

経気管ドプラ法による連続的 心拍出量測定 of 臨床評価

—有用性とその限界—

森本 裕二* 大塚 浩司*
岡村 篤* 劔物 修*

要 旨

全身麻酔管理中に経気管ドプラ法 (TTD) により心拍出量 (DCO) を測定し、熱希釈法による値 (TDCO) と比較検討する事によりその有用性を検討した。

15例、166回の測定において TDCO 値と DCO 値の相関係数は0.23と低値を示した。その主要因として、超音波の入射角の設定値とのずれと、上行大動脈内径測定値の誤差の2点が考えられた。両者を補正すると相関係数は0.93と有意な相関を認めた。

また、循環動態の変動が予測される手術では、大動脈径等が変化する可能性がある。そのため手術中には大動脈径の設定変更や、適正入射角の維持のためチューブの位置変換など頻回に行う必要がある。

はじめに

超音波ドプラによる循環動態の評価は、近年ますますその応用性と実用性が高まりつつある¹⁾。なかでも超音波ドプラ法による非観血的心拍出量測定は、胸骨上窩²⁾³⁾ や食道⁴⁾⁵⁾ からアプローチする方法が開発され、すでにその有用性が確認されている。この度、チューブの先端に超音波プローブを装着した気管内チューブが開発され、気管内挿管中の患者における超音波ドプラ法 (TTD) による連続的心拍出量測定法として期待がもたれて

いる⁶⁾⁷⁾ (図1)。さらに大動脈径も同じプローブで測定できること、気管内にプローブを置くため手術操作に影響を受けにくいこと、上行大動脈を直接測定の対象にできるなどの利点を有している。そこで今回、全身麻酔管理中に本装置を用いて心拍出量を測定し、さらに熱希釈法による心拍出量測定との比較検討からその有用性について検討した。

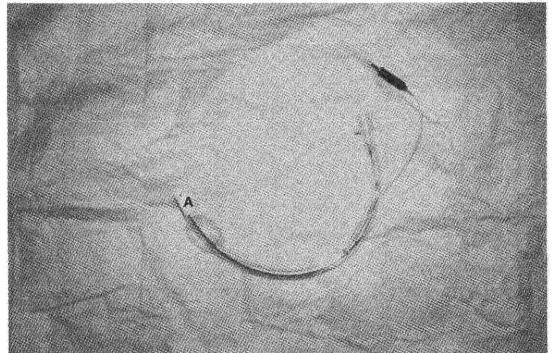


図1 経気管ドプラ用チューブ
A; ドプラプローブ

方 法

肺動脈カテーテル挿入の適応となる、腹部外科手術を予定した17人の患者 (男性9人、女性8人) を対象とした (表1)。麻酔前訪問時に、研究の目的、方法を患者に説明し、承諾を得た。麻酔前投薬は通常どおりに施行した。使用した超音波ドプラ装置は Applied Biometrics 社製 (USA), AB-COM 1® である。ドプラプローブの付いた気管

*北海道大学医学部麻酔学講座

表1 患者一覽

No	名前	性別	年齢	手術名
1	T. S.	男	70	臍頭十二指腸切除
2	H. U.	男	60	臍頭部分切除
3	T. K.	女	38	肝切除
4	K. M.	女	40	肝切除
5	T. F.	男	61	肝切除
6	N. Y.	男	63	膀胱全摘
7	E. K.	男	48	肝切除
8	K. T.	女	55	肝切除
9	T. Y.	男	66	肝切除
10	C. S.	女	66	肝切除
11	T. T.	女	69	臍頭十二指腸切除
12	S. K.	男	63	前立腺全摘
13	M. M.	女	40	肝切除
14	S. S.	男	70	臍頭十二指腸切除
15	M. M.	女	63	臍頭十二指腸切除+肝切除
16	S. K.	女	68	肝切除
17	T. I.	男	71	前立腺全摘

内チューブを挿管後、ドプラディスプレイによりチューブの位置を決めた。すなわち、プローブに対する上行大動脈血流の順流と逆流の比をチェックし、超音波の入射角度の適正性の基準となる signal quality (SQ) 値が5以上を示した位置でチューブを固定した。ついで両側均等換気を確認後、上行大動脈径測定を行った。少なくとも2回の連続した測定を行い、再現性を確認したのちに心拍出量の連続的測定を開始した。熱希釈法による心拍出量測定は内頸静脈から挿入した肺動脈カテーテルにより行った。熱希釈法による心拍出量測定は手術中随時行い、その値 (TDCO) と経気管ドプラ法による値 (DCO) を同時に記録した。TDCO 値に正確性を持たせるために測定は3回連続して行い、個々の TDCO 値がその3回の平均値の15%以内にとどまっている時のみ、値として採用した。

本法も他の超音波ドプラによる心拍出量測定と同様に血流速度と大動脈断面積径との積から、すなわち下記の式にて心拍出量が求められる。

心拍出量

$$= \text{Stroke Volume} \times \text{Heart rate (HR)}$$

$$= (D/2)\pi \times \int V dt \times \cos\theta \times \text{HR}$$

D; 大動脈内径, V; 収縮期血流速度

θ ; 血流と超音波ビームのなす角度

そのうち θ については心エコー図から求められ

た大動脈径と最も誤差の少ない角度として52.4°という値が採用されている⁷⁾。一方、測定のための SQ の最低保証値は3.5とされている。そこで、SQ が3.5以上であれば52.4°に近い入射角が常に保証されているのか、すなわち、適正 SQ 値を再検討するために、SQ の値に対する TDCO 値と DCO 値との差 (Bias) を比較検討した。

また本法では前述のように大動脈壁も同じプローブにより測定できることが特徴のひとつであるが、その精度を確認するため、6例において経皮的超音波ドプラ装置 (UltraCOM® Lawrence Medical System, USA) を用い大動脈径を測定しその値との比較検討を行った。

さらに、手術中は出血などに伴い循環系の著明な変動をきたす可能性がある。そこで TDCO 値の変動に対して、DCO 値がどの様に变化するかを検討するため TDCO 値に対する Bias を検討した。

統計学的処理は t 検定を用い、 $p < 0.05$ を推計学的有意とした。また一部においては Bland の提唱する limits of agreement を用いて検討した⁸⁾。

成績

17例のうち、1例はチューブの最適位置で片肺となり、もう1例は大動脈径の測定ができなかったため対象から除外し、15例において180回の測定値が得られた。そのうち SQ が3.5以上を示した166回の測定において、TDCO 値と DCO 値の間に有意な相関関係を認めしたが、相関係数は0.23と低値を示した (図2)。Bias の平均値 $\pm 2SD$ は -0.83 ± 5.12 (l/min) であり、limits of agree-

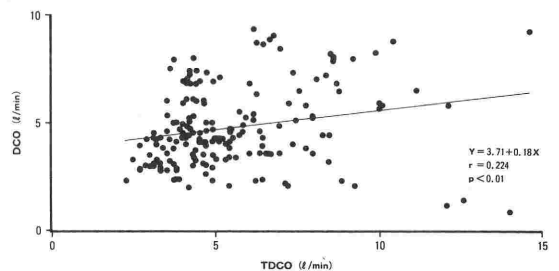


図2 経気管ドプラ法と熱希釈法による心拍出量との相関 (SQ>3.5)

DCO; 経気管ドプラ法

TDCO; 熱希釈法

SQ; Signal Quality

mentでも許容範囲外にあると判断された(図3)。

BiasとSQ値との関係では(図4)3.5以下のSQ値で急激に低下,すなわち,DCO値はTDCO値に比較し著しく低値をとった。一方,SQ値が3.5以上でもBiasは0.21の係数を持った正の傾きを示し,SQ値が10前後で負から正に転じた。そこで,SQ値が 10 ± 2 を示した46点においてDCO値とTDCO値の相関を検討した所,相関係数は0.59と増大を認めた(図5)。

経皮的超音波ドプラ装置により測定した上行大動脈内径と,経気管ドプラにより求めた内径とは最大6mmの誤差を認めた(図6)。そこで,その内径により修正したDCO値(cDCO)とTDCO値との相関関係では,相関係数0.74とな

り有意な関係を認めた(図7)。またSQが 10 ± 2 を示した時の,DCO値34個とIDCO値の相関係数は,0.93となり,高い相関を示した(図8)。Biasの平均 $\pm 2SD$ は 0.56 ± 1.80 (l/min)であり,limits of agreementでも許容範囲内と考えられた(図9)。

Biasと熱希釈法による値との関係では,負の

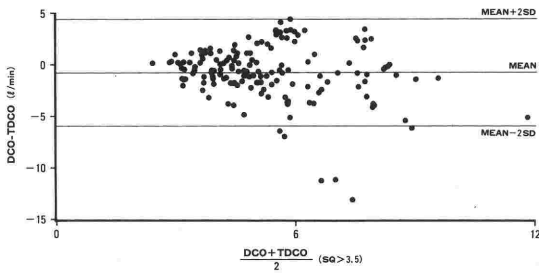


図3 DCOとTDCOの平均値とDCO-TDCOとの関係

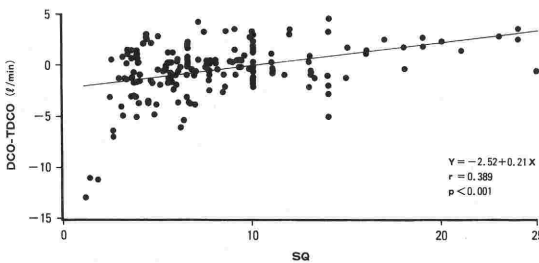


図4 SQの変化に対するDCO, TDCOの差(DCO-TDCO)との関係

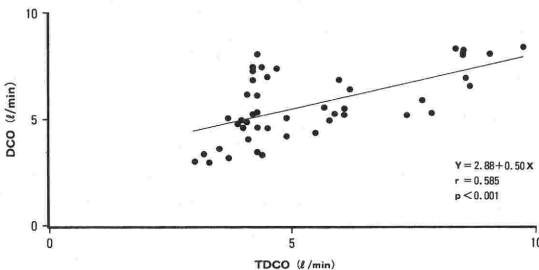


図5 $8 \leq SQ \leq 12$ におけるDCOとTDCOとの相関

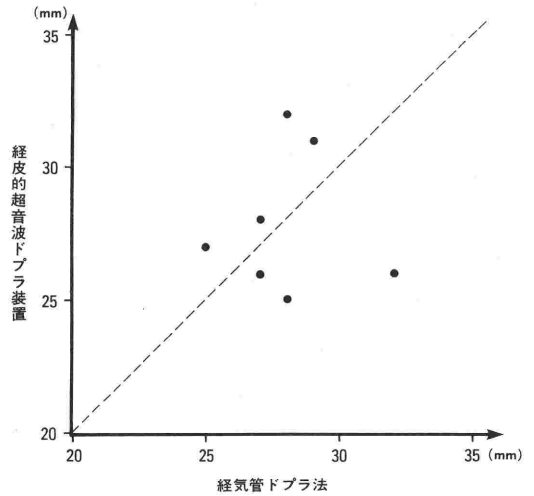


図6 経気管ドプラ法と経皮的超音波ドプラ装置による上行大動脈内径測定値の比較

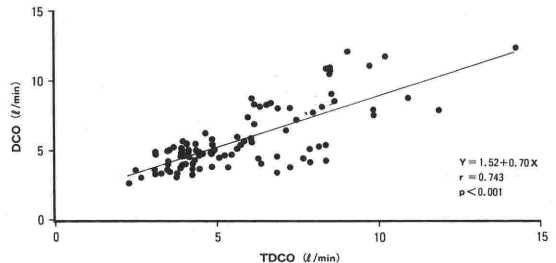


図7 大動脈経補正後のDCO(cDCO)とTDCOとの相関(SQ>3.5)

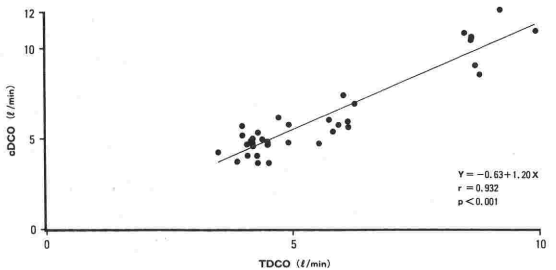


図8 $8 \leq SQ \leq 12$ におけるcDCOとTDCOとの相関

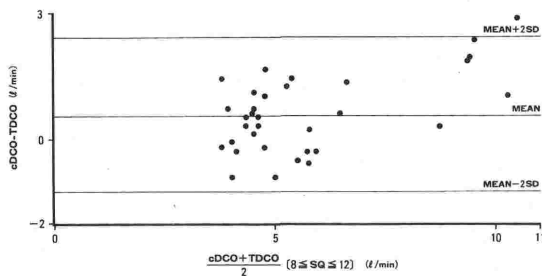


図9 $8 \leq SQ \leq 12$ の cDCO と TDCO の平均値と cDCO-TDCO との相関

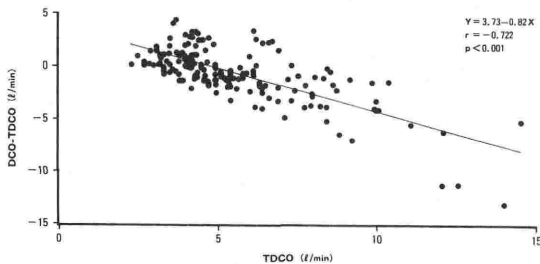


図10 TDCO の変化に対する DCO, TDCO の差との関係

相関を認めた。すなわち、TTD による値は 51/min 以下で過大評価、それ以上で過小評価されていた (図10)。

考 案

今回の検討では、DCO 値と TDCO 値の相関は低いものであった。まず、測定法における問題点のうち誤差の大きな原因となると考えられた、超音波の入射角と、上行大動脈内径測定との2点につき検討した。

入射角の適正性については SQ 値を参考に決める事となる。今回の結果を鑑みると、bias は SQ の変化に対し緩い正の傾きをもって変化している。すなわち、最低保証値とされる3.5以上であっても、SQ 値の変化によって入射角が変化するものと思われる。SQ 値が10前後で bias は負から正に転じること、 10 ± 2 の SQ 値を示した時の DCO 値と TDCO 値の相関係数は0.58と上昇することから、決められた入射角に近い状態を維持するためには、SQ 値を10前後に保つ必要があると考えられる。

一方、大動脈内径測定値についても経皮的超音波ドプラ装置の測定値と比較すると、かなりの差異がみられた。心拍出量は、大動脈内径の2乗に比

例するので、内径における 1 mm の誤差も、心拍出量としては大きな差異を生じることになる。したがって、大動脈内径の誤差は TDCO と DCO におけるも低い相関の大きな原因の一つと考えられる。内径測定時も超音波の入射角を 52.4° に設定してある。今回は SQ が5以上を示した時点で内径の測定を行ったが、10前後での時点での測定が必要であったと思われる。また気管壁、大動脈壁等による減衰や、プローブと気管壁との密着性など再検討する必要がある。

以上2つの問題を是正した場合には、すなわち SQ 値が 10 ± 2 を示し、大動脈内径を補正した時、DCO 値と TDCO 値の相関係数は0.93と高くなる。すなわち、大動脈内径測定の精度の向上、並びに測定中の SQ 値を10前後に保つことが、TTD による連続的心拍出量測定の有用性を保証するものと考えられた。

手術中は出血などに伴う循環血液量などの変動が大きく、大動脈径が変化する可能性がある。実際、イヌに急性脱血をおこし経食道的ドプラと Fick 法による心拍出量測定を比較検討した報告では、両者の心拍出量に相関性を認められていない⁹⁾。また、腹部大動脈遮断により、経食道超音波ドプラによる心拍出量の値が熱希釈法に比較して有意に減少するとも報告されている¹⁰⁾。今回の検討でも 51/min 以上では過小評価、それ以下では過大評価される傾向にあった。今回、測定開始時に大動脈径を設定したのみであったが、手術中循環動態の変動が予想される手術では、頻回な測定が必要であると思われる。

良好な SQ 値を得るためには、チューブの深さは成人男子で 24~26 cm を必要とし、通常よりも深く挿管する必要があった。一例(女性)では最適位置で片肺挿管となり測定不能であった。また、チューブを固定していても、SQ 値は刻々と変動することから、ドプラプローブの位置が時間的経過とともに変化していると考えられた。そのために SQ 値をある一定値(例えば 10 ± 2)に維持するためには、頻回なチューブの位置変換が必要となる。

結 語

TTD による連続的心拍出量測定の有用性は上行大動脈径測定の精度を高めることと、測定中

SQ 値を10前後に保つことにより充分期待できるものと思われた。また、循環動態の変動が予想される手術では、大動脈径の設定の変更やチューブの位置変換など頻回に行う必要があると思われた。

(本論文の要旨は第11回日本循環制御医学会総会(札幌市)にて発表した。)

引用文献

- 1) 北畑 洋, 丘 ヤス: 心臓血管系の超音波ドプラ法「経食道カラードプラ心エコーの術中応用」. 循環制御 11: 31~35, 1990.
- 2) Hoenecke, H. R., Goldberg, S. J., Carnahan, Y., et al.: Controlled quantitative assessment of pulmonary and aortic flow by range gated pulsed doppler in children with cardiac disease. *Circulation* 64: IV 167, 1981.
- 3) Berman Jr. W., Eldridge, M., Yabek, S., et al.: Pulsed doppler determination of cardiac output in neonates and children. *Circulation* 64: IV 617, 1981.
- 4) Freund, P. R.: Transesophageal doppler scanning versus thermodilution during general anesthesia. *Am J Surg* 153: 490~494, 1987.
- 5) Ueda, M., Yokota, S., Nakata, F., et al.: Clinical evaluation of esophageal Doppler cardiac output measurement during general anesthesia. *J Anesth* 3: 178~182, 1989.
- 6) Abrams, J. H., Weber, R. E., Holmen, K. D.: Transtracheal doppler: A new procedure for continuous cardiac output measurement. *Anesthesiology* 70: 134~138, 1989.
- 7) Abrams, J. H., Weber, R. E., Holmen, K. D.: Continuous cardiac output determination using transtracheal doppler: Initial results in humans. *Anesthesiology* 71: 11~15, 1989.
- 8) Bland, J. M., Altman, D. G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307~310, 1986.
- 9) Kamal, G. D., Symreng, T., Starr, J.: Inconsistent esophageal doppler cardiac output during acute blood loss. *Anesthesiology* 72: 95~99, 1990.
- 10) 高木 治, 北村 豊, 畔 政和: 経食道超音波ドプラによる心拍出量値に対する腹部大動脈遮断の影響. 臨床麻酔 14: 626~628, 1990.

Efficacy of continuous cardiac output measurement with transtracheal Doppler in clinical settings

Yuji Morimoto, Koji Otsuka,
Atsushi Okamura and Osamu Kemmotsu

Department of Anesthesiology, Hokkaido University School of
Medicine, North-15 West-7, Kita-ku, Sapporo, 060, Japan

The accuracy of cardiac output measurement with transtracheal Doppler (TTD) was evaluated in 17 patients scheduled for abdominal surgery under general anesthesia after institutional approval and informed consent.

A total of 180 paired values of cardiac outputs obtained by TTD (DCO) and themodilution method (TDCO) were compared in 15 patients. In remaining 2 patients, DCO was not measured since one was due to one lung intubation at the best point, and the diameter of the aorta could not be measured in another. The initial regression coefficient was 0.23 between DCO and TDCO. It was speculated that two points were critical for this low co-efficient, which were the

error of angle of ultrasound beam against established angle (52.4°) and the error of the aortic diameter measured by TTD. The coefficient was improved to 0.93 after correction of these two points.

Our results also indicates that the values of DCO are overestimated above 5l/min by TDCO and underestimated below 5l/min. This suggests that the diameter of the aorta might change in proportion to the hemodynamic changes during the procedure. Therefore, the frequent correction of the aortic diameter will be needed with repositioning of an endtracheal tube in order to make this method feasible to use in clinical settings.

Key words: cardiac output measurement, transtracheal doppler