

## 無輸血冠動脈再建術の周術期における 混合静脈酸素飽和度測定の意味

新見能成\* 佐藤裕美\*  
水嶋章郎\* 茅 稽二\*

### 要 旨

術中から術後、無輸血で冠動脈再建術を施行した40例を対象に、周術期における混合静脈酸素飽和度 (SvO<sub>2</sub>) と他の酸素需給に関する諸因子の変動について研究した。全測定について観察した場合も個々の症例ごとに観察した場合も SvO<sub>2</sub> と心拍出量 (CO) のあいだにほとんど相関は認められなかった。体外循環の希釈によるヘモグロビン濃度 (Hb) の低下を CO の上昇が補い、経過中酸素運搬能 (DO<sub>2</sub>) は比較的一定に保たれた。一方、酸素消費量 (VO<sub>2</sub>) の変化は大きく、SvO<sub>2</sub> はむしろ VO<sub>2</sub> と相関する傾向を示した。本研究のごとく比較的長い測定間隔では、SvO<sub>2</sub> は CO の指標とはならない。一定の条件で、VO<sub>2</sub> の変動しない程度の短時間内の変化についてのみ CO との関係を考えるべきである。

### はじめに

古くより重症患者の血行動態、あるいは酸素需給バランスの評価において、SvO<sub>2</sub> 測定の有用性が注目されている。最近さらに、肺動脈カテーテルを利用した SvO<sub>2</sub> の連続的なモニタリングが可能となり、手術室、ICU、CCU などでの使用が広まっている。しかし、反面 SvO<sub>2</sub> の変動がどの程度 CO の指標と成り得るかといった基本的な問題についてはまだ見解の統一をみない現状である。研究者によっては SvO<sub>2</sub> の連続測定の意義自体に

まで疑問をもつものもある<sup>1)</sup>。今回われわれは、無輸血にて冠動脈再建術を施行した40症例を対象として、周術期における SvO<sub>2</sub> と酸素運搬、消費に関する諸因子の関係を観察し、SvO<sub>2</sub> モニタリングの意味について検討を加えたので報告する。

### 対象と方法

狭心症、または陳旧性心筋梗塞に対して冠動脈再建術を施行した40例 (男性38例、女性2例) を対象とした。手術時の年齢は43歳~76歳、平均58歳であった。全例 NYHA 分類のクラスIIであり、左室駆出率35%未満の低心機能症例や、弁膜症、心室瘤を合併した症例は除外されていた。

術前全例で硝酸薬、28例でカルシウム拮抗薬、8例でβ遮断薬が内服されていたが、これらの投薬は手術当日の朝まで継続していた。

麻酔前投薬は、ジアゼパム 0.1 mg·kg<sup>-1</sup> (最大5 mg) を経口、およびモルヒネ 0.2 mg·kg<sup>-1</sup> (最大10 mg) を筋注投与した。手術室入室後、局所麻酔下に橈骨動脈へ動脈ラインを確保した。麻酔の導入は、フェンタニール 30~50 μg·kg<sup>-1</sup>、ジアゼパム 0.1~0.2 mg·kg<sup>-1</sup> で行い、PaCO<sub>2</sub> が35~40 mmHg となるように調節呼吸を行った。麻酔の維持には笑気 (0~50%)、エンフルレン (0~1.5%) を用い、胸骨切開時、体外循環離脱時などに適宜フェンタニール、ジアゼパムを追加投与した。

気管内挿管後、内頸静脈より肺動脈カテーテル (Edwards Laboratories, 93A-131-7F) を挿入した。また、術中の心筋虚血予防の目的で全例 1

\*順天堂大学医学部麻酔教室

$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  の速度でニトログリセリンの持続静注を施行した。

体外循環は非拍動流の希釈体外循環を行った。中等度の低体温 (26~28°C) とし、ヘマトクリット値は15%以上を保つようにした。術後は ICU で調節呼吸を行い、第1病日の朝気管内チューブを抜去した。症例は、体外循環回路内残血を濃縮して返還することにより全例術中から術後にかけて同種血を輸血されることなく経過した。

1) 導入30分後, 2) 対外循環前心膜切開時, 3) 体外循環離脱30分後, 4) 胸骨閉鎖後, 5) ICU 入室3時間後, 6) 手術翌朝抜管直後, 7) 抜管6時間後の7点で、血行動態の諸因子と動脈血、および肺動脈カテテルの先端部より採血した混合静脈血の血液ガス測定を行った。血液ガスは ABL2 Blood Gas Analyzer (RADIOMETER 社) で測定した。SvO<sub>2</sub> は混合静脈血の血液ガス測定より求め、また Hb の測定は OSM2 HEMOXIMETER (RADIOMETER 社) で行った。CO は Cardiac Output Computer COM-1 (Edward 社) を用い熱希釈法で測定した。

動脈血酸素含量 (CaO<sub>2</sub>), 混合静脈血酸素含量 (CvO<sub>2</sub>), DO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>, 酸素摂取率 (OER) の算出には以下の式を用いた。

$$\text{CaO}_2 (\text{ml}\cdot\text{dl}^{-1}) = 1.34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2 + 0.0031 \times \text{PaO}_2$$

$$\text{CvO}_2 (\text{ml}\cdot\text{dl}^{-1}) = 1.34 \times \text{Hb} \times \text{SvO}_2 + 0.0031 \times \text{PvO}_2$$

$$\text{DO}_2 (\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}) = \text{CaO}_2 \times \text{CO} \times 10$$

$$\text{VO}_2 (\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}) = (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \times \text{CO} \times 10$$

$$\text{OER} = (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) / \text{CaO}_2$$

SaO<sub>2</sub>: 動脈血酸素飽和度

PaO<sub>2</sub>: 動脈血酸素分圧

PvO<sub>2</sub>: 混合静脈血酸素分圧

全対象例の全測定点における SvO<sub>2</sub> を変数 Y とし、そのほかの酸素の運搬、消費に関する諸因子を変数 X として、相互の関係について線形モデルにより相関係数 r を最小二乗法で求めた。さらに個々の症例の7測定点においても同様に相関係数 r を求め、r を横軸、症例数を縦軸としたヒストグラムを作成した。すべての測定値は平均値±標準偏差で示した。各因子の経時的变化における統計検定は、導入後の値を基準とした paired student's t-test で行い、危険率5%以下を有意

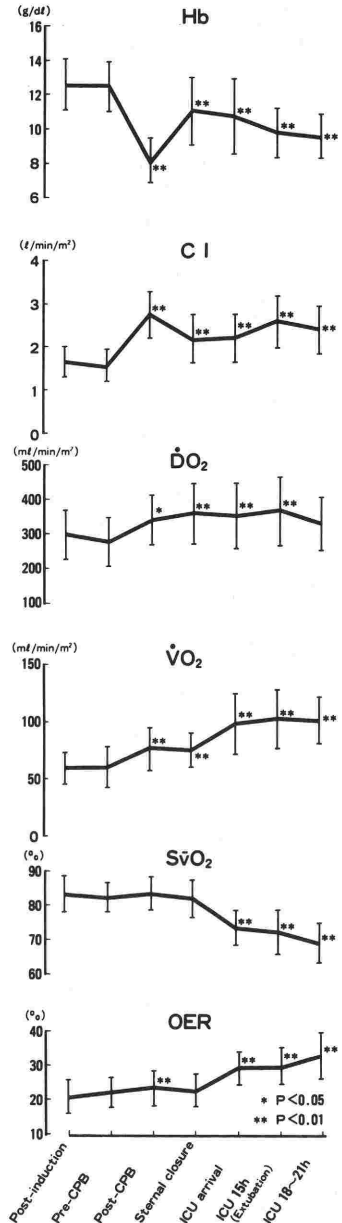


図1 酸素需給に関する諸因子の変動

差ありとした。

## 結 果

### 1. 酸素消費、運搬に関する諸因子の変動 (図1)

導入後の Hb は  $12.6 \pm 1.40 \text{ g}\cdot\text{dl}^{-1}$  であったが、希釈体外循環により体外循環直後は  $8.2 \pm 1.18 \text{ g}\cdot\text{dl}^{-1}$  まで低下した。胸骨閉鎖時には

一時  $11.2 \pm 1.90 \text{ g} \cdot \text{d}l^{-1}$  まで上昇したが、その後再度低下傾向を示した。心係数 (CI) は Hb と相反する変動を示した。導入後  $1.7 \pm 0.311 \text{ min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  と低値であったが、体外循環後には  $2.8 \pm 0.511 \text{ min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  と上昇し、以後  $2.2 \sim 2.71 \text{ min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  前後を推移した。

$\text{DO}_2$  は対外循環後の各測定点で体外循環前に比し、 $10 \sim 20\%$  の上昇を認めた。一方  $\text{VO}_2$  は体外循環前に比し、体外循環後、ICU でそれぞれ約  $30\%$ 、約  $60\%$  の上昇を認めた。このような  $\text{DO}_2$ 、 $\text{VO}_2$  の変化により OER は、手術室で  $20 \sim 23\%$  であったが、ICU 入室時には  $29\%$  まで上昇した。逆に  $\text{SvO}_2$  は手術室での 4 測定点での平均が  $81 \sim 83\%$  を示したのに対し、ICU 入室後約  $70\%$  に低下した。

なお、経過中の直腸温の変動は 1)  $\sim$  7) の各測定点においてそれぞれ、1)  $36.4 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、2)  $36.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、3)  $36.0 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 、4)  $36.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 、5)  $37.0 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 、6)  $37.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 、7)  $37.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$  であり、ICU の 3 測定点 5)、6)、7) では有意に高かった ( $p < 0.01$ )。

2. 術中、術後における  $\text{SvO}_2$  と諸因子の相関 (表 1)

手術室の体外循環前後、および ICU での全測定点について  $\text{SvO}_2$  と CI、 $\text{DO}_2$ 、 $\text{VO}_2$ 、OER の相関をみると、CI については手術室でのみ弱い正の相関を認めた。 $\text{DO}_2$  は手術室、ICU の双方で弱い正の相関、 $\text{VO}_2$  は手術室でのみ弱い負の相関を示した。OER は手術室、ICU をとおして強い負の相関を認めた。

3. 個々の症例ごとにみた  $\text{SvO}_2$  と諸因子の相関 (図 2)

個々の症例の経時的変化について  $\text{SvO}_2$  と諸因子の相関をみると、当然のことながら OER が最も強い相関を示した。相関係数  $r$  は 40 例中 34 例で  $r = -0.8 \sim -1.0$ 、4 例で  $r = -0.4 \sim -0.6$  であっ

表 1  $\text{SvO}_2$  と酸素需給に関する諸因子との相関係数 ( $r$ )

$\text{SvO}_2$ vs	CI	OER	$\text{VO}_2$	$\text{DO}_2$
手術室 ( $r =$ )				
体外循環前	0.416*	-0.888*	-0.429*	0.405*
体外循環後	0.524*	-0.783*	-0.377*	0.383*
ICU ( $r =$ )	0.219	-0.939*	-0.225	0.401*

\* $p < 0.01$

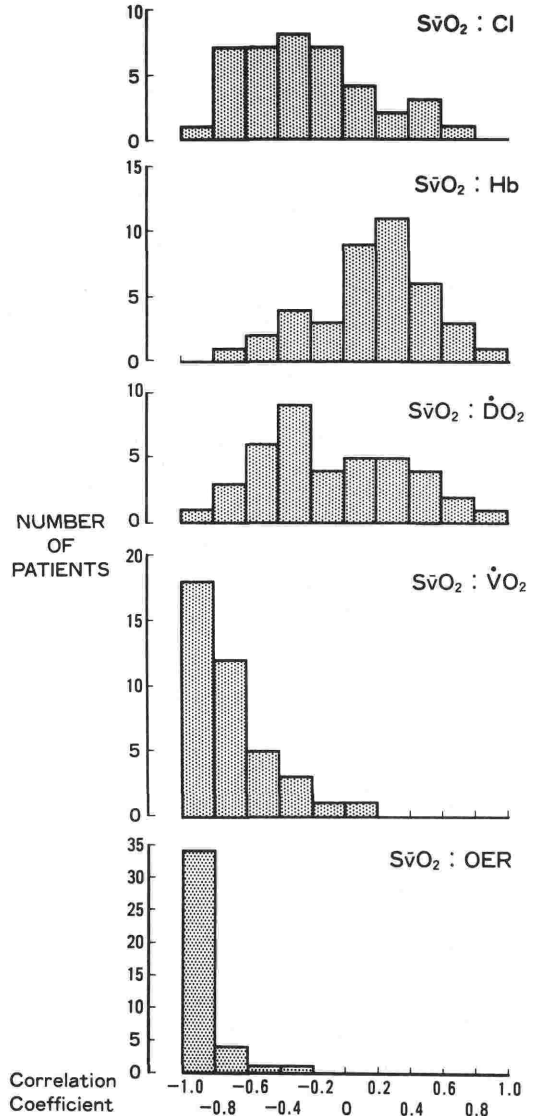


図 2 個々の症例ごとにみた  $\text{SvO}_2$  と諸因子の相関

た。CI、Hb、 $\text{DO}_2$ 、体血管抵抗 (SVR) との相関は症例によってばらつき、一定の傾向を示さなかった。しかし、 $\text{VO}_2$  との間には比較的強い負の相関を認め、18 例で  $r = -0.8 \sim -1.0$ 、12 例で  $r = -0.6 \sim -0.8$  であった。

考 案

$\text{SvO}_2$  は、酸素需給の関係より

$$\text{SvO}_2 = \text{SaO}_2 - \text{VO}_2 / \text{CO} \times \text{Hb} \times 13.4$$

の式で表わされる。すなわち、 $\text{SaO}_2$ 、 $\text{VO}_2$ 、CO、Hb などの因子の影響を受ける非特異的な血行動態の指標であることは周知である。しかし、初期

には手術中, ICU, CCU などで CO 以外の因子が比較的一定であることより, SvO<sub>2</sub> は CO の変化に関して有用な指標になると考えられた. 1980年代においても, 臨床状態の悪化に先行する血行動態のモニターとしての有用性が報告された<sup>2,3)</sup>が, その後 SvO<sub>2</sub> の変化量に制限を加え, SvO<sub>2</sub> の5%以上の変化について CO との相関を唱えるものもあった<sup>4,5)</sup>.

一方, Kohanna ら<sup>6)</sup> や Schmidt ら<sup>7)</sup> は CO と混合静脈血酸素分圧 (PvO<sub>2</sub>) や SvO<sub>2</sub> が単純には相関しないことを相次いで報告した. また, Vaughn ら<sup>1)</sup> も SvO<sub>2</sub> の10%以上の変化でのみ CO との相関を認めるものの, 血行動態悪化の早期発見には役立たないと主張した.

本研究で, すべての測定点を手術室の体外循環前, 体外循環後, ICU と3群に分けて同時に観察すると, 手術室では体外循環前後ともかすかな相関を認めた. 一方 ICU ではまったく相関は認められなかった.

手術室においては平均の SvO<sub>2</sub> が80%以上の高値を示していた. Huang ら<sup>8)</sup> は安静覚醒時の VO<sub>2</sub> が 130 ml·min<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> であるのに対し, これがフェンタニール麻酔によって 85~100 ml·min<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> に低下することを報告している. 本研究でも同様であり, このように麻酔によって VO<sub>2</sub> が極めて低値に抑えられていれば, SvO<sub>2</sub> が VO<sub>2</sub> の変化による影響を受けにくくなる分, むしろ DO<sub>2</sub> あるいは CO と相関しやすくなるのかもしれない. しかし, ICU では体温の上昇, 麻酔の覚醒, 調節呼吸から自発呼吸への呼吸法の変化などによる VO<sub>2</sub> の上昇によって CO が比較的高くても SvO<sub>2</sub> は低値を示した.

さらに, 実際の臨床で SvO<sub>2</sub> をモニタリングするにあたっては, 個々の症例において SvO<sub>2</sub> がどの程度 CO と相関するかが重要である. 現在までこのような研究は少なく<sup>7)</sup>, 多症例のいろいろな時相での測定を一括して観察した報告がほとんどであった. 本研究でこのように処理した場合, SvO<sub>2</sub> と CO の関係は症例ごとにばらつき一定の相関を示さず, SvO<sub>2</sub> と VO<sub>2</sub> の間に比較的強い負の相関を認めた.

当院における心臓外科手術では輸血量を節減し, 同種血を用いずにおこなうことを術中術後管理の目標の1つとしている. このため必要以上の

血管拡張や心拍出量の増大は避け, normovolemic anemia をできる限り許容した. その結果, 体外循環後の Hb の低下を CI の増加が代償し, 周術期の経過をとおして DO<sub>2</sub> が比較的一定に保たれた. Schmidt ら<sup>7)</sup> が示すように,

$$OER \approx 1 - SvO_2$$

の近似が成り立つ. この OER すなわち VO<sub>2</sub>/DO<sub>2</sub> において, DO<sub>2</sub> に比べて VO<sub>2</sub> の変化が大きいため VO<sub>2</sub> と SvO<sub>2</sub> が負の相関傾向を示したわけである. 当施設の無輸血での管理の特徴ともいえる.

多くの研究者<sup>7,9)</sup> が OER と SvO<sub>2</sub> の強い負の相関を報告しているが, これは上述の式より当然であって, このことにさほど意義があるとは思われない.

5%以上<sup>4,5)</sup> あるいは10%以上<sup>1,10)</sup> と, SvO<sub>2</sub> の変化がある程度以上に大きければ CO と相関するといった報告もある. しかし, 本研究では手術室から ICU にかけて10%以上の SvO<sub>2</sub> の変動があるにもかかわらず, SvO<sub>2</sub> は CO の高い ICU でより低値を示した. これは VO<sub>2</sub> の上昇によるもので, VO<sub>2</sub> の変化を考慮に入れない限り, 単に SvO<sub>2</sub> の変化が大きければ CO と相関するとはいえない.

Vaughn ら<sup>1)</sup> は SvO<sub>2</sub> 連続モニタリングの意義自体に疑問を唱えた. しかし, 実際臨床では SvO<sub>2</sub> の低下が CO 測定のきっかけとなったり, 薬物治療の効果が迅速に観察されるような機会もよく経験される. 本研究の測定は比較的長い時間の間隔でなされているが, こうした場合, SvO<sub>2</sub> は2~30分以内の短時間に変動するように思われる. 前述の SvO<sub>2</sub> を規定する因子のうち, 短時間でもっとも大きく変動するのは CO であり, SvO<sub>2</sub> の短時間内での低下は, やはり CO の低下による場合が多い. すなわち, CO との関係を議論するには SvO<sub>2</sub> の変動幅に加えて時間の因子を考慮に入れる必要がある. OER, DO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub> が, 症例やその置かれた状況の違いによって, どのように関わって変化するか, その時間的關係はどうかといったことはまだ明らかにされていない. しかし, 手術室から ICU にかけては種々の要因によって, VO<sub>2</sub> は常に変化していると思われる. 臨床では VO<sub>2</sub> の変化を無視できるような, 同一条件下での短時間内の SvO<sub>2</sub> の変化についてのみ

CO との関係を検討すべきである。

### ま と め

無輸血で行われた冠動脈再建術の周術期では、 $VO_2$  の変化が大きく、 $DO_2$  は比較的一定に保たれた。従って、 $SvO_2$  は  $VO_2$  と相関する傾向を示し、CO を含めた酸素運搬の諸因子とは相関しなかった。

### 引用文献

- 1) Vaughn, S., Puri, V. K.: Cardiac output changes and continuous mixed venous oxygen saturation measurement in the critically ill. *Crit. Care Med.* 16:495-498, 1988.
- 2) Baele, P. L., McMichan, J. C., Marsh, H. M., et al.: Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in critically ill patients. *Anesth. Analg.* 61:513-517, 1982.
- 3) Sottile, F. D., Durbin, C. G., Hoyt, J. W., et al.: Evaluation of pulmonary artery oximetry as a predictor of cardiac output. *Anesthesiology* 57: A127, 1982.
- 4) Waller, J. L., Kaplan, J. A., Bauman, D. I., et al.: Clinical evaluation of a new fiberoptic catheter oximeter during cardiac surgery. *Anesth. Analg.* 61:676-679, 1982.
- 5) 大村昭人, 菊田好則, 岡田和夫: 混合静脈血酸素飽和度連続測定装置. *循環制御* 7: 777-780, 1986.
- 6) Kohanna, F. H., Cunningham, J. N., Catinella, F. P., et al.: Cardiac output determination after cardiac operation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 82: 904-908, 1981.
- 7) Schmidt, C. R., Frank, L. P., Forsythe, S. B., et al.: Continuous  $SvO_2$  measurement and oxygen transport patterns in cardiac surgery patients. *Crit. Care Med.* 12:523-527, 1984.
- 8) Huang, D. H., Flacke, J. W., Law, T. S., et al.: Oxygen uptake and halothane versus fentanyl anesthesia. *Anesthesiology* 55:A271, 1981.
- 9) Nelson, L. D.: Continuous venous oximetry. *Ann. Surg.* 203:329-333, 1986.
- 10) Jamieson, W. R. E., Turnbull, K. W., Larriue, A. J., et al.: Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in cardiac surgery. *Can. J. Surg.* 25:538-543, 1982.

## Correlation between Mixed Venous Oxygen Saturation and Hemodynamic Variables in Cardiac Surgical Patients

Yoshinari Niimi, Hiromi Sato,  
Akio Mizushima and Keiji Kaya

Department of Anesthesiology, Juntendo University School  
of Medicine, Tokyo 113

The correlation between changes in mixed venous oxygen saturation ( $SvO_2$ ) and oxygen transport variables was examined in 40 patients undergoing coronary artery bypass grafting without blood transfusion. Hemodynamic measurements were conducted and arterial and mixed venous samples obtained at 7 specified times: 4 times during operation and 3 times during the postoperative period.

Decrease in hemoglobin concentration due to hemodilution during cardiopulmonary bypass was found to be accompanied by compensating increase in cardiac output. Oxygen transport ( $DO_2$ ) was maintained relatively constant

throughout the study. Oxygen consumption ( $VO_2$ ) increased more during the prebypass period by about 30% after cardiopulmonary bypass, and 60% in ICU. It thus follows that  $SvO_2$  is correlated with none of the hemodynamic variables of oxygen transport including cardiac output but rather with  $VO_2$ .

$SvO_2$  measurement over relatively long intervals is thus concluded not to be usable predicting for cardiac output. However, it should serve to provide some indication of cardiac output when  $SvO_2$  drops rapidly as to prevent change in  $VO_2$ .

**Key Words** : mixed venous oxygen saturation, cardiac output, coronary artery bypass grafting, oxygen consumption