 0.05$)、低周波MTIフィルター設定時の値は、高周波MTIフィルター設定の値に比べ35.6%過小評価した($p < 0.01$; Fig. 5).

考 案

これまでに、ACM法に関する報告は散見される¹⁻³⁾。

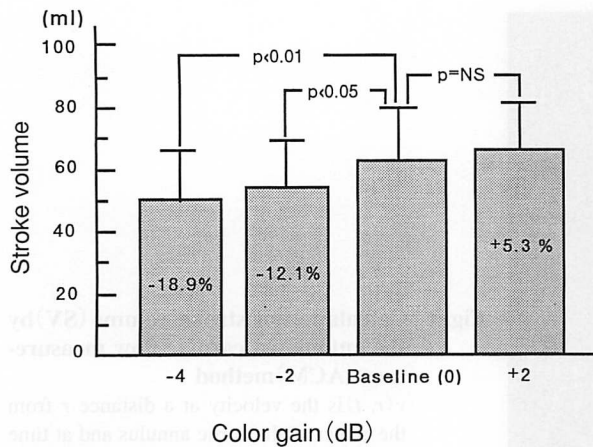


Fig. 4 Influence of color gain setting on stroke volume

しかし、本法がカラードップラー法を用いている限りは、1) 超音波発振周波数、2) アプローチ角度、3) 繰り返し周波数の設定、4) フレームレート設定、5) カラーゲイン設定、6) MTI フィルター設定など、種々の条件が計測値に影響を及ぼすことが考えられる。その中で、フレームレート設定の影響についての検討では、今回用いたフレームレート設定の変化範囲内では、平均値そのものは各フレーム間で差はなかったが、フレームレートを下げるほど1回ごとの測定値のばらつきが大きくなり、結果として標準偏差が大きかった。その理由として、フレームレートを下げることにより、駆出開始から終了までの演算フレーム数が減少し、時間分解能が悪くなるためばらつきが大きくなることが考えられた。このことより、フレームレートを下げて計測する場合は計測回数を多くする必要があり、フレームレートを上げて計測する場合は計測回数が少なくてもよいことがわかった。

カラーゲインの影響に関しては、ゲイン設定を-2dB、-4dBと順次減少させるに従い、血流は中隔壁側から流出路中央付近にかけては明るく表示されるものの、他の領域の血流表示は暗くなり、左室流出路領域での血流カラー表示範囲は全体的に小さくなった。また、ゲインを減少させたときには、駆出前半と後半にスイスチーズ様に色抜けの部分が多く出現した。これらの現象により、カラーゲインを減少させたときの値が、ベースライン設定の値に比べ過小評価されたものと考えられた。

一方、ゲイン設定を+2dB増加させたときの心尖部

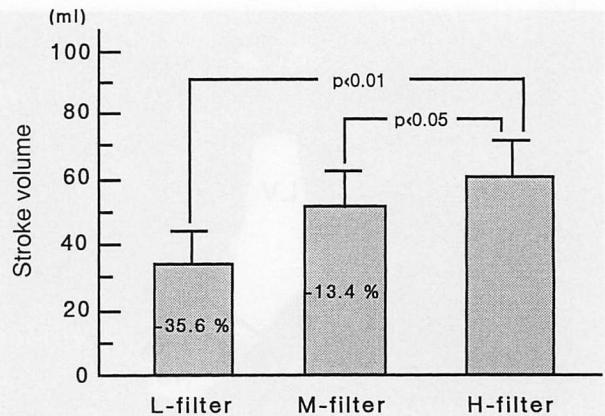


Fig. 5 Influence of filter setting on stroke volume

L- (M-, H-) filter: low- (medium-, high-) frequency moving target indicator filter.

からの左室流出路カラー画像には、拡張期カラーノイズがみられるものの、駆出期には左室流出路内はカラーノイズが表示されず、わずかに壁内にまで血流が表示される程度であった。このような画像は、ベースライン設定時の画像と大きく変わらないものとなり、このことが計測値に有意差を与えなかった理由と考えられた。本法を日常検査に使用する場合、ゲイン設定を適性ゲインから2dB程度増加させた場合の計測値はほとんど変わらないが、ゲインを減少させた場合には、計測値は有意に減少することがわかった。このことより、ゲインを減少させた状態で計測した場合には、計測値が過小評価されるため十分な注意が必要と考えられた⁵⁾。

MTI フィルターの影響に関しては、フィルター値を低くすることにより計測値は過小評価された。これは血流信号がクラッター信号の影響を大きく受けるためである。このことは、血流信号のドップラー周波数がクラッター信号に引っぱられ、低い周波数域にシフトするため血流表示が暗くなり、値が小さくなると考えられた⁶⁾。

辻野ら⁷⁾は実験系で同様の検討を行っており、今回の臨床例での検討結果は、彼らの報告とほぼ同じであった。これらのことより、ACM法を用いて再現性のよい計測値を得るには、22Hz以上のフレームレートを保ち、高周波MTIフィルターを使用して適性ゲイン設定を保持することが必要と考えられた。

結 論

ドップラー画像条件設定は、計測値に影響を与えるため重要である。

ACM法を用いて心拍出量測定を行う場合のカラー

要 約

最近、カラードップラー法を応用した新しい自動血流量計測(ACM)法が開発された。本研究の目的は、ACM法による1回拍出量の計測を行う際の機器設定が計測値に与える影響について検討することである。左室流出路断層像と血流カラー表示が良好であった連続36例(男性26例, 女性10例, 平均年齢 54 ± 8 歳)について、ACM法による心拍出量とパルス・ドップラー法による心拍出量とを比較検討した。ACM法で心拍出量を計測する際のフレームレート, カラーゲイン, 可動性標的指数(MTI)フィルター設定の影響は, 13例(男性8例, 女性5例, 平均年齢 49 ± 6 歳)について検討した。

フレームレート30Hz, 適性カラーゲイン設定, カットオフ周波数が915Hzの高周波MTIフィルター設定でのACM法とパルス・ドップラー法との間には, 良好な相関が得られた(心拍出量: $r = 0.91$, $SEE = 0.32$ l/min)。フレームレートが30, 22, 15Hzの設定でACM法を用いたときの左室1回拍出量のばらつきは, それぞれ4.4%, 5.2%, 8.6%であった。カラーゲイン設定を減少させたときの1回拍出量は, -2dBでは-12.1%, -4dBでは-18.9%と有意に減少した。一方, カラーゲイン設定を増加させたときの1回拍出量には, 有意な変化は認められなかった。カットオフ周波数が467Hz設定の低周波MTIフィルターと703Hz設定の中間波MTIフィルターを用いた場合の1回拍出量は, それぞれ-35.6%, -13.4%と有意に減少した。

このように, ACM法を用いて心拍出量測定を行う場合のカラードップラー画像の条件設定は極めて重要である。

J Cardiol 1999; 33(3): 163-167

文 献

- 1) Tsujino H, Shiki E, Hirama M, Iinuma K: Quantitative measurement of volume flow rate (cardiac output) by the multibeam Doppler method. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; **8**: 621-630
- 2) Yagi T, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Shakudo M, Takagi T, Kaji S, Kawamoto T, Ogata Y, Kawai J, Morioka S, Yoshikawa J: Automated cardiac output measurement by color Doppler echocardiography. *J Cardiol* 1998; **31**: 223-226 (in Jpn with Eng abstr)
- 3) 辻野弘行, 志岐栄一, 平間 信: カラードプラ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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Yagi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Shakudo M, Fukaya T, Maenishi F, Kato H, Jyo Y: The usefulness and limitation of power-mode imaging in two-dimensional Doppler color flow mapping. *Jpn J Med Ultrasonics* 1987; **14**: 541-546 (in Jpn with Eng abstr)
- 7) 辻野弘行, 相田 聡, 山崎延夫, 瀬尾育武: Automated cardiac flow measurement法におけるカラー画像条件設定の影響. *超音波医* 1996; **23**(Suppl II): II-284(abstr)