

原 著

経食道的超音波ドップラー法と熱希釈法を用いた開心術麻酔時の心拍出量の検討

横川 すみれ*

要 旨

経食道的超音波ドップラー心拍出量計と肺動脈カテーテルを用いた熱希釈法による心拍出量を同時測定し、開心術患者において比較検討した。対象は大動脈弁置換術、僧帽弁置換術、および冠動脈再建術をうけた患者で、総症例は20例で、麻酔導入直後より測定を開始した。心拍出量は大動脈弁置換術群と僧帽弁置換術群では体外循環前と後で両法間に有意差 ($p < 0.01$) を認めたが冠動脈再建術群では認めなかった。弁置換術症例では体外循環前は熱希釈法が低値を示す傾向があり、体外循環後は熱希釈法と経食道的超音波ドップラー心拍出量計はほぼ等しい心拍出量値を示した。冠動脈再建術群では心内血行動態に変化がないため体外循環前と後共に両法による心拍出量が高い相関を示したと思われる。

緒 言

近年、非観血的心循環系モニタリングの一つとして経食道的超音波ドップラー心拍出量計 (Lawrence 社製 Lawrence 3000, 以下L法) が用いられ、その有用性が報告されている¹⁾⁻³⁾。本装置は心拍出量 (CO), 心係数, 平均末梢血管抵抗 (SVR, $\text{Kilodynes} \times \text{sec}/\text{cm}^5$), を DISPLAY する本体と、CO 測定のための胸骨上切痕プローベ及び、食道内プローベで構成される。経口的に挿入した食道プローベで超音波ドップラーにより下行大動脈の血流速度を測定し、患者の年齢、性別、身長、

体重より Nomogram を用いて求められた大動脈の断面積と血流速度の積分より一回拍出量 (SV) を算出し、CO を算出する (図1)。さらに平均動脈圧 (MAP) と中心静脈圧 (CVP) をインプットすることにより SVR を次式より算出する。

$$\text{SVR} = 80(\text{MAP} - \text{CVP}) / \text{CO}$$

今回心血管疾患の麻酔に於て非観血的モニターであるL法と観血的モニターである肺動脈カテーテル (SG カテーテル) を用いた熱希釈法 (以下SG-TD法) によるCOを同時測定し、その結果を開心術患者において比較検討し、さらに両法の利点および問題点について検討した。

対象と方法

対象症例の総数は20症例で、そのうち大動脈弁置換術 (AVR) 7症例の測定点は、体外循環 (CPB) 前39ポイント、後39ポイント、僧帽弁置換術 (MVR) 6症例の測定点は、CPB 前34ポイント、後38ポイント、冠動脈再建術 (CABG) 7症例の測定点は、CPB 前48ポイント、後40ポイント

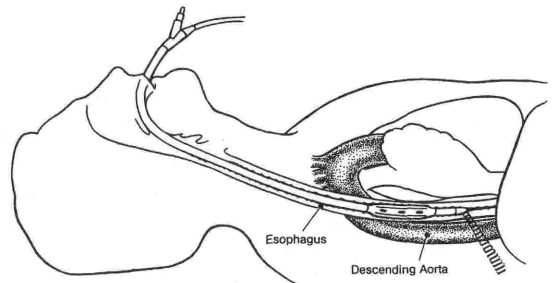


図1 食道プローベ挿入位置

*東京女子医科大学麻酔学教室 (主任: 藤田昌雄教授)

表1 対象症例の一覧

	AVR	MVR	CABG
AGE (yr)	47.7±3.7	54.0±3.9	60.6±4.2
SEX (M/F)	5/2	3/3	7/0
Height (cm)	157.8±6.4	159.6±4.2	163.3±2.3
B. W. (kg)	55.1±6.5	53.1±4.3	68.5±1.3
B. S. A. (m ²)	1.48±0.13	1.55±0.08	1.70±0.03
C. O. (l/min)	5.87±0.92	4.30±0.59	5.02±0.21
C. I. (l/min/m ²)	3.84±0.55	2.77±0.26	2.98±0.22
MPAP (mmHg)	18.6±2.34	22.2±4.77	13.4±0.24
PCWP (mmHg)	12.9±2.9	14.1±3.3	6.6±0.7
LVEF (%)	43.7±4.7	60.1±2.7	57.1±7.2

数値は平均±標準誤差で示す

B. S. A.: Body surface area

C. O.: Cardiac output

C. I.: Cardiac index

MPAP: Mean pulmonary artery pressure

PCWP: Pulmonary capillary wedge pressure

LVEF: Left ventricular ejection fraction

トである。各群間の背景因子を表1に示すが、群間に有意差はみられなかった(表1)。全身麻酔導入前に7.5 FrのSGカテーテルを右内頸静脈より挿入し、SG-TD法によるCO測定を行った。同時に胸骨上切痕プローベを用いたCO測定を行い、L法の較正值とした。胸骨上切痕プローベは

胸骨上切痕より上行大動脈の血流速度を測定するもので、COは食道プローベの場合と同様の方法で求められる。食道プローベでのCO測定開始前の較正方法には、胸骨上切痕プローベにより測定したCOを用いる方法と、SG-TD法等で得たCOをインプットする方法がある。今回はSG-TD法との比較検討であるため前者を用いた。麻酔導入は各群ともフェンタニール20~30 mcg/kg、ジアゼパム0.05~0.2 mg/kg、パנקロニウム0.1 mg/kgで行った。気管内挿管後食道プローベを経口的に挿入し、食道下部1/3(口角より35~40 cm)に留置した。プローベの適正位置を知るものとしてシグナルレベルが使用される。これは食道プローベ、胸骨上切痕プローベ共にドップラーシグナルの強さをあらわし0~100で示す。今回はシグナルレベルが65以上となるようにプローベの位置の調整を行なった。体位変換や手術操作によりシグナルレベルが低下した時も適宜その位置を調整した。麻酔導入後両法によるCOの同時測定を開始し、CPB前後に於ける測定値を比較検討した。SG-TD法によるCO測定では0°C 5%ブドウ糖液10 mlの2回注入による測定結果の平均値を用いた。測定値は平均±標準誤差で示し、各疾患に於けるCPB前後のCOの比較並びに各群間の平均肺動脈圧(PAP)とSVRの比較にはunpaired t検定を用い、p<0.01あるいはp<0.05をもって有意差ありとした。

Aortic Valve Replacement

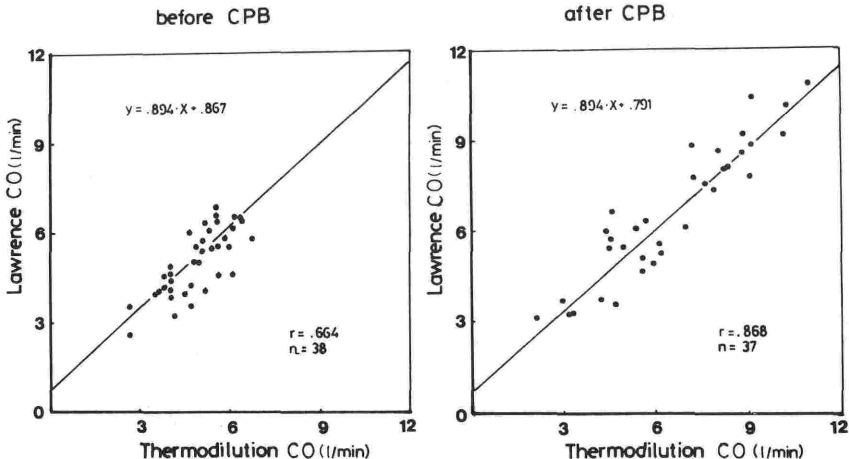


図2 大動脈弁置換術群における経食道的超音波ドップラー法による心拍出量と熱希釈法による心拍出量との相関

結 果

AVR 群に於て、L法と SG-TD 法による CO の相関係数は CPB 前が 0.664 (p<0.01), 後は 0.868 (p<0.01)であり、回帰直線は各々 $y=0.894x+0.867$, $y=0.894x+0.791$ が得られた(図 2)。CO は L法では CPB 前が 5.49 ± 0.23 l/min, 後は 6.94 ± 0.30 l/min, SG-TD 法では前が 4.89 ± 0.15 l/min, 後は 6.54 ± 0.33 l/min であり、L法及び SG-TD 法による CPB 前と後の

表 2 各疾患群の CO (l/min)

	CO 測定法	CPB 前	CPB 後	P value
AVR	L 法	5.49 ± 0.23	6.94 ± 0.30	p<0.01
	SG-TD 法	4.89 ± 0.15	6.54 ± 0.33	p<0.01
MVR	L 法	4.06 ± 0.15	5.00 ± 0.12	p<0.01
	SG-TD 法	3.23 ± 0.20	5.30 ± 0.11	p<0.01
CABG	L 法	3.93 ± 0.14	4.38 ± 0.18	n. s.
	SG-TD 法	3.44 ± 0.15	4.50 ± 0.20	n. s.

数値は平均±標準誤差で示す

Mitral Valve Replacement

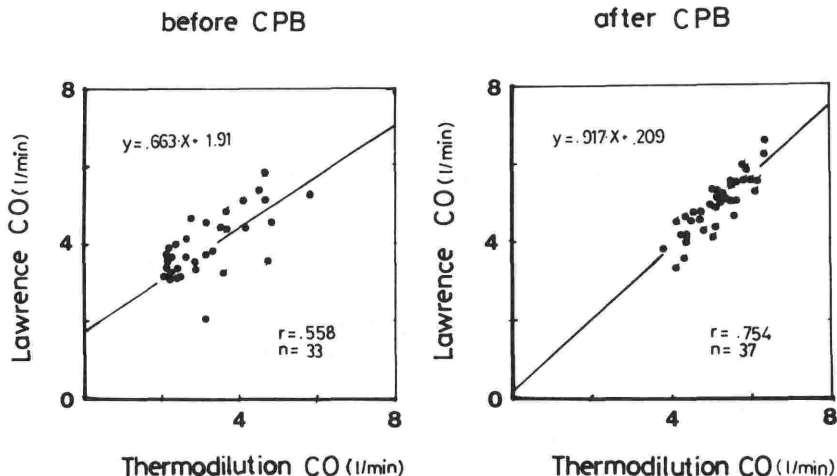


図 3 僧帽弁置換術群における経食道的超音波ドップラー法による心拍出量と熱希釈法による心拍出量との相関

Coronary artery bypass graft

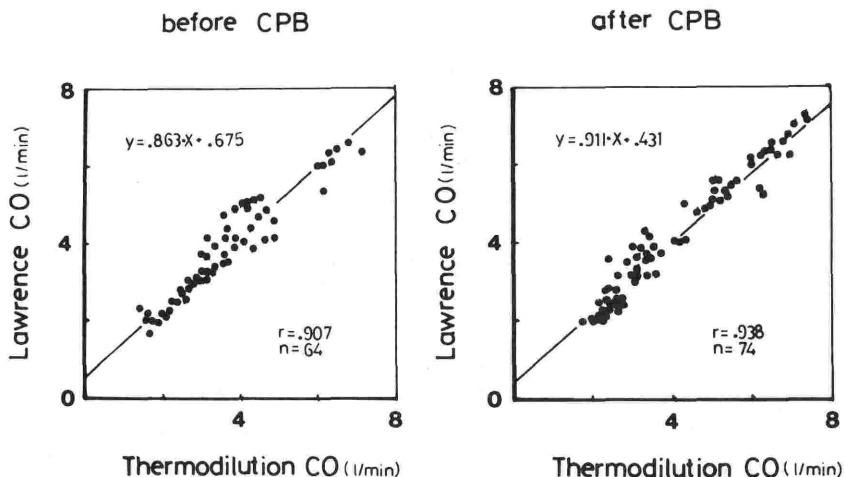


図 4 冠動脈再建術群における経食道的超音波ドップラー法による心拍出量と熱希釈法による心拍出量との相関

CO に有意差 ($p<0.01$) を認めた (表2).

MVR 群に於てL法と SG-TD 法による CO の相関係数は CPB 前が 0.558 ($p<0.01$), 後は 0.754 ($p<0.01$) であり, 回帰直線は各々 $y=0.633x+1.911$, $y=0.917x+0.209$ が得られた(図3). CO はL法では CPB 前が 4.06 ± 0.15 l/min, 後は 5.00 ± 0.12 l/min, SG-TD 法では前が 3.23 ± 0.20 l/min, 後は 5.30 ± 0.11 l/min であり, L法及び SG-TD 法による CPB 前と後の CO に有意差 ($p<0.01$) を認めた (表2).

CABG 群に於て, L法と SG-TD 法による CO の相関係数は CPB 前が 0.907 ($p<0.01$), 後は 0.938 ($p<0.01$) であり, 回帰直線は各々 $y=0.863x+0.675$, $y=0.911x+0.431$ が得られた(図4). CO はL法では CPB 前が 3.93 ± 0.14 l/min, 後は 4.38 ± 0.18 l/min, SG-TD 法では前が 3.44 ± 0.15 l/min, 後は 4.50 ± 0.20 l/min であり, L法及び SG-TD 法による CPB 前と後の CO に有意差 ($p<0.01$) を認めなかった (表2).

各群に於ける PAP 値と SVR 値は次のごとくであった (表3).

- 1) AVR 群に於て, PAP は CPB 前が 17.0 ± 1.16 mmHg, 後は 13.28 ± 0.58 mmHg, SVR は CPB 前が 1.43 ± 0.06 Kilodynes \times sec/cm⁵, 後は 1.25 ± 0.07 Kilodynes \times sec/cm⁵ であった.
- 2) MVR 群に於て, PAP は CPB 前が 22.2 ± 1.37 mmHg, 後は 16.21 ± 0.40 mmHg, SVR は CPB 前が 1.72 ± 0.06 Kilodynes \times sec/cm⁵, 後は 1.07 ± 0.03 Kilodynes \times sec/cm⁵ であった.
- 3) CABG 群に於て, PAP は CPB 前が 14.20 ± 0.51 mmHg, 後は 17.69 ± 0.51 mmHg, SVR は CPB 前が 1.61 ± 0.05 Kilodynes \times sec/cm⁵

cm⁵, 後は 1.72 ± 0.049 Kilodynes \times sec/cm⁵ であった.

4) PAP は CPB 前値で, MVR 群と CABG 群間, AVR 群と CABG 群間, MVR 群と AVR 群間の各々に於て有意差 ($p<0.05$) を認めた.

5) SVR は CPB 前値で, MVR 群と AVR 群間に, CPB 後では, MVR 群と CABG 群間, 及び AVR 群と CABG 群間において有意差 ($p<0.01$) を認めた.

考 察

SG カテーテルから得られる多くの血行動態の情報は麻酔中や重症患者の循環呼吸管理には非常に有用であり, 臨床で広く使用されている.

SG カテーテルとL法を比較すると SG カテーテルの利点は, CO 以外に PAP, 肺動脈楔入圧, 右房圧, 混合静脈血酸素含量等が測定できることである. しかし SG-TD 法の問題点としては, 1) 観血的操作であるため動脈穿刺, 気胸, 神経損傷, 不整脈, 血栓形成, 肺梗塞, 肺動脈損傷等合併症を考慮するときその手技に熟練を要する⁴⁾, 2) CO 測定値は注入冷却液の温度, 容量, 注入のタイミング (呼吸相との関係), 注入様式 (用手法に於ける測定操作の不均一性) 等に影響を受ける. また冷却液注入後に心拍数の減少とそれに伴う肺動脈血流変化等の循環変動が起こり, この変動の程度は投与された冷却液の温度かつ容量に依存する, 3) 心内シャントや弁疾患に於ける弁の狭窄の程度や, 逆流の影響を受ける⁵⁾, 4) 1心拍毎に SV が変動し, かつ各心拍間隔が変動する心房細動時は測定値が一定ではない, 5) 低圧系での測定であるため, 開胸や心膜切開等の手術操作の影

表3 各疾患群の MPAP (mmHg) と SVR (Kilodynes \times sec/cm⁵)

		各 疾 患 群			P value		
		AVR	MVR	CABG	AVR vs CABG	MVR vs CABG	AVR vs MVR
MPAP	CPB 前	17.0 \pm 1.16	22.2 \pm 1.37	14.20 \pm 0.51	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	CPB 後	13.28 \pm 0.58	16.21 \pm 0.40	17.69 \pm 0.51	n. s.	n. s.	n. s.
SVR	CPB 前	1.43 \pm 0.06	1.72 \pm 0.06	1.61 \pm 0.05	n. s.	p<0.01	n. s.
	CPB 後	1.25 \pm 0.07	1.07 \pm 0.03	1.72 \pm 0.049	p<0.01	p<0.01	n. s.

数値は平均 \pm 標準誤差で示す

MPAP: Mean pulmonary artery pressure

SVR: Systemic vascular resistance

響を受けやすい、6) 電気メス作動時に測定が困難になる、等の点が挙げられる。L法の利点として、非観血的であり合併症が少なく、測定手技並びに経時的測定が容易であること^{2),3)}、又、シグナルレベルを一定値以上に保つことにより、信頼性のある測定値が得られることなどがある。他方、問題点として1心拍毎のSVと過去4心拍の平均HRを用いてCOを算出するため、心房細動時は1心拍毎にSVが変動し、各心拍間隔が変動する結果、一定の測定値が得られない。そして、電気メス作動時に測定が困難になること、大動脈内バルーンポンピング作動中は心拍数を倍測定することがある、等の点が挙げられる。

非心疾患症例並びにCABG症例においてL法とSG-TD法によるCOは高い相関を認める報告がされている^{6),7)}。我々の結果ではAVR症例並びにMVR症例に於てL法とSG-TD法によるCPB前後におけるCO相関係数に有意の差を認めた。これら弁置換術症例が、CABG症例と異なる点は心内血行動態に異常が存在することである。それは、弁の逆流の程度、狭窄の程度によりPAP及びSVR等が影響を受け、この結果左右の心内血行動態に違いが生じていることが原因であると考えられる。このことは、PAPはCPB前では、AVR群とCABG群間、MVR群とCABG群間、AVR群とMVR群間に於て有意差($p<0.05$)を認め、SVRはCPB前では、MVR群とCABG群間、CPB後では、AVR群とCABG群間、MVR群とCABG群間に於て有意差($p<0.01$)を認めたことから推測できる(表3)。SG-TD法によるCOは右心系CO、L法によるCOは左心系COであるから、弁置換術症例特にMVRに於てCPB前は右心系COが、左心系COより低値を示す傾向が認められた。しかし、CPB後はSG-TD法によるCOは増加して、L法によるCO測定結果とほぼ等しい値が得られた(表2)。CABG症例では、心内血行動態に変化がないことによりCPB前と後共にSG-TD法によるCOとL法によるCOが高い相関を示していると思われる。また、CPB後のCOはCPB前に比べ全症例に於て増加傾向が認められたが、これは外科的修復の結果とカテコラミン等の心血管作動薬使用による影響や、CPBによる血液希釈等の影響によるものと考えられる。これらの諸

条件を考慮すると、心内血行動態に変化がある場合右心系と左心系のパフォーマンスに格差が生じるため、両法による計測CO値の間の相関性が低下すると推測される。よって心内血行動態に変化の生じる症例に於てはSG-TD法による心拍量計測結果のみでの心機能の評価は正確な心機能の把握に誤りを生じる危険性があると考えられる。

前述のごとくSG-TD法とL法によるCOは高い相関を示すと報告されているが、HRが120bpm以上の洞性頻脈、5bpm以上の期外収縮、多源性洞性頻拍そして心房細動等の不整脈が存在するとSG-TD法とL法によるCOの相関性が低くなるという報告もある⁸⁾。

L法の問題点として、Nomogramを用いて求められた上行大動脈の横断面積が必ずしも実際の横断面積と一致しないこと、又、収縮期圧80mmHg以下になると大動脈横断面積は減少傾向にあり、Nomogramにより求められた横断面積との間に差を生じ、L法によるCOと実際のCOの間に違いが生じる。また、大量出血等急激な血圧の変動により横断面積が変化し一定ではないこと、大動脈遮断解除後の大動脈断面積決定方法^{9),10)}、血管拡張薬投与時の末梢血管抵抗低下による上行大動脈と下行大動脈の血流速度比の変化³⁾等がある。食道内プローベを用いて下行大動脈の血流速度測定を行った場合、弓部よりの頭部及び上肢への分布血流量をどう捉えるか、等今後検討する必要がある。

結 語

- 1) L法とSG-TD法によるCOを、心血管手術の麻酔管理に於て同時測定しその結果を疾患別に比較検討した。
- 2) 開胸中のCOはSG-TD法に於て測定値にばらつきが多いが、L法ではシグナルレベルの調整によって信頼性の高い値が得られた。
- 3) COはCABG症例に於てCPB前と後に於て両法の値に有意差を認めなかったが、弁置換術症例に於てCPB前と後の両法の値に有意差($p<0.01$)を認めた。PAPはCPB前で、AVR群とCABG群間、MVR群とCABG群間、AVR群とMVR群間に於て有意差($p<0.05$)を認め、SVRはCPB前で、MVR群とCABG群間、CPB後では、AVR群とCABG

群間, MVR 群と CABG 群間に於て有意差 ($p < 0.01$) を認めた. PAP と SVR は各疾患群間に於て有意差 ($p < 0.01$ または $p < 0.05$) を認めた.

- 4) 心内血行動態が外科的修復によって変化の生じる症例に於ては, SG-TD 法あるいはL法単独の CO のみでの心機能の評価は正確性に乏しいと考えられた.

文 献

1) Mark, J. B., Steinbrook, R. A., Gugino, L. D. et al.: Continuons noninvasive monitoring of cardiac output with esophageal doppler ultrasound during cardiac surgery. *Anesth. Analg.* 65:1013-1020, 1986.
 2) Thys, D. M. & Hillel, Z.: Left ventricular performance indices by transesophageal doppler. *Anesthesiology*. 69:728-737, 1988.
 3) 高木 治, 奥村福一郎: 食道内ドップラー法による連続的心拍出量モニターの検討. *臨床麻酔* 13: 1203-1206, 1989.

4) 西川俊昭, 土肥修治: スワンガンツカテーテル使用時の合併症と測定上の諸問題. 1. カテーテル挿入, 留置による合併症. *呼と循* 37: 603-615, 1989.
 5) 西川俊昭, 土肥修治: スワンガンツカテーテル使用時の合併症と測定上の諸問題. 2. 測定上の諸問題. *呼と循* 37: 835-843, 1989.
 6) Freund, P. R.: Transesophageal doppler scanning versus thermodilution during general anesthesia. *Amer. J. Surg.* 153:490-494, 1987.
 7) Singer, M., Clarke, J. & Bennett, E. D.: Continuous hemodynamic monitoring by esophageal doppler. *Critical Care Medicine*. 17:447-452, 1989.
 8) Weidoff, P. M., Wong, D. H., Tremper, K. K. et al.: Non-invasive cardiac output: effect of heart rate and rhythm on measurement. *Anesthesiology*. 69:A235, 1988.
 9) Huntsman, L. L., Stewart, D. K., Barnes, S. R. et al.: Noninvasive doppler determination of cardiac output in man. Clinical validation. *Circulation*. 67:593-602, 1983.
 10) Hillel, Z., Zane, E. & Thys, D.: Systemic arterial blood pressure influences the cross-sectional area of the descending thoracic aorta. *Anesthesiology*. 69:A11, 1988.

Clinical evaluation of two methods for cardiac output measurements during cardiovascular anesthesia

—Transesophageal doppler ultrasound and
 Thermodilution method by Swan-Gantz catheter—

Sumire Yokokawa

Department of Anesthesiology (Director: Prot. Masao FUJITA)
 Tokyo Women's Medical College

Cardiac output (CO) with transesophageal doppler ultrasound method by Lawrence 3000 (L), and thermodilution method (TD) by Swan-Gantz catheter were compared during cardiac anesthesia. Patients were anesthetized with fentanyl-diazepam-O₂ or air. Total 20 patients subjected to this study were divided into 3 groups, 7 patients underwent mitral valve replacement (MVR), 6 patients aortic valve replacement (AVR) and 7 patients coronary artery bypassgrafting (CABG). Measurements of CO were performed randomly before and after cardiopulmonary bypass (CPB). The

results were statically analyzed by unpaired-t-test and $p < 0.05$ or $p < 0.01$ was considered significant. Although CO measured by L and TD were significantly different ($p < 0.05$) before and after CPB in AVR and MVR, there were no difference before and after CPB in CABG. In AVR and MVR, CO measured by TD was lower than that measured by L before CPB. However, there was no significant difference after CPB. There was a good correlation between L and TD in CABG before and after CPB.