

# 近赤外光を利用した連続的心筋酸素飽和度測定による warm blood cardioplegia の検討

著者	安田 保, 牛島 輝明, 川筋 道雄, 渡辺 洋宇
著者別表示	Yasuda Tamotsu, Ushijima Teruaki, Kawasuji Michio, Watanabe Yoh
雑誌名	胸部外科 = 日本心臓血管外科学会雑誌
巻	48
号	11
ページ	915-918
発行年	1995-10
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00050906">http://doi.org/10.24517/00050906</a>



## 近赤外光を利用した連続的心筋酸素飽和度測定による warm blood cardioplegia の検討

安田 保 牛島輝明 川筋道雄 渡辺洋宇\*

### はじめに

常温血性心筋保護液を持続的に冠灌流することによって心筋を電氣的機械的に停止させ、好気性代謝を保持し、低温および再灌流による心筋障害を防止するという continuous warm blood cardioplegia (CWBC) は現在世界で臨床応用されている<sup>1,2)</sup>。しかし冠状動脈バイパス術においては、末梢側吻合時に無血視野を得るため血性心筋保護液の灌流を一時停止することが多い。さらに常温血性心筋保護液を間欠的に冠灌流する intermittent warm blood cardioplegia (IWBC) は、基礎および臨床研究で CWBC と比べ遜色のない方法とされている<sup>3-5)</sup>。しかし、その灌流停止時間は 10~15 分程度で、科学的基盤に基づいた許容時間ではなく<sup>6)</sup>、常温虚血による心筋障害の発生が懸念されている<sup>7)</sup>。手術をより安全に行うため IWBC において cold cardioplegia の心筋温度のようなモニタリングが望まれる。

今回われわれは雑種成犬において IWBC を施行し、近赤外光を利用した連続的心筋組織酸素飽和度測定を試み、心筋酸素消費量を求め、IWBC による常温心停止時の酸素代謝を明らかにしたので報告する。

### I. 対象と方法

#### 1. 実験方法

実験動物として体重 9~16 kg (平均 12.6 kg) の雑種成犬 7 頭を用いた。ケタミンによる麻酔導入後気管内挿管し、人工呼吸器による調節呼吸を行った。右胸骨傍切開により心臓を露出、心電図、動脈圧のほか右

表 1. 心筋保護液

(1) crystalloid cardioplegia		
組成	Na	73 mEq/l
	K	30 mEq/l
	Cl	102 mEq/l
	HCO <sub>3</sub>	0.88 mEq/l
	glucose	23 g/l
	mannitol	7 g/l
浸透圧		373 mOsm/l
pH		7.5
(2) warm blood cardioplegia		
温度		37°C
電解質組成	Na	120 mEq/l 前後
	K (induction)	20 mEq/l 前後
	K (maintenance)	12 mEq/l 前後
浸透圧		360 mOsm/7 前後
pH		7.4 前後
Hct		20% 前後

房圧と左房圧をモニターし、Swan-Ganz カテーテルを挿入、心拍出量を測定した。

heparin (300 単位/kg) を静脈内投与したあと、上下大静脈脱血、右大腿動脈送血による完全体外循環を確立した。送血ポンプとして遠心ポンプを、人工肺には膜型人工肺を使用し、人工心肺血のヘマトクリットを 20~25% に維持した。全身灌流温は 37°C、灌流量は 120 ml/kg、灌流圧は 60~80 mmHg とした。

体外循環開始後心室細動とし、連続的心筋組織酸素飽和度測定を開始した。大動脈を遮断後、Buckberg-Shiley system を用い、晶質性心筋保護液 (表 1) にカリウムを追加した溶液と人工心肺血とを 1:4 で混合し、作成した常温血性心筋保護液を大動脈基部のカニューラより注入した。最初の 5 分間は高カリウム性導入液 (表 1) を毎分 100 ml で、次の 5 分間は低カリウム性維持液 (表 1) を毎分 40 ml で冠状動脈に注入し、その後冠灌流を停止した。15 分後大動脈遮

キーワード：近赤外分光法、心筋酸素飽和度、intermittent warm blood cardioplegia

\* T. Yasuda, T. Ushijima, M. Kawasuji (助教授), Y. Watanabe (教授)：金沢大学第一外科。

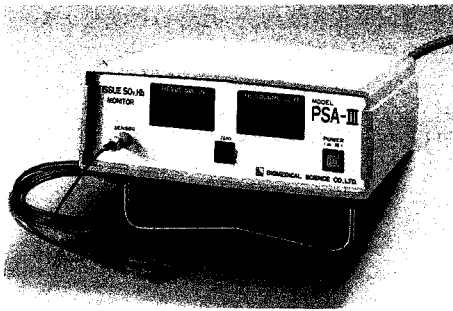


図 1.

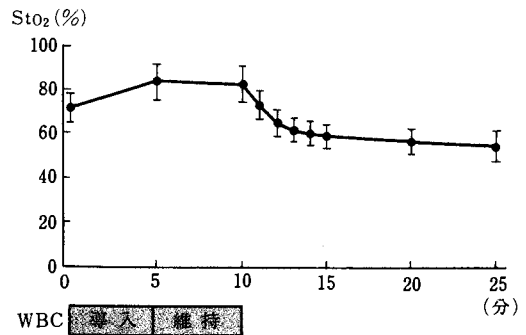


図 2.

表 2. IWBC 前後の血行動態

	IWBC 前	IWBC 後	
大動脈収縮期圧 (mmHg)	180.4 ± 14.2	141.4 ± 19.5	<i>p</i> < 0.05
心拍出量係数 (ml/分/kg)	133.2 ± 16.1	153.4 ± 19.1	<i>p</i> < 0.05
左室仕事量係数 (g · m/kg)	1.71 ± 0.43	1.50 ± 0.44	N.S.

断解除を行い、人工心肺灌流量を変えずに10分間空打ち心としたあと、収縮期圧が80 mmHgを越えた時点で灌流量を減じ体外循環から離脱した。大動脈遮断解除30分後に体外循環前の左房圧と同値になるよう輸液を調節し、体外循環前と同様に各種計測を行った。最後に無血心筋組織の吸光度を測定するため心室細動とし、心筋を1 lの heparin 加生理的食塩水で用手灌流し、血液を排除した。

## 2. 測定装置 (図1)

体外循環開始、心室細動後に右室前面にセンサーを貼付し測定を行った。原理は以下のとおりである。光に対しヘモグロビンは酸素飽和度に特異的な吸収変化を示す。2波長の光を心筋組織の表面に照射し、組織内で散乱した光の一部を照射点近傍の表面で受光し、Lambert-Beerの法則を適用しその吸光度を求めると、照射部位の組織酸素飽和度 (StO<sub>2</sub>) および組織ヘモグロビン量が測定できる<sup>9)</sup>。従来の装置では組織自体の吸光度を圧迫法を用いて求めていた。しかし心筋の場合、組織が柔らかい、組織後方に骨などの圧迫を支えるものがないという理由で圧迫法が困難であったため、われわれは heparin 加生理的食塩水灌流により心筋の血液を洗い出し、無血心筋組織の吸光度を求めた。

## 3. 心筋酸素消費量

温血心筋保護液を停止すると、冠血流は途絶し、StO<sub>2</sub>は低下する。低下する割合 a (%/分) を片対数

のグラフから求めると、心筋組織酸素消費量 MV<sub>O</sub><sub>2</sub> (ml/分/100 g 心筋) は次式より求めることができる。

$$MV_{O_2} = 1.39 \cdot a \cdot c / 1,000 \cdot e$$

ただし、c : 組織中のヘモグロビン量 (g/l)

e : 計測部位の比重 (g/ml)

c は本装置より求めることが可能であり<sup>9)</sup>、心筋の比重 e は直接測定を行った。

## II. 結 果

遮断解除後に除細動を必要とした例はなく、全例人工心肺からの離脱が可能であった。IWBC 前後の血行動態を表2に示す。大動脈収縮期圧はIWBC後に有意に低下したが、心拍出量係数は有意に増加した。左室仕事量係数はIWBC前後で有意差はなかった。

温血心筋保護液投与および停止中の StO<sub>2</sub> の変動を図2に示す。StO<sub>2</sub> は WBC 導入液投与中に上昇を示し (72.0 ± 6.4% → 83.7 ± 8.1%)、維持液投与中に軽度の低下傾向を示した (83.7 ± 8.1% → 82.4 ± 8.3%)。維持液による冠灌流を停止すると StO<sub>2</sub> は著明に低下し、1分後 73.4 ± 6.8%、2分後 65.0 ± 5.7% となり、5から10分後に55%前後でプラトーに達した。StO<sub>2</sub> のグラフより求めた IWBC 停止時の心筋の酸素消費量は、2.02 ± 0.84 ml/分/100 g 心筋であった。

### III. 考 察

近赤外光を照射し、その散乱光を受光することで吸光度を求め、無侵襲で照射部位の  $StO_2$  を連続的に測定するという本方法は脳、筋組織の分野では報告されており、臨床応用されつつある<sup>9,10)</sup>。本モニターは従来の冠状静脈洞採血による酸素飽和度測定モニターに比べ、貼付するのみで操作が簡単であり、冠血流を遮断しても測定可能で、貼付部位における局所的酸素代謝がわかるといった有利な点がある。Parsons らは、冠状動脈閉塞時における局所心筋の酸素化を光学的モニタリングを用いて解明しているが<sup>11)</sup>、体外循環中常温血性心筋保護液投与時の心筋酸素代謝を連続的に測定した報告はない。

本実験において大動脈収縮期圧は人工心肺後有意に低下したが、心拍出量係数はかえって有意に増加し、左室仕事量係数に変化はなかった。この原因として AWBC の良好な心筋保護効果<sup>12)</sup>、人工心肺中の内因性カテコラミンの増加<sup>13)</sup>、補体活性化による末梢血管抵抗の低下<sup>14)</sup>、などが考えられる。しかし本実験での大動脈遮断時間は 25 分で、灌流停止時間は 15 分と短時間であり、IWBC の優秀性をこの実験で結論することはできない。

本実験における導入液投与中の  $StO_2$  の上昇は心筋が電気的機械的に停止し、心筋酸素消費量が低下したためと考えられる<sup>15)</sup>。導入液から維持液にすると  $StO_2$  は有意差はなかったが軽度の低下傾向を示した。維持液の酸素運搬量は導入液の 40% と少ないため、ヘモグロビンの酸素解離が促進した結果と考えられる。維持液停止時の  $StO_2$  の低下は急激であるが、2、3 分後にその低下は軽度になり、5~10 分後にほぼプラトーとなった。これは冠灌流停止、心筋虚血による心筋酸素消費の制限と noncoronary collateral flow (NCCF) による酸素供給が平衡状態をなしたためであろう。心室細動後、大動脈遮断を行うと NCCF が著増し、さらに人工心肺灌流圧が高い場合やヘマトクリットが低い場合 NCCF は増加する<sup>16)</sup>。常温心停止時の酸素代謝測定において NCCF は今後詳細に検討すべき課題と思われる。

われわれの求めた心筋組織酸素消費量は平均 2.02 ml/分/100 g 心筋であり、従来の報告例<sup>12,15)</sup>に比べ若干高かった。本モニターでの心筋酸素消費量測定は血液灌流を遮断し、その時点からの  $StO_2$  の低下を計算して値を求めるというものである。IWBC 中の心停

止状態において心筋虚血時間と酸素消費量は比例関係にあり、その原因は虚血により酸素負債が生じるためとの報告がある<sup>17)</sup>。本実験ではその影響を受け従来報告例より大きくなったと推察される。

常温血性心筋保護液冠灌流量の増減、常温血性心筋保護液投与および停止の反復実験等を行い、心筋組織酸素代謝がどう変化するかを今後実験により明らかにする予定である。また、現在われわれは無血心筋組織の吸光度を計測する必要のない 3 波長方式の心筋モニターを開発中であり、これは開心術中に心筋の酸素代謝および循環を測定できる装置として臨床応用が可能と考えている。

### おわりに

心筋表面へ貼付するだけで  $StO_2$  が測定可能な、近赤外光を利用したモニターを用い、IWBC 施行中の心筋酸素代謝の解明を試みた。本装置は貼付領域の酸素代謝を鋭敏に反映し、また酸素飽和度のグラフより心筋酸素消費量を求めることも可能であった。今後は開心術中の心筋モニターとして臨床応用が期待される。

### 文 献

- 1) Lichtenstein SV, Ashe KA, Dalati HE et al : Warm heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* **101** : 269, 1991
- 2) The warm heart investigators ; randomised trial of normothermic versus hypothermic coronary bypass surgery. *Lancet* **343** : 559, 1994
- 3) Landymore RW, Marble AE, Fris J : Effect of intermittent delivery of warm blood cardioplegia on myocardial recovery. *Ann Thorac Surg* **57** : 1267, 1994
- 4) Pelletier LC, Carrier M, Leclerc Y et al : Intermittent antegrade warm versus cold blood cardioplegia ; a prospective randomized study. *Ann Thorac Surg* **58** : 41, 1994
- 5) Ali IM, Kinley CE : The safety of intermittent warm blood cardioplegia. *Eur J Cardiothorac Surg* **8** : 554, 1994
- 6) Calafiore AM, Teodori G, Mezzetti A et al : Intermittent antegrade warm blood cardioplegia. *Ann Thorac Surg* **59** : 398, 1995
- 7) Misare BD, Krukenkamp IB, Lazer ZP et al : Recovery of postischemic contractile function is depressed by antegrade warm continuous blood cardioplegia. *J Thorac Cardiovasc Surg* **105** : 37, 1993
- 8) 酒井秋男, 斉藤建夫, 東 弘三ほか : 組織酸素飽和度

(StO<sub>2</sub>) およびヘモグロビン量 (Hb vol) 測定装置の開発. 医器学 64 : 264, 1994

- 9) Narita N, Tominaga T, Koshu K et al : Monitoring of brain haemoglobin concentration and oxygen saturation using a three wavelength spectrophotometric method. Neurol Res 16 : 428, 1994
- 10) Seiyama A, Hazeki O, Tamura M : Noninvasive quantitative analysis of blood oxygenation in rat skeletal muscle. J Biochem 103 : 419, 1988
- 11) Parsons WJ, Rembert JC, Bauman R : Myocardial oxygenation in dogs during partial and complete coronary artery occlusion. Circ Res 73 : 458, 1993
- 12) 藤井 奨 : 常温血性心筋保護液による開心術中の心筋保護法に関する研究. 十全医会誌 103 : 293, 1994
- 13) Landymore RW, Murphy DA, Kinley CE et al : Does pulsatile flow influence the incidence of postoperative hypertension? Ann Thorac Surg 28 : 261, 1979
- 14) Christakis GT, Koch JP, Deemar KA et al : A randomized study of the systemic effects of warm heart surgery. Ann Thorac Surg 54 : 449, 1992
- 15) Buckberg GD, Brazier JR, Nelson RL et al : Study of the effects of hypothermia on regional myocardial blood flow and metabolism during cardiopulmonary bypass ; I. the adequately perfused beating, fibrillating, and arrested heart. J Thorac Cardiovasc Surg 73 : 87, 1997
- 16) Brazier J, Hottenrott C, Buckberg G : Noncoronary collateral myocardial blood flow. Ann Thorac Surg 19 : 426, 1975
- 17) Landymore RE, Marble AE, MacAulay MA : Myocardial oxygen consumption and lactate production during antegrade warm blood cardioplegia. Eur J Cardiothorac Surg 6 : 372, 1992

## SUMMARY

### Continuous Measurement of Myocardial Oxygen Saturation using Near-infrared Spectroscopy during Warm Blood Cardioplegia

Tamotsu Yasuda et al., Department of Surgery I, Kanazawa University School of Medicine, Kanazawa, Japan

Continuous infusion of warm blood cardioplegic solution is often interrupted during coronary artery bypass grafting to obtain a bloodless operating field. We measured myocardial oxygen saturation continuously using near-infrared spectroscopy to determine myocardial oxygen metabolism during intermittent warm blood cardioplegia (IWBC).

In 7 adult mongrel dogs undergoing cardiopulmonary bypass IWBC was administered using the Buckberg-Shiley system. Cardiac arrest was induced by a warm blood cardioplegic infusion of 100 ml/min for 5 minutes followed by a maintenance infusion of 40 ml/min for 5 minutes. The infusion of warm blood cardioplegia was then stopped for 15 minutes. Measurement of myocardial oxygen saturation was performed continuously throughout cardiopulmonary bypass. IWBC produced an increase in myocardial oxygen saturation for the first 5 minutes and a slight decrease for the second 5 minutes. After the termination of IWBC, myocardial oxygen saturation showed a marked reduction for 3 minutes and plateaued after 5 minutes. Measurement of myocardial oxygen saturation revealed myocardial oxygen metabolism during IWBC. This procedure may be a useful way to monitor myocardial oxygen metabolism during open heart surgery.

**KEY WORDS** : near-infrared spectroscopy/myocardial oxygen saturation/intermittent warm blood cardioplegia