パルス式色素希釈法による心拍出量，循環血液量 測定精度ならびに開心術後管理

浜田良宏 山本哲也 中田達広 加洲保明
渡部祐司 吉川浩之 河内寛治

パルス式色素希釈法にて心拍出量，循環血液量(BV)を測定できる DDG-2001 を使用し，術前後に心係数(CI)，BV を測定し，その精度を検定した。さらに術後管理における意義について検討した。開心術 14 例を対象に，DDG-2001 により，人工心肺前，手術終了直後，4 時間後，12 時間後に CI，BV を測定した。CI は熱希釈法と比較し，BV は人工心肺開始前後に測定したヘモグロビン値と充填量から計算した値と比較した。CI；相関係数 0.77，回帰直線の傾き 0.849，BV；相関係数 0.821，傾きは 0.844 であった。手術終了時 BV は低下していたが，4 時間後，12 時間後 BV は増加した。しかし，体液バランスは負であった。パルス式色素希釈法による CI，BV は他の方法による値と良好な相関があった。術直後 BV は低下しており，その後，体液バランスは負であったが，BV は増加した。日心外会誌 29 巻 3 号：156-160 (2000)

Keywords：循環血液量，パルス式色素希釈法，開心術

Accuracy of Measurement of Cardiac Output and Circulating Blood Volume Levels by Pulse Dye Densitometry, and Postoperative Management of the Open Heart Surgery

Yoshihiro Hamada, Tetsuya Yamamoto, Tatsuhiro Nakata, Yasuaki Kashu, Yuji Watanabe, Hiroyuki Kikkawa and Kanji Kawachi (Department of Surgery II, Ehime University School of Medicine, Ehime, Japan)

Using the DDG-2001 pulse dye densitometer, cardiac output (CO) and circulating blood volume (BV) were determined before and after the operation, and its accuracy and the significance of postoperative management were studied. Referring to 14 cases undergoing open heart surgery, CO and BV were determined using the DDG-2001 before application of the cardiopulmonary bypass and immediately, 4 h and 12 h after the operation. The level of CO was compared with that determined by the thermodilution method, and the level of BV with that calculated from hemoglobin levels determined before and after the cardiopulmonary bypass application and the priming volume in the circuit. Further, body fluid balance after the operation was calculated, and its relation to BV was studied. As to the correlation coefficient and inclination of the regression line, they were 0.77 and 0.849 with CO, and 0.821 and 0.844 with BV, respectively. Upon completion of the operation BV decreased, but increased again 4 h and 12 h later, although the body fluid balance was negative. CO and BV determined by the pulse dye densitometry favorably correlated with those determined by other methods. Immediately after the operation BV decreased, but then increased in the course of time, although the body fluid balance was negative. Jpn. J. Cardiovasc. Surg. 29: 156-160 (2000)

開心術後の循環管理を行ううえで動脈圧，肺動脈圧，心拍出量を知ることが現在では不可欠である。さらに循環血液量を知ることができれば術後管理のうえで有意義な指標となりうることが期待される。パルスオキシメトリーの原理を用いて

血液中のインドシアニングリーン (ICG) 濃度を容易に無侵襲に連続測定し，心拍出量，循環血液量を測定できるパルス式色素濃度解析装置 (DDG-2001, 日本光電社) を使用して，成人開心術前後に心係数，循環血液量を測定した。また，他の方法により心係数，循環血液量を測定し，パルス式色素希釈法による心係数，循環血液量と比較し，その精度について検討した。また，

成人開心術前後に測定した循環血液量が、術後管理上でどのような臨床的意義をもつかについて検討した。

対象と方法

インフォームドコンセントの得られた成人予定開心術症例 14 例を対象とした。年齢は 50～73 歳，男女比 9：5，手術術式は冠状動脈バイパス術 6 例，弁置換術 8 例であった。人工心肺は最低直腸温 32℃の軽度低体温とし，無血充填にて行った。灌流量は 2.3 l/min/m² で開始し，灌流圧に応じて適時減じた。人工心肺離脱後は右房圧，肺動脈楔入圧，心係数を指標として，輸液あるいは輸血を行い，適宜カテコーラミンを使用した。

1. 心 係 数

麻酔導入後スワンガンツ CCO サーモダイリレーションカテーテル (744 HF 75, Baxter 社) を右内頸静脈より挿入し，人工心肺前，手術終了時，手術終了 4 時間後，12 時間後に連続心拍出量測定装置 (Edwards critical care vigilance, Baxter 社) にて心係数を記録した。同時に血行動態 (心拍数，平均動脈圧，平均肺動脈圧，右房圧，肺動脈楔入圧) を記録した。また，パルス式色素希釈法による心係数は，中心静脈より ICG (第一製薬) 10 mg を静注し，プローベは示指もしくは鼻翼のより脈波をひろいやすいように装着し測定した。熱希釈法による心係数測定と同時期に測定，記録した。

2. 循環血液量

同様の方法にてパルス式色素希釈法による循環血液量を人工心肺開始前，手術終了時，手術終了 4 時間後，12 時間後に測定した。また，人工心肺開始前に動脈採血を行い，ヘモグロビン (Hb) を ABL 505 (Radiometer 社，Denmark) にて測定，人工心肺開始直後にも再度 Hb を測定し，人工心肺回路の充填量から以下の式により循環血液量を計算し，DDG-2001 にて測定した人工心肺前の循環血液量と比較検討した。

$$\begin{aligned} & \text{循環血液量} \times \text{人工心肺開始前 Hb} \\ &= (\text{循環血液量} + \text{人工心肺充填量}) \\ & \times \text{人工心肺開始後 Hb} \end{aligned}$$

3. 循環血液量測定による術後管理

人工心肺前，手術終了時，手術終了 4 時間後，12 時間後にパルス式色素希釈法にて測定し検討した。また，手術終了直後から 4 時間後まで，手術終了直後から 12 時間後までの出血量，尿量を含む体重あたりの総体液バランスを次式により算出し，循環血液量との関連について検討した。

総体液バランス

$$\begin{aligned} &= (\text{輸液量} + \text{輸血量} - \text{尿量} \\ & \quad - \text{ドレーン排液量}) / \text{体重 (kg)} \end{aligned}$$

統計：各測定値は平均±標準偏差で表した。精度の検定には統計ソフト STAT VIEW Ver. 5.0 (SAS Institute Inc.) を用いて相関関係の検定にはピアソンの相関係数 (Pearson's correlation coefficient) を，回帰関数は直線回帰分析 (simple regression) を，体液バランスの検定にはウィルコクソン符号付順位和検定 (Wilcoxon signed-ranks test) を使用した。各血行動態値および循環血液量の検定には統計ソフト super ANOVA (Abacus Concepts, Inc.) を用いて，repeated measure ANOVA を行ったあと Contrast を使用し， $p < 0.05$ を有意差ありとした。

結 果

1 例において人工心肺開始前に末梢循環不全が原因と思われるパルス検出不能例があり，その症例での測定継続を断念した。他の 13 例では全経過を通じて測定し得た。また，ICG 静注による副作用もなかった (表 1)。

表 1

年齢 (歳)	65±7
性別 (男：女)	9：5
体重 (kg)	61±10
人工心肺時間 (分)	144±39
大動脈遮断時間 (分)	97.5±29
手術術式	
CABG	6
AVR	3
MVR	1
MVR+TAP	3

CABG：冠状動脈バイパス術，AVR：大動脈弁置換術，MVR：僧帽弁置換術，TAP：三尖弁形成術。

図1 熱希釈法による心係数との比較

図2 人工心肺開始前後のヘモグロビン値による循環血液量との比較

図3 循環血液量の推移

人工心肺前に比べ、手術終了直後循環血液量は減少していた。* $p < 0.01$ 。

1. 心 係 数

13例に対して52ポイントで測定した。また、熱希釈法による心係数をX軸、DDG-2001による心係数をY軸とする回帰直線は、 $Y = 0.849 X$

図4 体液バランスの推移

手術終了～4時間後、手術終了～12時間後、ともにマイナスバランスであった。* $p < 0.05$ 。

+0.012であり、若干、DDG-2001による心係数が低い傾向が見られた(図1)。しかし、相関係数は0.77で良好な相関を認めた($p < 0.0001$)。

2. 循環血液量

パルス式色素希釈法による循環血液量と人工心肺前後のHb値から計算した相関係数は0.821で良好な相関を認めた($p = 0.0006$)。また、DDG-2001による循環血液量をX軸、Hbによる計算値をY軸とする回帰直線は、 $Y = 0.844 X + 7.846$ であった(図2)。

3. 開心術後後管理

手術終了時、循環血液量は人工心肺開始前に比し、低下した(図3)。右房圧、肺動脈楔入圧は低下傾向にあったが、有意差はなかった(表2)。4時間後、12時間後循環血液量は増加した。しかし、循環血液量の増加にもかかわらず、手術直後から4時間後まで、手術直後から12時間後までの総体液バランスはマイナスであった(図4)。

考 察

パルス式色素希釈法は特別なカテーテルも必要とせず、示指あるいは鼻翼に装着したプローベより非侵襲的に色素濃度を測定し、その値から心拍出量、循環血液量、肝機能が測定できる。また、従来の熱希釈法による心拍出量測定、あるいは他の方法による循環血液量測定との間に高い相関があることが報告されている¹⁻⁵⁾。心臓手術の循環管理を行ううえで心機能の評価とともに循環血液量は重要な指標となり得ることが期待される。わ

表 2

	人工心肺前	手術終了直後	4 時間後	12 時間後
HR (beat/min)	64±10**	91±19	84±21	82±14
Ao (mmHg)	78±10	83±8	85±10	86±12
PA (mmHg)	23±10	19±5	21±6	18±3
RA (mmHg)	9.5±2	7.9±4	9.0±3	10±3
PCWP (mmHg)	14±5	11±3	12±3	12±3
CI (l/min/m ²)	2.40±0.46**	3.13±0.78*	3.37±0.53	3.53±0.64
SVRI	2,180±810	2,010±570	1,840±480	1,750±400
(dynes·sec·cm ⁻⁵ ·m ²)				
PVRI	304±170**	205±107	230±100	150±52
(dynes·sec·cm ⁻⁵ ·m ²)				

HR：心拍数，Ao：平均動脈圧，PA：平均肺動脈圧，RA：右房圧，PCWP：肺動脈楔入圧，CI：心係数，SVRI：末梢血管抵抗係数，PVRI：肺血管抵抗係数。

* $p<0.05$ ，** $p<0.01$ 。

れわれはこの装置を用いて開心術患者における周術期管理に応用した。

今回、われわれが DDG-2001 を用いて測定した心拍出量、循環血液量は飯島ら¹⁾の報告による熱希釈法との心拍出量の相関係数 0.807、また、Iijima ら²⁾あるいは Haruna ら³⁾の ¹³¹I-albumin 法による循環血液量との相関係数 0.887、0.94 に比し心拍出量 0.77、循環血液量 0.821 と低い値を示した。これはわれわれの症例が心臓手術周術期の測定であり、ヘモグロビン測定から心拍出量、循環血液量測定までにわずかであるが時間的なずれがあり、輸液による循環血液量の変動などの原因が考えられる。しかし、十分満足できる相関であり循環管理上有用である。

今回、1 例においてパルスがひろえなかった症例があるが、この症例は左室駆出率 0.15 と低左室機能症例であった。重症の末梢循環不全症例で測定できないことはこの測定方法による限界であり、さらなる検討が必要である。

今回の検討にて、手術終了後、循環血液量は人工心肺前に比し減少していることが新たにわかった。これは人工心肺による低体温の影響、輸液あるいは輸血量不足による循環血液量不足が複雑に影響しているためと考えられる。しかし手術直後から 4 時間後まで、手術直後から 12 時間後までの総体液バランスはマイナスにもかかわらず循環血液量の上昇がみられたのは末梢温の上昇とともに

に、人工心肺あるいは手術侵襲により血管外(サードスペース)に移動していた水分が術後早期から血管内に移動しているためと考えられた。今回の結果から心臓手術患者の術後管理を行う上で、水分バランスのみにとらわれて、マイナスバランスというだけで輸液、輸血を大量に行うと、血管外から血管内にもどってくる水分と合わせて循環血液量は、過剰となり、心臓に過大な負担となることが予想される。今回、手術終了後の循環血液量は低下していたにもかかわらず右房圧、肺動脈楔入圧は有意に低下していなかったのは右房圧、肺動脈楔入圧が循環血液量だけでなく心機能も反映しているからと考えられる⁹⁾。こういった面から、血行動態測定にあわせて循環血液量を測定することは心臓手術周術期管理に有意義であると考ええる。

結 語

1. 開心術周術期にパルス式色素希釈法により心係数、循環血液量を測定した。

2. 熱希釈法による心係数、CPB 開始前後のヘモグロビン値から計算した循環血液量と良好な相関があった。

3. 開心術直後は循環血液量は低下しており、その後、体液バランスはマイナスであったが、循環血液量は増加した。

文 献

- 1) 飯島毅彦, 青柳卓雄, 布施政好ほか: パルス式色素希釈法による心拍出量, 循環血液量, 肝血流量測定. 臨床モニター 5: 381-390, 1994.
- 2) Iijima, T., Iwao, Y. and Sankawa, H.: Circulating blood volume measured by pulse dye-densitometry: comparison with (^{131}I) -HSA analysis. *Anesthesiology* 89: 1329-1335, 1998.
- 3) Haruna, M., Kumon, K., Yahagi, N. et al.: Blood volume measurement at the bedside using ICG pulse spectrophotometry. *Anesthesiology* 89: 1322-1328, 1998.
- 4) He, Y. L., Tanigami, H., Ueyama, H. et al.: Measurement of blood volume using indocyanine green measured with pulse-spectrophotometry: its reproducibility and reliability. *Crit. Care Med.* 26: 1446-1451, 1998.
- 5) Imai, T., Takahashi, K., Fukura, H. et al.: Measurement of cardiac output by pulse dye densitometry using indocyanine green: a comparison with the thermodilution method. *Anesthesiology* 87: 816-822, 1997.
- 6) 飯島毅彦: 循環血液量とはどんなパラメーターなのか?—パルス式色素希釈法とその可能性—. *LiSA* 5: 48-53, 1998.