体外循環における経皮的炭酸ガス分圧 (tcPCO₂) モニターの使用経験

大岩成明 宗方 夕 中嶋浩詞 柴野永利子 東 秀一 中川 尚
鷺尾享之 山本裕隆 高味良行¹⁾ 増本 弘¹⁾ 高橋利通²⁾

要旨 体外循環における経皮的炭酸ガス分圧モニターSENTEC 社デジタルモニターシステムを臨床使用した。体外循環を行った 2 症例の成人患者を対象とした。SENTEC のプローブを右耳朶に装着した。術中、無作為に経皮的炭酸ガス分圧 (tcPCO₂) 並びに左橈骨動脈、あるいは人工心肺回路からの PaCO₂ を同時測定し比較検討した。人工換気および体外循環中の相関係数は $R=0.62$ ($P<0.05$)、回帰直線は $Y=1.02X-1.37$ で正の相関を認めた。しかし末梢組織での炭酸ガス換気応答を見る tcPCO₂ モニターは体外循環に伴う不均衡な末梢循環のため、PaCO₂ と tcPCO₂ の測定値にばらつきが見られた。そのため体外循環における tcPCO₂ モニターは不均衡な末梢循環のため、炭酸ガス換気応答の指標としては信頼性が低いことが示唆された。

索引用語：経皮的炭酸ガス分圧、PaCO₂、体外循環、不均衡な末梢循環

Use experience of a percutaneous carbon dioxide partial pressure (tcPCO₂) monitor in extracorporeal circulation

Noriaki Ohiwa, Yu Munekata, Kouzi Nakazima, Eriko Shibata Syuuichi Azuma, Hisa Nakagawa, Takayuki Washio, Takayuki Yamamoto, Yosiyuki Takami, Hiroshi Masumoto, Toshimitsu Takahashi

Key words: percutaneous carbon dioxide partial pressure, PaCO₂, extracorporeal circulation, Unequal tip circulation

[J Extra-Corporeal Technology 34(2): 99-102, 2007]

I. 緒言

周術期には、肺のガス交換能（酸素化・換気）が適切に行われているか、経時的に、正確に、そして非侵襲的にモニターすることが重要である。現在では炭酸ガス換気応答は呼気終末炭酸ガス分圧（以下、PetCO₂）を測定し動脈血二酸化炭素分圧（以下、PaCO₂）を推測することによりモニターしている¹⁾。しかし PetCO₂ は高二酸化炭素血症、腹腔鏡下手術、高頻度ジェット換気時、あるいは分離肺換気時では PaCO₂ と大きく解離することが指摘されている²⁻⁴⁾。近年、小児での有用性が数多く報告されている経皮的炭酸ガス分圧（以下、tcPCO₂）モニターが改良され、成人でも臨床応用が行われている。これは、小

型のセンサーを耳朶に装着するだけで tcPCO₂ を連続的かつ非侵襲的に測定できる簡便な測定装置である⁵⁾。周術期の tcPCO₂ の有用性は数々報告されているが²⁻⁴⁾、体外循環での炭酸ガス換気応答を見る tcPCO₂ 測定の報告例はまだ数少ない。そこで今回、tcPCO₂ モニター、SENTEC 社デジタルモニターシステムを使用する機会を得たので、体外循環における PaCO₂ と tcPCO₂ の相関について、その有用性を検討したので報告する。

II. 対象

2006 年の待機手術成人患者 2 症例で、基礎疾患は大動脈弁閉鎖不全症 1 例、僧帽弁閉鎖不全症 1 例で、術式は大動脈弁置換および僧帽弁形成術を行った。体外循環は、遠心ポンプ送血および落差脱血にて行い、灌流指数は 2.5L/min/m² とし、軽度低体温にて体外循環を施行した（表 1）。体外循環回路は TERUMO 社スピードパックを使用し、連続血液ガス分析装置 TERUMO 社 CDI500 を組み込んで使用した。体外循環中の換気条件は吹送ガス流量/送血流量 0.7 で開始し、適宜変更して行った。

©春日井市民病院 臨床工学技術室

大岩成明 (Noriaki Ohiwa)

Department of Clinical Engineering, Kasugai Municipal Hospital

1-1-1, Takagicho, Kasugai-chi, Aichi 486-8510, Japan

1) 春日井市民病院 心臓血管外科

2) 同 麻酔科

表1 症例データ

	症例 1	症例 2
年齢 (age)	70	54
BSA (m ²)	1.45	1.40
手術時間 (min)	341	302
体外循環時間 (min)	191	165
大動脈遮断時間 (min)	143	112
最低直腸温 (°C)	33.1	33.1

III. 方法

全身麻酔導入後手術開始前に SENTEC 社デジタルモニターシステム (図1) の tcPCO₂ センサーを患者の右耳朶に装着し、手術終了まで測定を行った。術中、無作為に tcPCO₂ 並びに左橈骨動脈、あるいは人工心肺回路から採血し、血液ガス分析装置 (ラジオメーター社 ABL615) で PaCO₂ を測定し、人工換気および体外循環中の PaCO₂ と tcPCO₂ を比較した。また、末梢循環不全の指標として、血清乳酸値、左右足底温、体血管抵抗、酸素供給量、酸素消費量を手術開始時、人工心肺開始時、人工心肺離脱時、手術終了時に測定し、PaCO₂ と tcPCO₂ を比較検討した (表2)。

図1 SENTEC 社デジタルモニターシステム

図2 TERUMO 社 CDI500

表2 末梢循環の指標

	手術開始時	CPB 開始時	術中開始時	CPB 離脱時	手術終了時
PaCO ₂ (mmHg)	35.4±1.2	30.1±0.0	33.0±0.6	32.0±0.0	35.8±1.6
tcPCO ₂ (mmHg)	34.8±2.9	29.1±2.9	33.0±1.0	29.9±3.9	41.5±5.9
乳酸 (mmol/L)	1.6±0.1	2.6±0.3	2.6±0.3	1.9±0.1	1.8±0.0
右足底温 (°C)	32.4±3.2	33.0±3.6	31.5±1.7	34.2±1.6	35.5±0.7
左足底温 (°C)	32.1±2.9	33.2±3.0	32.0±1.6	33.5±2.3	36.0±0.4
SVR (a)	1772±729.7	2060.6±207.2	1637.5±197.3	1703±302.8	1660±598.2
酸素供給量 (b)	379.6±92.3	249.5±34.2	306.7±24.8	306.3±12.3	413.3±45.6
酸素消費量 (b)	96.6±12.2	44.2±4.9	33.0±22.1	70.8±9.3	121.2±21.3

(a) : dyne · sec/cm² (b) : ml/min/m²

更に体外循環中 TERUMO 社 CDI500 (図2) の PaCO₂ と tcPCO₂ を 15 分ごとに比較した。PaCO₂ と tcPCO₂ の相関は直線回帰分析で行った。

SENTEC 社デジタルモニターシステムは、動脈血中の炭酸ガス分圧、酸素飽和度並びに脈波を、非侵襲的にかつ継続的にモニターするシステムである、炭酸ガス分圧センサーと酸素飽和度センサーが一体化し、炭酸ガス分圧センサーは pH ガラス電極で炭酸ガスにより比較電極との間に発生する電圧を測定する方式を使用している。銀-塩化銀から構成される比較電極は pH 電極との電位差から炭酸ガス分圧を計測している。更にセンサー中心部を 42°C に加熱し、これにより耳朶組織内血液の動脈化が促進され、静脈血や毛細管血液が動脈に近い状態になる。pH 電極まで到達した炭酸ガスは動脈血炭酸ガス分圧と近似すると言われ、これにより tcPCO₂ を測定している。

IV. 結果

人工換気および体外循環中の PaCO₂ と tcPCO₂ の相

$$Y = -1.37 + 1.02X \quad r = 0.62 (P < 0.05, (n = 16))$$

図3 PaCO₂ と tcPCO₂ の比較

関係数は $r=0.62$ ($P<0.05$)、回帰直線は $Y=1.02X-1.37$ で PaCO_2 と tcPCO_2 の差は $0.64 \pm 1.44 \text{ mmHg}$ (Mean $\pm$ SD) であり、正の相関を示した (図 3)。回帰直線の右下は復温後で、左上は人工心肺離脱後でばらつきが見られ、末梢循環の不均衡が考えられた。また CDI500 の PaCO_2 と tcPCO_2 の相関係数は $r=0.71$ ($P<0.05$)、回帰直線は $Y=0.90X+0.93$ で PaCO_2 と tcPCO_2 の差は $2.3 \pm 1.03 \text{ mmHg}$ (Mean $\pm$ SD) であり、正の相関を示した (図 4)。回帰直線の右下は復温後で、同様の傾向が示された。また、症例別に経過を見ると、症例 1 (図 5) は人工心肺開始、natural cooling、復温、人工心肺離脱までの間、 PaCO_2 と tcPCO_2 に大きな開きはなかった。

症例 2 (図 6) は人工心肺開始、natural cooling まで PaCO_2 と tcPCO_2 に大きな開きはなかったが、復温、人工心肺離脱、人工心肺離脱後も、 PaCO_2 と tcPCO_2 に若干のばらつきが見られた。症例 1、症例 2 ともに復温開始から人工心肺離脱までに tcPCO_2 は PaCO_2 より大きく低下した。更に症例 2 は人工心肺離脱後の人工換気時に tcPCO_2 は PaCO_2 より大きく上昇した。これらの結果から体外循環による軽度低体温および復温の影響で PaCO_2 と tcPCO_2 は解離する結果が得られた。 tcPCO_2 は、復温開始時から人工心肺離脱時に PaCO_2 より低下し、人工心肺離脱時から手術終了時には PaCO_2 より上昇した。血清乳酸値は人工心肺中に軽度の増加を認めたが大きな変化は見られなかった。左右足底温は、復温開始時から軽度上昇した。体血管抵抗は人工心肺開始から徐々に低下し、手術終了時まで低下し続けた。酸素消費量は人工心肺開始時から復温開始時にかけて低下し、復温開始時から人

図 4 CDI (PaCO_2) と tcPCO_2 の比較

工心肺離脱時、手術終了時にかけて大きく増加した。

V. 考 察

体外循環では、低体温、脈圧消失、低灌流圧、血液希釈、循環血液量などが変化し、生体に様々な影響が加わる。なかでも重要な臓器の血流、酸素供給を維持するように臓器の血流分布は変動し、更に低体温や体外循環中の低血圧の影響で内因性カテコラミンなどの内分泌系が変動し、末梢血管抵抗が増大し、末梢循環は不均衡になる⁶⁾。人工心肺中の体血管抵抗の変動に関する報告は多く、例えば体血管抵抗は人工心肺開始直後に一過性に低下するがその後上昇を続け、復温とともに低下し、人工心肺終了直後には更に一過性に低下するとしている報告もある⁷⁾。また体外循環中の温度が生体に及ぼす影響に関する報告も多く、低体温を併用した体外循環直後の生体では酸素運搬量に強く依存した酸素消費や炭酸ガス産生の亢進などの代謝異常が認められ、これらの現象は復温期に生じた酸素負債の遷延によるものと考えられている⁸⁾。

今回、末梢組織での炭酸ガス換気応答を見る tcPCO_2 モニターを用い、人工換気および体外循環における PaCO_2 と tcPCO_2 の相関について調べた。そ

図 5 症例 1 (AVR)

図 6 症例 2 (MAP)

の結果、直線回帰分析では正の相関を示していたが、復温開始時から人工心肺離脱時、手術終了時における PaCO_2 と tcPCO_2 の測定値に若干のばらつきが見られた。そのため、体外循環における代謝回復過程の影響に注目し、手術開始時、人工心肺開始時、復温開始時、人工心肺離脱時、手術終了時の酸素代謝、炭酸ガス産生について検討した。体外循環では復温開始時から人工心肺離脱時、手術終了時にかけて PaCO_2 と tcPCO_2 の測定値に若干のばらつきが見られた。その理由として軽度低体温における深部冷却と復温操作が生体の代謝に何らかの負荷をもたらしたことが想像され、軽度低体温により生体の酸素消費量を低下させ、全身の代謝を抑制することは体外循環に伴う非生理的病態の一部を改善するには有用である。逆に冷却維持した生体を急速に復温する際には酸素負債と呼ばれる異常な代謝変動を伴うことが示唆された。

更に末梢循環不全を来するような病態並びに術式の場合、血流の不均等分布によると考えられる tcPCO_2 の上昇と PaCO_2 との解離を認める報告があり⁹⁾、体外循環では、不均衡な末梢循環および軽度低体温の復温期に生じた酸素負債の遷延による影響で、 PaCO_2 と tcPCO_2 は解離することがわかった。そのため、炭酸ガス換気応答の指標に tcPCO_2 を使用するには問題があると考えられる。またセンサー中心部を 42°C に加熱するシステムのため、超低体温や循環停止を伴う手術の場合は、センサー貼付部の熱傷に注意する必要がある。しかし PaCO_2 と tcPCO_2 の解離現象は、末梢組織において低体温体外循環における代謝回復過程の不均衡を示す指標になるとも考えられる。

VI. 結 語

tcPCO_2 は PetCO_2 が信頼できず、かつ炭酸ガス換気応答をより厳密にモニターすることが必要となるような腹腔鏡下手術、高頻度ジェット換気時、あるいは

分離肺換気時がよい適応になると考えられている。しかし体外循環では、不均衡な末梢循環および軽度低体温の復温期に生じた酸素負債の遷延による影響で、 PaCO_2 と tcPCO_2 は解離することがわかった。そのため、炭酸ガス換気応答の指標に使用するには問題がある。

●参考文献

- 1) 山蔭道明, 佐藤順一, 岩崎創史, ほか: 新しい経皮的二酸化炭素分圧モニター TOSCA の臨床評価. 臨床麻酔, 7;1164-1168, 2005.
- 2) 中村昭也, 金井優典, 水嶋章郎, ほか: 腹腔鏡下手術における経皮的炭酸ガス分圧モニターの有用性. 麻酔, 52;846-51, 2003.
- 3) 水嶋章郎, 中村昭也, 河内 泰, ほか: 高頻度ジェット換気による喉頭微細手術での経皮血中ガスモニターの有用性. 麻酔, 51;1331-1335, 2002.
- 4) 水嶋章郎, 金井優典, 神山洋一郎, ほか: 経皮血中ガス分圧モニター周術期の非侵襲的換気モニタリング. 臨床麻酔, 25;213-217, 2001.
- 5) 坂田麻理子, 久保隆彦: 経皮的血液ガス分圧測定装置. Clinical Engineering, 15;1083-1087, 2004.
- 6) 田山栄基: 体外循環の病態生理. 日本人工臓器学会, 体外循環と補助循環. 2005. p. 35-43.
- 7) 小林 彰, 下川新二, 牛島 孝, ほか: 体外循環中の体血管抵抗に関する要因の検討. 人工臓器, 27;76-80, 1998.
- 8) 宇藤純一, 森山周二, 國友隆二, ほか: 体外循環後の代謝変動および酸塩基平衡から観た低体温法と常温法の比較. 人工臓器, 27;445-447, 1998.
- 9) 吉岡真実, 福井道彦, 畑中哲生, ほか: 出血性ショックにおける経皮的ガス分圧モニターの有用性. 麻酔, 41;238-244, 1992.

〔 本論文は、第 32 回日本体外循環技術医学
会大会にて報告した。 〕