

阿部 正 神山 有史 郷 律子 森 啓一

小松島赤十字病院 麻酔科

要 旨

高度血液希釈を伴う心肺バイパス (CPB) が、全身の酸素需給バランスに及ぼす影響を、21名の開心術患者において検討した。麻酔導入後、CPB 開始後、CPB 終了前、CPB 終了後、手術終了前の各時点で、ヘモグロビン濃度 (Hb) および心拍出量の測定と動脈血ならびに混合静脈血血液ガス分析を行い、酸素需給の指標と Base Excess (BE) の変動を観察した。CPB により Hbは6.3g/dlまで低下するとともに、嫌気性代謝の発生が示唆されたが、程度は軽く、その影響も CPB 離脱後早期に消失すると推測された。開心術においても Hb6g/dl程度の血液希釈は比較的安全に行えると考える。

キーワード：心肺バイパス、血液希釈、酸素需給バランス

はじめに

近年、無輸血開心術はその適応を広げつつあり、高齢者や冠動脈バイパスグラフト術 (以下 CABG)、多弁置換術の患者も、心肺バイパス (以下 CPB) 中を高度血液希釈状態で管理されるようになってきた。しかし、これらの症例における血液希釈の安全限界は明確ではない。今回、開心術中の酸素運搬能係数 (以下 $\dot{D}O_2-I$)、酸素消費量係数 (以下 $\dot{V}O_2-I$)、Base Excess (以下 BE) の変動を観察することにより、全身酸素需給バランスに及ぼす高度血液希釈を伴う CPB の影響を評価し、開心術中の血液希釈の安全限界を推測しようと試みた。

対象と方法

開心術を受ける成人、男性17名、女性4名、計21名を対象とした。術式の内訳は CABG16名、大動脈弁置換術4名、僧帽弁置換術1名であった。麻酔はフェンタニール、サイアミラル、ベクロニウムにて導入し、CPB開始前までにフェンタニールを約25 μ g/kg、ミダゾラムを約0.4mg/kg投与し、他に笑気、酸素、セボフルランを適宜使用して維持した。橈骨動脈カテーテルならびに肺動脈カテーテル

(Baxter 社製、93A-831H) を挿入し、①麻酔導入後、②CPB 開始後心停止液 (以下 GIK) 投与終了後、③CPB終了前、④CPB終了後、⑤手術終了前の各時点で、ヘモグロビン濃度 (以下 Hb) および心拍出量 (NEC POLYGRAPH 1200) を測定、かつ動脈血および混合静脈血血液ガス分析 (CIBA CORNING、288 Blood Gas System) を行い、心係数 (以下 CI)、 $\dot{D}O_2-I$ 、 $\dot{V}O_2-I$ および酸素摂取率 (OER) を以下の式により算出した。

$CI (l/min/m^2) = \text{心拍出量} / \text{体表面積}$

$\dot{D}O_2-I (l/min/m^2) = \text{動脈血酸素含有量} (CaO_2) \times CI \times 10$

$\dot{V}O_2-I (l/min/m^2) = \text{動静脈血酸素含有量較差} (CaO_2 - C\bar{v}O_2-I) \times CI \times 10$

$OER (\%) = \dot{D}O_2-I / \dot{V}O_2-I \times 100$

ここで、 $CaO_2 = 1.39 \times Hb \times \text{動脈血酸素飽和度} / 100 + 2.3 \times \text{動脈血酸素ガス分圧} / 760$

$C\bar{v}O_2-I = 1.39 \times Hb \times \text{混合静脈血酸素飽和度} / 100 + 2.3 \times \text{混合静脈血酸素ガス分圧} / 760$

CPB は常温で送血量2.2-2.4 $l/min/m^2$ を目標とし、回路充填液量は乳酸リンゲル液を中心として1400~1500ml、GIK は初回投与量が平均1400mlであり、約30分毎に400mlを追加した。血液ガスは α スタットにて管理し、術中には重炭酸ナトリウムの投与は行なわなかった。回路への充填を含めCPB 離脱ま

でに輸血は行わなかった。離脱後は全例で回収式自己血輸血を行い、その上に、貯血式あるいは術中希釈式自己血輸血を行った症例が、それぞれ2名と1名存在した。

数値はすべて平均値±標準偏差で示し、統計にはFriedman 検定、Wilcoxon 検定、Spearman 検定を使用し、 $P < 0.05$ を有意とした。

結 果

患者背景は、年齢 62.2 ± 8.7 才、身長 159.9 ± 8.5 cm、体重 63.8 ± 9.7 kgであった。CPB 時間は 118 ± 37 分、大動脈遮断時間は 67 ± 23 分、手術時間は 259 ± 71 分、麻酔時間は 319 ± 73 分であった。

結果をFig. 1に示す。

Hb は麻酔導入後の 11.6 ± 1.4 g/dlからCPB 開始とともに 6.3 ± 1.0 g/dlへと大きく低下し、CPB 中からCPB 離脱後にかけて回復したが手術終了前でも 9.3 ± 1.1 g/dlと依然低値であった。

$\dot{D}O_2-I$ はCPB 開始後低下したが、CPB 離脱後にはCIの増加により麻酔導入後の値にまで回復し、手術終了前にはHbの上昇により麻酔導入後の値を超えていた。 $\dot{V}O_2-I$ はCPB 開始により麻酔導入後の約52%に低下したが、その後徐々に増加し、CPB 離脱後には麻酔導入後の値を超えていた。

OER はCPB 開始時には低下したが、その後は $\dot{V}O_2-I$ が $\dot{D}O_2-I$ より早期に上昇したため麻酔導入後の値と同等かそれ以上の値を示した。

BE はCPB 開始により大きく低下しCPB 中にさらに低下したが、CPB 終了後から手術終了前にかけて回復した。

考 察

全身麻酔下ではHb 5 g/dlまでの等容性血液希釈は組織酸素需給バランスを悪化させないとされる。開心術における血液希釈の安全限界も多方面から検討されているが、血液希釈状態で生じる心拍出量増加、臓器血流再分配に及ぼすCPBの影響が不明確なうえに、非拍動流であるCPB自体の組織酸素需給に及ぼす影響が混在するため、一定の基準は得られていない^{1,2)}。

OER および BE は酸素需給バランスが保持されて

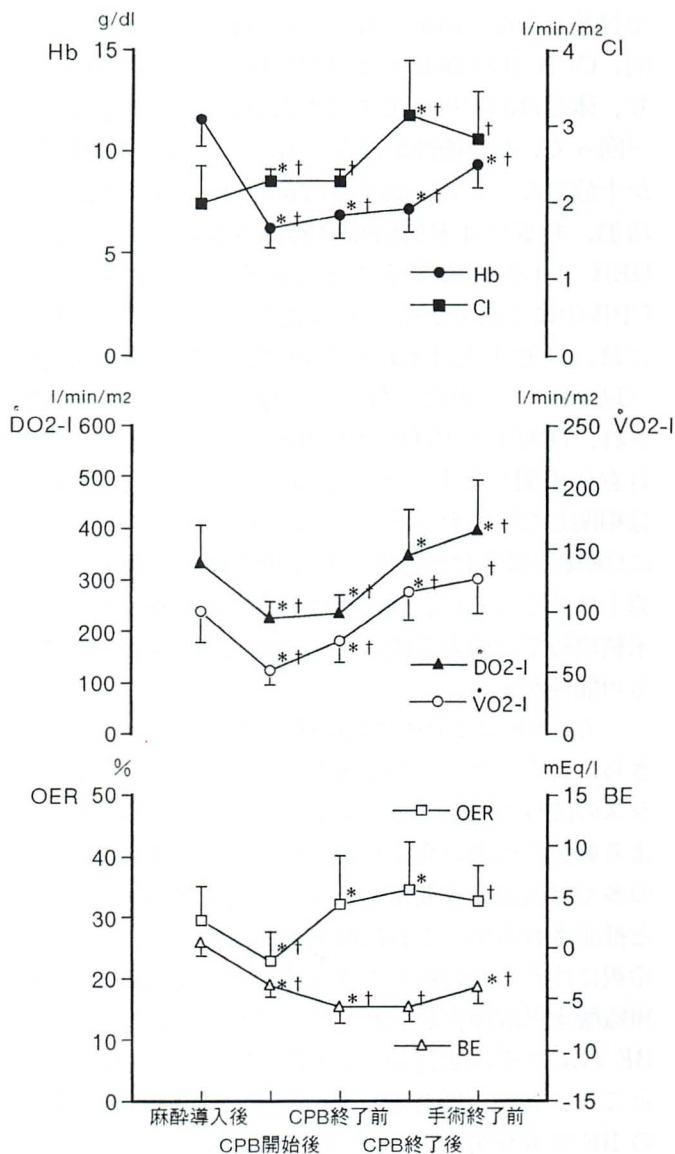


Fig. 1 Hb、CI、 $\dot{D}O_2-I$ 、 $\dot{V}O_2-I$ 、OER、BE の変化。

* ; $P < 0.05$ 、前値に比較して。

† ; $P < 0.05$ 、麻酔導入後に比較して。

いるか否かの指標となるが、今回はCPB 開始に伴いOER と BE はともに低下し、酸素需給バランスの改善と嫌気性代謝の発生という相反する結果を示した。しかし、CPB 中のOER の解釈には二つの問題点がある。その一つは、 $\dot{D}O_2-I$ が著しく低下し、 $\dot{V}O_2-I$ が $\dot{D}O_2-I$ に依存して減少しはじめる点、いわゆるcritical point 以下になると、OER は酸素需給バランスの指標として信頼性に欠けることである³⁾。critical point の $\dot{D}O_2-I$ は全身麻酔下のヒトで約 330 ml/min/m^2 ⁴⁾、 30°C の低体温下のCPB 中

では約150ml/min/m²という報告があるが⁵⁾、今回、CPB中の $\dot{V}O_2-I$ は220~240ml/min/m²であり、体温は34°C程度であったため、critical pointを下回っていた可能性がある。もう一つは、酸素供給量が十分であっても、血流分布異常やシャント血流量の増加、あるいは末梢組織の酸素摂取障害があれば、OERは不正確になることである。非拍動流であるCPB中にこれらが生じる可能性は大きい。その場合には、 $\dot{V}O_2-I$ とは不釣り合いに混合静脈血酸素分圧(以下P $\bar{v}O_2$)が高くなり⁶⁾、今回もこの現象が観察され、 $\dot{V}O_2-I$ とP $\bar{v}O_2$ はCPB中以外の測定時点では有意に相関したが($r=0.401$ 、 $P=0.02$)、CPB中は相関しなかった($r=0.130$ 、 $P=0.28$)。このようにOERの解釈に問題が生じる場合には、 $\dot{V}O_2-I$ は計算上は低くなるが、真の組織酸素需要量を反映せず、末梢組織では酸素需給障害から嫌気性代謝が生じている可能性がある。

一方、BEはCPB開始に伴って低下し、CPB中にさらに低下した。この原因としては、希釈性アシドーシスの関与も否定できないが、上述の酸素需給障害による嫌気性代謝の発生が最も疑われる。酸素需給障害の多くは血流分布異常やシャント血流量の増加によると推測されるが、これに酸素供給量の不足、ならびに希釈に伴う血液の粘性や赤血球機能の変化による末梢組織酸素摂取障害が加わっているかもしれない。今回、BEおよびその変化分(ΔBE)との相関を検討したところ、強い相関を示したのはCPB時間とCPB中のBEの変化分(ΔBE ②-③)のみであり(Fig. 2)、CPB回路充填液量、GIK量などの希釈の指標や酸素供給量の指標である $\dot{V}O_2-I$ とは有意な相関を示さなかったことから、やはり、BEの変化はCPB中の嫌気性代謝を反映し、その主な原因は血流分布異常やシャント血流量の増加による酸素需給障害と推測される。しかし、CPB開始時のHbとCPB終了時のBEにも弱いながらも有意な相関が存在し($r=0.500$ 、 $p=0.049$)、測定時点の違いの問題もあり解釈は難しいが、希釈に伴う血液性状の変化がCPBによる酸素需給障害を増強した可能性も否定しきれない。

上記のように、高度血液希釈によるCPBは全身酸素需給バランスに悪影響を及ぼすと考えられるが、本研究においてはCPB中のBEの低下は軽度であった。CPB終了後には $\dot{V}O_2-I$ が麻酔導入後よりも高値を示し、酸素需要は亢進したがBEは悪化せず、Hb

CPB中のBEの変化(ΔBE)

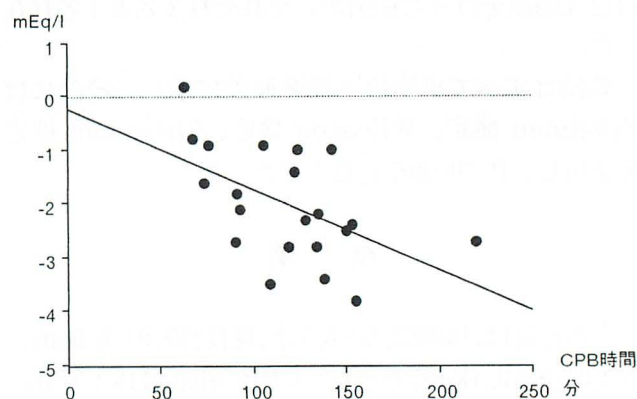


Fig. 2 CPB時間とCPB中のBEの変化の関係

$\Delta BE = 0.236 + 0.015 \times \text{CPB時間}$ 、
 $r = 0.538$ 、 $P = 0.011$ の有意な相関が見られる。

が低値の状態でもCIの増加およびOERの上昇で酸素需給バランスは維持されたと考えられる。しかも、手術終了前には、 $\dot{V}O_2-I$ は高値のままであるが、Hbの増加に伴ってOERは低下し、BEは回復した。従って、今回程度の血液希釈ではCPB中の嫌気性代謝の程度は軽く、その影響もCPB離脱後に迅速に消失していると考えられる。CPB離脱後の心機能の保持ならびにHb値の上昇は、この時期の酸素需給バランスの維持および嫌気性代謝からの回復にとって非常に重要と思われた。

今回、CPB開始時のHbの最低値は4.5g/dlであった。開心術以外では、短時間ならばHb値が5g/dl未満でも重篤な障害は起こらないとされ、実際そういった症例報告も散見される。CPB時間が短ければ、高度の血液希釈も許容されるのかもしれない。しかし、今回の検討から、CPB中に軽度の酸素需給バランス障害が生ずる可能性があり、血液希釈がそれを増悪することを否定できなかったため、これ以上の血液希釈には詳細な検討が必要と考える。

以上、高齢者を含む心疾患患者において、高度血液希釈CPB中に重大な酸素需給バランス障害は発生せず、またCPB中に発生した嫌気性代謝の影響もCPB離脱後早期に消失すると考えられた。開心術におけるHb6g/dl程度の血液希釈は比較的安全に行えると考えられる。

文 献

- 1) Yasunaru Kawashima, Zengo Yamamoto, Hisao Manabe: Safe limits of hemodilution in cardiopulmonary bypass. *Surgery* 76:391-397, 1974
- 2) Robert F Hickey, Paul F Hoar: Whole-body oxygen consumption during low-flow hypothermic cardiopulmonary bypass. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 86:903-906, 1983
- 3) Schumaker PT, Wook LDH: Limitations of aerobic metabolism in critical illness. *Chest* 85:453, 1984
- 4) Kinichi Shibutani, Toru Komatsu, Keshav Kubal, et al: Critical level of oxygen delivery in anesthetized man. *Crit Care Med* 11:640-643, 1983
- 5) 林田 真和、川島 靖男、沢木 裕子、他 : 無輸血心臓手術における人工心肺中の酸素需給バランスについて. *日臨麻誌* 13 (Supple) : 425, 1993
- 6) Kinich Shibutani, Toru Komatsu, Kazutumi Okamoto, et al: Critical level of oxygen delivery after cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med* 15:194-197, 1987

The Influence of Hemodilution on Systemic Oxygen Demand-Supply Balance During Cardiopulmonary Bypass.

KOHIYAMA, Ritsuko GOH, Keiichi MORI

Department of Anesthesiology, Komatushima Red Cross Hospital

The effect of hemodilution on global oxygen demand-supply balance during and after cardiopulmonary bypass (CPB) were studied in 21 patients scheduled cardiac surgery (coronary artery bypass graft : 16, valve replacement : 5) under fentanyl-midazolam anesthesia.

Arterial and mixed venous blood gas analysis were measured, and arterial and mixed venous oxygen delivery index ($\dot{D}O_2-I$) and oxygen consumption index ($\dot{V}O_2-I$) were calculated. After onset of CPB, $\dot{D}O_2-I$ and $\dot{V}O_2-I$ markedly decreased according with hemodilution (Hb : 11.6 ± 1.4 to 6.3 ± 1.0 g/dl). Oxygen extraction rate lowered than that of prebypass period, while base excess (BE) decreased significantly (0.5 ± 1.3 to -3.6 ± 1.2 mEq/L). During CPB, BE decreased significantly. However, BE did not aggravated after CPB termination (-5.7 ± 1.4 and -3.9 ± 1.5 mEq/L, respectively).

The results of this study could not aggravate oxygen imbalance in the degenerative patients during cardiac surgery.

Keywords : cardiopulmonary bypass, hemodilution, oxygen balance

Journal of Anesthesia 3 : 16-19, 1998

The Influence of Severe Hypothermia on Demand-Supply Balance

Tadashi ABE, Arifumi KAWABATA

Division of Anesthesiology

The effect of hemodilution on global oxygen demand-supply balance during cardiopulmonary bypass (CPB) were studied in 21 patients scheduled cardiac surgery (coronary artery bypass graft : 16, valve replacement : 5) under fentanyl-midazolam anesthesia. Hemoglobin concentration (Hb) and cardiac index were measured, and arterial and mixed venous oxygen delivery index ($\dot{D}O_2-I$) and oxygen consumption index ($\dot{V}O_2-I$) were calculated. After onset of CPB, $\dot{D}O_2-I$ and $\dot{V}O_2-I$ markedly decreased according with hemodilution (Hb : 11.6 ± 1.4 to 6.3 ± 1.0 g/dl). Oxygen extraction rate lowered than that of prebypass period, while base excess (BE) decreased significantly. However, BE did not aggravated after CPB termination (-5.7 ± 1.4 and -3.9 ± 1.5 mEq/L, respectively). The results of this study could not aggravate oxygen imbalance in the degenerative patients during cardiac surgery.

Keywords : cardiopulmonary bypass, hemodilution, oxygen balance

Journal of Anesthesia 3 : 16-19, 1998