

□原著□

## 腹腔鏡下外科手術における二酸化炭素排出量の評価 —代謝モニターによる測定

原口信之\*<sup>1</sup> 宮地哲也\*<sup>1</sup> 高橋正裕\*<sup>1</sup> 工藤雄司\*<sup>1</sup>  
片桐 淳\*<sup>2</sup> 謝 宗安\*<sup>2</sup> 大村昭人\*<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Evaluation of carbon dioxide absorption and gas exchange during  
laparoscopic cholecystectomy and herniorrhaphy :  
Measurement by two types of metabolic monitors

Nobuyuki HARAGUCHI, Tetsuya MIYAJI, Masahiro TAKAHASHI, Yuji KUDOH,  
Jun KATAGIRI, Muneyasu SHA, Akito OHMURA  
*Department of Medical Engineering and Department of Anesthesiology  
School of Medicine, Teikyo University*

The purpose of this study is to evaluate pulmonary gas exchanges in 12 patients undergoing two different surgeries : laparoscopic cholecystectomy (N=6) and laparoscopic herniorrhaphy (N=6). Anesthesia was maintained with a continuous infusion of propofol and intermittent administrations of fentanyl and vecuronium combined with epidural anesthesia. Patients were ventilated with a tidal volume of 10 ml/kg and respiratory rate of 10 times per minute and were kept constant throughout both surgeries. Measurements of carbon dioxide elimination ( $\dot{V}_{CO_2}$ ) and oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) were continuously made by two types of metabolic monitors (Puritan-Bennett 7250 and Deltatrac II) from the time before insufflation to 20 minutes after the desufflation.  $\dot{V}_{CO_2}$  was measured at 0.5 and various fractions of inspired oxygen ( $FI_{O_2}$ ). There were no systemic errors related to changing  $FI_{O_2}$  below 0.8.  $\dot{V}_{CO_2}$  and end-tidal carbon dioxide tension ( $PET_{CO_2}$ ) during laparoscopic herniorrhaphy increased with time after  $CO_2$  insufflation and they were greater (36-45%) than those (28-34%) during laparoscopic cholecystectomy.  $\dot{V}_{O_2}$  did not change during both procedures and pneumoperitoneum. A greater increase in  $\dot{V}_{CO_2}$  during herniorrhaphy was mainly due to the absorption of  $CO_2$  from the subcutaneous emphysema.

### はじめに

近年、腹腔鏡下外科手術での二酸化炭素

( $CO_2$ ) 気腹の増加に伴い、 $CO_2$  動態や終末呼気  $CO_2$  分圧 ( $PET_{CO_2}$ ) モニターの重要性が唱えられている<sup>1)</sup>。また、腹腔鏡下胆嚢摘出術と腹腔鏡下鼠径ヘルニア修復術では、気腹中の  $CO_2$  動態や  $PET_{CO_2}$  が異なると報告されている<sup>2)</sup>。

\*<sup>1</sup> 帝京大学医学部附属溝口病院 ME 科

\*<sup>2</sup> 帝京大学医学部附属溝口病院麻酔科

今回われわれは最新の代謝モニタの2種類を使用し、CO<sub>2</sub> 気腹前後の分時酸素消費量 (V<sub>O<sub>2</sub></sub>), 分時二酸化炭素排出量 (V̇CO<sub>2</sub>), PETCO<sub>2</sub>などの動態を調べ、あわせて代謝モニターの信頼性について検討した。

## 方 法

腹腔鏡下胆嚢摘出術 (以下胆摘術) と腹腔鏡下鼠径ヘルニア修復術 (以下ヘルニア修復術) を受ける ASA 分類 I ~ II の患者それぞれ 6 名を対象とした。ヘルニア修復術は腹腔内法と腹腔外法の両者を含んだ。麻酔前投薬としてアトロピン 0.5 mg を筋注した。麻酔の導入は 6 μg/kg のフェンタニル, 0.07 mg/kg のミタゾラム, または 1~2 mg/kg のプロポフォールで, 維持は 2~6 mg/kg/時間のプロポフォールの持続注入とベクロニウムの間欠的投与で行った。また 1~2% のメピバカインによる硬膜外麻酔を併用した。吸気ガスは亜酸化窒素を使用せず, 酸素 50% と窒素 50% とした。気腹前の一回換気量を 10 ml/kg, 換気回数を 10~12 回/分とし, PETCO<sub>2</sub> が 26~32 mmHg になるように調節換気を行い, 気腹中はこの換気量を一定とした。気管内チューブと Y アダプター間に人工鼻 (Humid-Vent, Gibeck) を置いた。最大気腹圧は両手術とも 12 mmHg とした。手術終了後, 吸気酸素濃度は 50% を維持し, 同期式間欠的強制換気 (SIMV) 5 回/分と, 10 cmH<sub>2</sub>O のプレッシャーサポート換気 (PSV) とした。

測定機器はピューリタン・ベネット社製 7250 代謝モニター (以下 PB 7250) と, デイテックス社製デルタトラック II (以下 DD II) を用いた。測定はベンチレータとして PB 7200 ae を使用し, 両機種とも吸気回路にサンプリングチューブを接続し, 呼吸は PB 7250 では呼気回路にサンプリングチューブを, DD II では PB 7200 ae から排出される呼気すべてをミキシングチャンバー内に取り込み, V̇O<sub>2</sub>, V̇CO<sub>2</sub> を求めた。PB 7250 は体温, 湿度飽和ガス (BTPS) 表示なので, 標準温度乾燥ガス (STPD) 量を計算し, 両者の STPD を比較した。ウォーミングアップ時間は 1 時間とした。また PETCO<sub>2</sub> はオメガ社製 5250

RGM でその他体温などを測定した。測定時期は, 麻酔深度が安定した後で気腹前 10 分, 気腹後 15, 30, 60, 90, 120 分, 気腹終了直後, および気腹終了後 20 分とした。測定結果は平均±標準偏差で表した。統計学的処理は群内では paired t test, 群間は Mann-Whitney test で行い, P<0.05 を有意差ありと判定した。

## 結 果

対象患者は, 胆摘術群で年齢 54±19 (29~69) 歳, 身長 152±11 cm, 体重 55±9 kg に対し, ヘルニア修復群では年齢 61±12 (39~73) 歳, 身長 159±7 cm, 体重 59±12 kg で, 両群間に差はなかった。また直腸温にも差がなかった。

胆摘群の気腹前の V̇CO<sub>2</sub> は, DD II と PB 7250 の両群間に差はなかったが, DD II がやや大きい値を示した。気腹とともに V̇CO<sub>2</sub> は緩やかに増加し, 気腹中は最大 28~34% 増加し, 気腹終了後 20 分値では 68~70% と大きく増加した (図 1)。同様にヘルニア修復術における DD II と PB 7250 の V̇CO<sub>2</sub> は図 2 のようで, 両群間で有意差はなかった。気腹中の V̇CO<sub>2</sub> の最大値は 36~45% 増加し, 胆摘術より大きく変化した。終了後 20 分では, 2 例のみであり平均値のみ表すと 122~167% の増加を示した。90 分値での低下は, 高値を示していた症例が 90 分以内に手術が終了したためと考えられた。ヘルニア修復術の V̇O<sub>2</sub> は両機種間に差を認めなかった。気腹中の V̇O<sub>2</sub> も気腹前値と有意差はなかったが, 徐々に上昇する傾向がみられた。これは胆摘術でも同様であった。PETCO<sub>2</sub> はヘルニア修復術では気腹終了時まで増加し続けたのに対し, 胆摘術では増加度が小さく, プラトーに近い型を示した (図 3)。

## 考 察

胆摘術患者の V̇CO<sub>2</sub> の最大増加率は 28~34% であったが, これは Tan らの 30%<sup>1)</sup>, Wolf らの 26%<sup>3)</sup>, Mullet らの 25%<sup>4)</sup>, の報告とほぼ一致していた。Ho らは<sup>5)</sup>二酸化炭素と窒素で同じ腹腔内圧の気腹を行い, 窒素では V̇CO<sub>2</sub> の増加をみなかったことから, V̇CO<sub>2</sub> 増加は腹腔内 CO<sub>2</sub> の血管内吸収によると結論している。

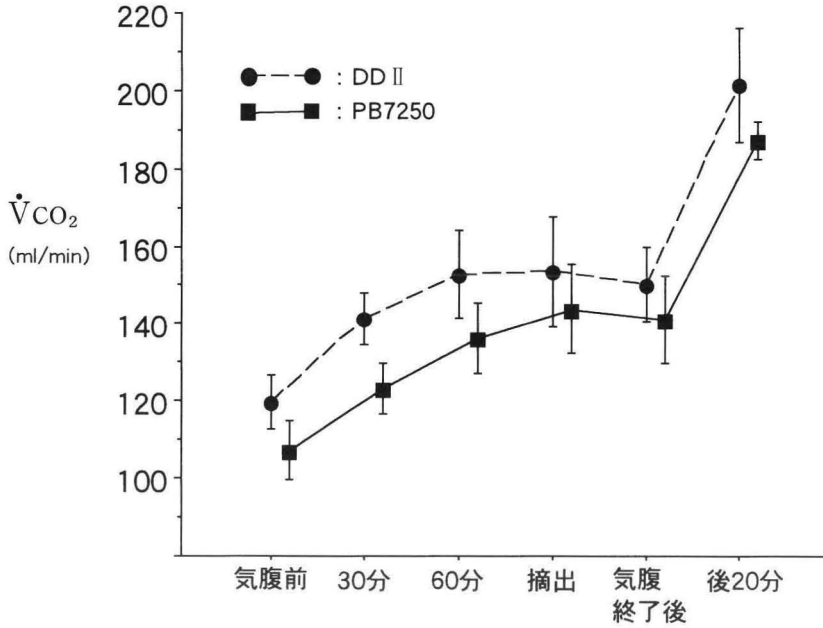


図 1 腹腔鏡下胆嚢摘出術：  
DD II と PB 7250 の  $\dot{V}CO_2$  (STPD) の比較

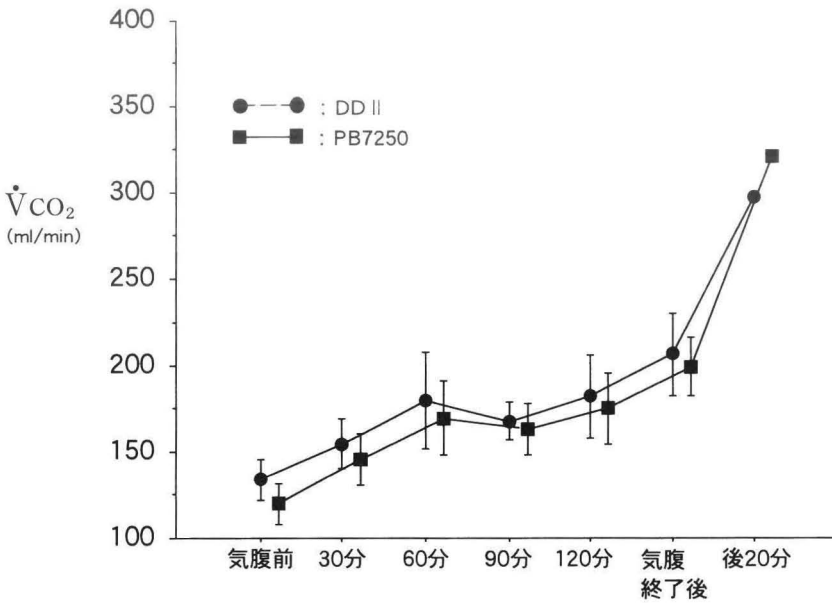


図 2 腹腔鏡下ヘルニア修復術：  
DD II と PB 7250 の  $\dot{V}CO_2$  (STPD) の比較

一方ヘルニア修復術では  $\dot{V}CO_2$  の最大増加率は 36~45% と、胆摘術より大きかった。この手術法による  $\dot{V}CO_2$  の違いは、酸素消費量に差がな

かったことから、体内に産生される  $CO_2$  によるものでなく、気腹に用いた  $CO_2$  が体内に吸収される量の違いによると考えられた。Wolf らは<sup>3)</sup>

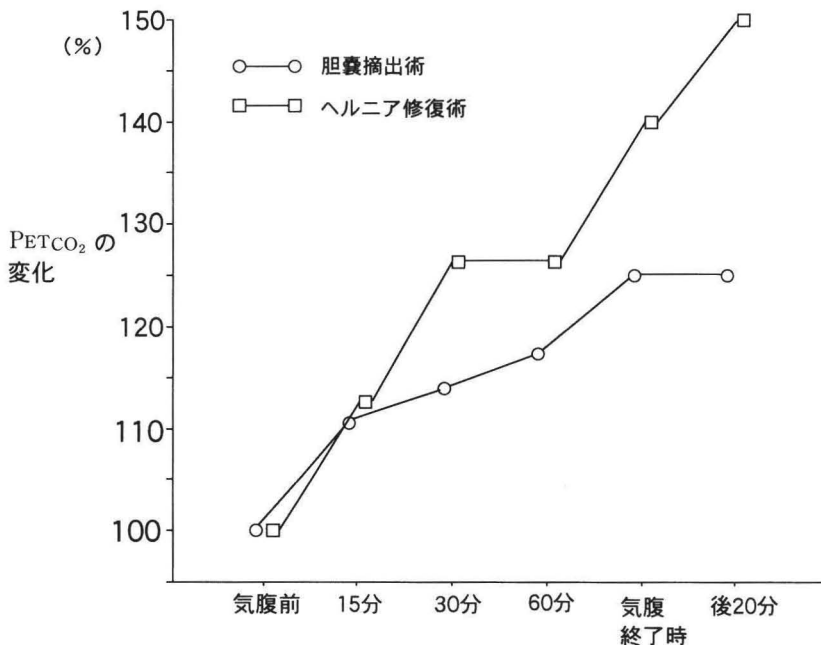


図 3 胆嚢摘出術とヘルニア修復術の PETCO<sub>2</sub> の比較

腹腔鏡下腎摘術において、 $\dot{V}CO_2$  は皮下気腫例で 113% 増，皮下気腫を生じなかった例で 26% 増であり，腹膜外法で皮下気腫を伴った例での肺からの CO<sub>2</sub> 排出増加を認めている。皮下気腫は容易に広がることができ，血管と接触する面積を増加しうることで，気腹では腹膜と血管壁を経て CO<sub>2</sub> は血管内に吸収されるのに対し，皮下気腫や腹膜前気腫では血管壁のみを経て CO<sub>2</sub> が吸収されることから， $\dot{V}CO_2$  の差を生じたものと理解された<sup>6)</sup>。今回の結果では，触診で判別できる皮下気腫は胆摘術において 1 例もなかったのに対し，ヘルニア修復術では 4/6 に認められた。

酸素消費量は少し増大傾向をみせたが，有意変化ではなかった。諸家の成績も変化がないとの報告が多い<sup>1)5)7)</sup>。Lind は 7% の軽度増加を認め<sup>8)</sup>，この増加度は開腹術より小さく，血圧の上昇度と相関していたとしている<sup>9)</sup>。以上，CO<sub>2</sub> 気腹時下の代謝モニターの変化を述べたが，臨床的には PETCO<sub>2</sub> モニターが簡便である。

胆摘術の PETCO<sub>2</sub> は，Mullet らが<sup>1)</sup>述べているように気腹後短時間に増加し，その後は極めて緩やかに増加するプラトー型が多かった。一方ヘルニア修復術では持続増加型であった<sup>6)</sup>。Liem ら

は<sup>2)</sup>気腹時間が 40 分と短い例で PaCO<sub>2</sub> 上昇度に差はないこと，しかし上昇スピードはヘルニア修復術で速かったことを報告している。

今回使用した 2 機種は  $\dot{V}O_2$ ， $\dot{V}CO_2$  がほぼ一致した値を示し，その測定値は信頼しうると考えられた。この代謝モニター 2 種類の特徴を比較すると，表のような項目があげられる。測定原理は PB 7250 が breath by breath 法で行われ，DD II は mixing chamber dilution 法である。従来の代謝モニターは，吸気酸素分画 FI<sub>O<sub>2</sub></sub> が 0.6 以上では測定値の精度が低くなるのが指摘されている<sup>10)</sup>。今回使用した両機種の高濃度酸素下でのテストを行ったところ，PB 7250 は FI<sub>O<sub>2</sub></sub> が 0.9 以下で，DD II は 0.8 以下で使用可能であった。PB 7250 は PB 7200 ae ベンチレータ専用であるのに対し，DD II は各種ベンチレータと，自発呼吸下の測定装置であるキャノピーを用いて自発呼吸下の測定が可能である。PB 7250 の測定誤差は FI<sub>O<sub>2</sub></sub> : 0.4~0.6 では 5% であり<sup>11)</sup>，DD II のそれは 5% と報告されている<sup>12)13)</sup>。

### 結 語

腹腔鏡下外科手術において，最新の代謝モニ

表 代謝モニター2機種比較

	Puritan Bennett 7250	Datex Deltatrac II
測定原理	Breath by Breath 法	Dilution 法 Mixing chamber 法
$FI_{O_2}$	$\leq 0.9$	$\leq 0.8$
測定対象	PB 7200 ae 専用	各種ベンチレータ キャノピー
ウォーミングアップ 時間	45分	30分以上
測定値の表示	BTPS	STPD

ターの PB 7250 と DD II は、 $FI_{O_2}$  が 0.8 以下で信頼できるデータが得られ、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}O_2$  とともにほぼ一致した値を示した。ヘルニア修復術では皮下気腫の発生率が高く、 $\dot{V}CO_2$  と  $PETCO_2$  の上昇率が大きいことから、手術終了後に体内に貯留した  $CO_2$  を体外に十分に排除した後に、自発呼吸にする注意が必要である。

## 参考文献

- 1) Tan PL, Lee TL, Tweed WA : Carbon dioxide absorption and gas exchange during pelvic laparoscopy. *Can J Anaesth* 39 : 677-681, 1992
- 2) Liem MSL, Kallewaard JW, Marie A, et al : Does hypercarbia develop faster during laparoscopic herniorrhaphy than during laparoscopic cholecystectomy? *Anesth Analg* 81 : 1243-1249, 1995
- 3) Wolf JS, Monk TG, McDougall, et al : The extraperitoneal approach and subcutaneous emphysema are associated with greater absorption of carbon dioxide during laparoscopic renal surgery. *J Urology* 154 : 959-963, 1995
- 4) Mullet CE, Viale JP, Sagnard PE, et al : Pulmonary  $CO_2$  elimination during surgical procedures using intra-or extraperitoneal  $CO_2$  insufflation. *Anesth Analg* 76 : 622-626, 1993
- 5) Ho HS, Saunders CJ, Gunther RA, et al : Effector of hemodynamics during laparoscopy :  $CO_2$  absorption or intra-abdominal pressure? *J Surg Res* 59 : 497-503, 1995
- 6) 謝 宗安, 片桐 淳, 大村昭人ほか : 内視鏡下鼠径ヘルニア修復術の腹膜外法による高炭酸ガス血症. *臨床麻酔* 20 : 345-347, 1996
- 7) Hirvonen EA, Nuutinen LS, Kauko M : Ventilatory effects, blood changes, and oxygen consumption during laparoscopic hysterectomy. *Anesth Analg* 80 : 961-966, 1995
- 8) Lind L : Metabolic gas exchange during different surgical procedures. *Anaesthesia* 50 : 304-307, 1995
- 9) Lind L : Metabolic gas exchange during gynaecological laparotomy and laparoscopy. *Can J Anaesth* 41 : 19-22, 1994
- 10) Campbell RS, Branson RD, Burke WC, et al : Metabolic measurement using indirect calorimetry during mechanical ventilation. *Respir Care* 39 : 1170-1175, 1994
- 11) Weissman C, Sardar A, Kemper M : An in vitro evaluation of an instrument designed to measure oxygen consumption and carbon dioxide production during mechanical ventilation. *Crit Care Med* 22 : 1995-2000, 1994
- 12) Tissot S, Delafosse B, Bertrand O, et al : Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 21 : 149-153, 1995
- 13) Cooper BG, McLean JA, Taylor R : An evaluation of the Deltatrac indirect calorimeter by gravimetric injection and alcohol burning. *Clin Phys Physiol Meas* 12 : 333-341, 1991