

症 例

右室駆出率測定用スワングアンツカテーテルを用いた腹腔鏡下腎摘出術の麻酔管理

藤瀬 久美子* 山田 功*
河本 慶子* 内田 盛夫**

要 旨

二酸化炭素 (CO₂) を気腹に用いた腹腔鏡下腎摘出術の10時間40分にわたる術中管理に、右室駆出率測定用スワングアンツカテーテルおよびコンピュータを用い血行動態諸量の変化を検討した。

気腹開始より終了時まで PaCO₂、終末呼気二酸化炭素分圧、気道内圧の上昇を認めた。気腹開始直後には徐脈と低血圧をきたしたが30分以内に回復した。その間、中心静脈圧、肺毛細管楔入圧、肺動脈圧の上昇にもかかわらず、末梢血管抵抗、肺血管抵抗は低下し、心拍出量は増加した。右室駆出率は気腹前と比較して気腹中に一時低下を示したが、全経過を通じて正常範囲内にあった。腹腔内圧上昇により静脈還流量は増加し、また気腹により血中 CO₂ 増加を生じ、その結果、血管拡張、即ち末梢血管抵抗の低下を来たし、心ポンプ機能は代償された。

はじめに

腹腔鏡手術は侵襲の少ない手術法として婦人科領域で開発され用いられてきた¹⁾²⁾。最近では、外科領域での胆嚢摘出術も増え、泌尿器科など様々な領域での応用が試みられている。腹腔鏡下の婦人科手術や胆嚢摘出術の際の呼吸循環系の変化に関する多くの報告がこれまで行われているが、手術時間が比較的短時間のため、その観察も短時間である³⁾⁴⁾。また非侵襲的方法による検討がほとんどである⁵⁾⁷⁾。今回、腎盂尿管移行部狭窄症によ

る左無機能腎に対し、二酸化炭素 (CO₂) を気腹に用いた腹腔鏡下腎摘出術を行い、10時間40分にわたる術中管理に右室駆出率測定用スワングアンツカテーテル (REF-SGC) およびコンピュータを用いて興味ある結果を得たので若干の文献的考察を加えて報告する。

症 例

36歳の男性で、身長 169.5 cm、体重 77.5 kg、術前検査にて軽度肝機能障害を示した。胸部レントゲン写真、12誘導心電図、理学的所見にて心拡大・肥大、心筋虚血像は認めず、心ポンプ機能にも異常はなかった。手術前夜にリルマザホン 4 mg を投与し、麻酔前投薬として2時間前にラニチジン 150 mg とジアゼパム 10 mg を経口投与した。患者の入室後、心電図、血圧計の装着を行い、右手より動・静脈路を確保し、麻酔はサイアミラルールで導入を行った。ドロペリドール、ブプレノルフィンを用いた NLA 変法およびイソフルレン・酸素+空気 (FiO₂ 0.5) で維持し、筋弛緩はバンクロニウムを用いた。麻酔導入後、右内頸静脈より REF-SGC を挿入し、循環諸量の測定に用いた。その他、SaO₂/ETCO₂ モニタ (NOVA-METRIX 7000®) を用いて経皮的酸素飽和度 (S_pO₂) と終末呼気 CO₂ 分圧 (PetCO₂) をモニターした。

気管内挿管後、一回換気量 (TV) 610 ml、呼吸回数 8 回という設定で人工呼吸を開始し、最高気道内圧 (P_{max}) は 16 cmH₂O であった。気腹開始後は腹腔内圧を 11~12 mmHg に維持した。気腹開始後、PetCO₂ は 27 mmHg より 37~40 mmHg に、PaCO₂ も 29.9 mmHg から 40.9

*関西医科大学麻酔科学教室

**田附興風会北野病院麻酔科

Table 1 Respiratory data during laparoscopy

	C	P ₃₀	P ₉₀	P ₁₅₀	P ₂₁₀	P ₃₃₀	P ₄₅₀	T	E
FiO ₂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
pH	7.526	7.411	7.367	7.347	7.341	7.302	7.318	7.416	7.376
PaCO ₂ (mmHg)	29.9	40.9	37.6	47.5	43.2	49.2	46.0	36.9	42.1
PaO ₂ (mmHg)	196.4	222.9	238.8	199.3	227.0	247.0	239.3	226.7	266.9
BE (mEq/l)	2.1	1.5	-3.1	0.5	-2.0	-1.9	-2.2	-0.6	-0.4
PEtCO ₂ (mmHg)	28	40	45	42	42	45	44	36	—

Abbreviations

C : after induction, before pneumoperitoneum P₃₀ : 30 minutes after pneumoperitoneum
 P₉₀ : 90 minutes after pneumoperitoneum P₁₅₀ : 150 minutes after pneumoperitoneum
 P₂₁₀ : 210 minutes after pneumoperitoneum P₃₃₀ : 330 minutes after pneumoperitoneum
 P₄₅₀ : 450 minutes after pneumoperitoneum T : after termination of pneumoperitoneum
 E : after extubation BE : base excess
 PEtCO₂ : end-tidal carbon dioxide tension

Table 2 Hemodynamic data during laparoscopy

	C	P ₃₀	P ₉₀	P ₁₅₀	P ₂₁₀	P ₃₃₀	P ₄₅₀	T	E
CO	8.19	8.94	12.9	13.3	11.1	13.2	11.4	10.4	9.13
SVR	614	724	557	384	496	302	441	737	1060
PVR	9.77	8.93	6.19	6.00	7.20	6.05	7.01	7.68	70.0
CVP	4	13	10	7	10	10	10	10	4
PCWP	10	23	20	14	18	20	16	16	7
PAP _{S/D/M}	16/9/11	30/21/24	25/19/21	20/12/15	24/17/19	26/18/21	22/14/17	22/14/17	22/11/15
AP _{S/D/M}	96/53/67	139/71/94	146/77/100	110/52/71	123/57/79	92/44/60	114/52/73	168/75/106	201/88/126
HR	102	94	116	116	114	113	109	99	80
RVEF	41	43	48	39	49	52	60	41	53

Abbreviations

CO : cardiac output (l/min) HR : heart rate (beats/min)
 SVR : systemic vascular resistance (dynes·sec/cm⁵) RVEF : right ventricular ejection fraction (%)
 PVR : pulmonary vascular resistance (dynes·sec/cm⁵) C : after induction, before pneumoperitoneum
 CVP : central venous pressure (mmHg) P₃₀ : 30 minutes after pneumoperitoneum
 PCWP : pulmonary capillary wedge pressure (mmHg) P₉₀ : 90 minutes after pneumoperitoneum
 PAP : pulmonary artery pressure (mmHg) P₁₅₀ : 150 minutes after pneumoperitoneum
 S : systolic P₂₁₀ : 210 minutes after pneumoperitoneum
 D : diastolic P₃₃₀ : 330 minutes after pneumoperitoneum
 M : mean P₄₅₀ : 450 minutes after pneumoperitoneum
 AP : arterial pressure (mmHg) T : after termination of pneumoperitoneum
 S : systolic E : after extubation
 D : diastolic
 M : mean

mmHg に上昇した. その後約90分で PEtCO_2 がさらに上昇し始め, 気腹開始後約360分で PEtCO_2 が 45 mmHg を越えるようになり, 自発呼吸も出現した. そこで TV を 650 ml, 呼吸回数を 9 回に変更し PEtCO_2 で 40~43 mmHg に維持したが, P_{max} は 24~26 cmH_2O であった. 約 120 分後, 再度 PEtCO_2 が 45~50 mmHg と上昇したため, TV 440 ml, 呼吸回数 20 回, P_{max} 18 cmH_2O に変更し, PEtCO_2 は 38 mmHg 前後となり安定した. また PaO_2 は全経過を通じて安定していた (Table 1).

循環諸量の変化は気腹30分で肺毛細管楔入圧 (PCWP), 中心静脈圧 (CVP), 肺動脈圧 (PAP) の上昇が著明で心拍出量 (CO) は不変であった. 気腹90分以降, PCWP, CVP, PAP の上昇は持続し, 末梢血管抵抗 (SVR) の低下, CO の増加が著明となった. 肺血管抵抗 (PVR) は気腹前から気腹

中止まで全経過を通じて低値を示し, 抜管後は正常値に戻った. 右室駆出率 (RVEF) は気腹開始後150分で41%から39%に低下したが, 450分後には60%にまで増加し, 全経過を通じて正常内にあった. 気腹直後には血圧は低下し徐脈となったが, その後はやや頻脈傾向となり, 血圧は安定した (Table 2). CO_2 の供給が停止するとすみやかに PEtCO_2 および各循環諸量は正常値に復した. 気腹時間は約9時間35分であった (Fig. 1).

考 察

CO_2 による気腹の影響として, 腹圧上昇による腹部大動脈や下大静脈 (IVC) の圧迫⁸⁾⁻¹⁰⁾, 腹膜伸展による迷走神経反射が考えられる¹¹⁾. さらに, 血中 CO_2 上昇による呼吸循環系への影響, すなわち CO_2 による直接血管拡張, 交感神経系活動の増加に起因する血中カテコールアミン増加による末梢血管収縮が考えられる²⁾¹²⁾¹³⁾. このような物理的, 化学的影響の結果, 低血圧, 高血圧⁵⁾, 不整脈³⁾, 徐脈⁸⁾, 頻脈⁵⁾ などさまざまな循環系の反応が生じやすいとされている. また合併症として CO_2 塞栓¹⁴⁾, 胃穿孔¹⁾, 皮下気腫¹⁾, 心停止⁸⁾ などの報告もある.

心拍出量に関して腹腔内圧が 20~25 cmH_2O 以下では増加するか不変, それ以上で低下する場合⁵⁾, あるいは 30~40 cmH_2O 以下では上昇して, それ以上で低下するという報告がある⁸⁾. 全末梢血管抵抗は交感神経緊張により上昇するという報告が多い⁷⁾¹⁵⁾. 腹腔内圧上昇により腹部大動脈や IVC は圧迫を受け, 前負荷, 後負荷ともに影響を受けると考えられる¹⁵⁾. しかし, これまで長時間の気腹中の観血的方法による循環動態の観察や, 特に右心系の心機能から検討した報告は見られていない.

今回用いた REF-SGC は従来のスワンガンツカテーテルと同様の循環諸量の測定に加え, 同時に RVEF の測定が可能である. 右室と左室は心室中隔を介して互いに影響しあうが, 心充満圧の変化, 末梢血管抵抗, 心収縮力の変化は微妙に各心室の駆出状態, ひいては心拍出量にも影響を及ぼしうると考えられる¹⁶⁾.

本症例では RVEF は気腹後150分で, 41%から39%と低下したが, 正常範囲内にあり, 450分後には60%にまで増加し, 気管内チューブ抜管後も

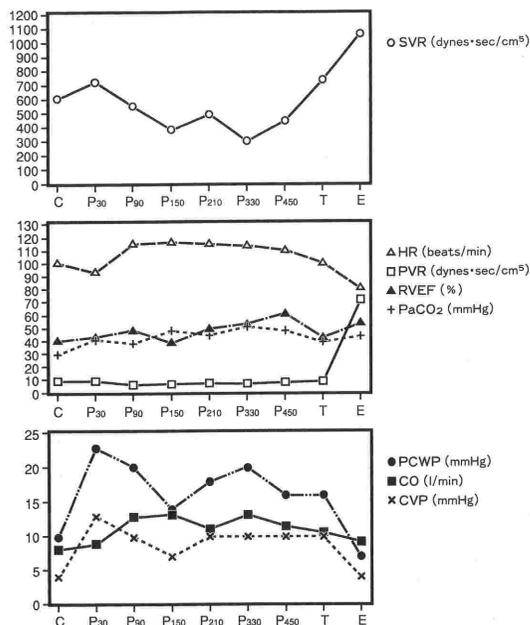


Fig. 1 Summary of changes in hemodynamics and PaCO_2

Abbreviations

- SVR : systemic vascular resistance
- PVR : pulmonary vascular resistance
- RVEF : right ventricular ejection fraction
- HR : heart rate
- CO : cardiac output
- CVP : central venous pressure
- PCWP : pulmonary capillary wedge pressure

正常範囲内であった。RVEF の本法による測定値の変動率は7.6~12.1%といわれ¹⁷⁾、本例での150分後の変化は有意とは言えない。

気腹30分で腹腔内圧および PCWP, CVP, PAP は上昇し, CO は不変であった。90分以降もほぼ同様の傾向を示したが, 特徴的なことは SVR の低下と CO の増加を示したことである。腹腔内圧の上昇による末梢循環に対する機械的圧迫が, ひいては右心系, 左心系に対する種々の負荷を生じる。しかし, 本例では心拍出量が維持された。この結果は, 腹腔内圧を 11~12 mmHg に維持したため, Kelman らの報告にあるように腹部臓器や IVC から血液が中枢に向かって集まり心充満圧の増加を生じたのか⁸⁾, あるいは笑気を使用していないため浅麻酔となったか, CO₂ 蓄積による交感神経系の活動が亢進して心拍出量が増加したと考えられる。さらに CO₂ の直接血管拡張作用が強力で SVR が低下し, 末梢血管に対する交感神経系の緊張を上回る結果となり心拍出量増加を生じたとも考えられる。気腹前から SVR, PVR は低値を示し, 高心拍出量を呈したのは前投薬が有効で交感神経緊張が軽度であったことと, 吸入麻酔薬として用いたイソフルレンによる血管拡張作用により後負荷が軽減されたことが考えられる。その他, 気腹下腎摘出術は側臥位で行うために, 胆嚢摘出術や婦人科手術の際の術中体位との違いによる循環動態への影響も考える必要があると思われる。腹腔内圧上昇時の心拍出量に関しては, その際の循環血液量の多少によっても反応の違いがみられるという報告もある¹⁸⁾¹⁹⁾。また術前心機能の違いにより心拍出量の維持形式に違いがあるという。即ち, 心機能が良好であれば一回拍出量を増加させることにより, また心機能が低下しておれば心拍数を増加させることにより心拍出量を維持するという。心肺機能に異常があれば, 気腹により PaCO₂ の上昇, pH の低下をきたしやすいう報告もある²⁰⁾。

腹腔鏡下腎摘出術の最大の利点は, 穿刺創のみの手術で手術侵襲や術後疼痛が少なく, 術後回復が早いことと, 手術瘢痕が目立たないことであろう。しかし, 現時点では長い手術時間, 気腹操作と血中 CO₂ 増加による呼吸循環系への影響など, いくつかの問題点を考慮するべきであろう。即ち, 本例は健康成人であり, 循環動態にも術前, 異常

がなかった。今後は, 呼吸, 循環予備能が低下していると考えられる症例, 特に高齢者に対する本方法の臨床的有用性と限界を検討し, より安全な麻酔管理を確立するべきと考える。

結 語

本症例は術前心機能に問題がなく, 気腹開始後の PaCO₂, CVP, PCWP, 気道内圧の上昇にもかかわらず, SVR, PVR は低下し, 心拍出量は増加し, RVEF も正常に保たれ, 心負荷が代償された結果となった。しかし高齢者や術前心肺機能に問題がある症例での, 腹腔鏡下手術および麻酔管理は注意を要すると思われる。

稿を終えるにあたり, ご指導とご助言を頂いた関西医科大学第二内科学教室岩坂壽二助教授および中村誠先生に感謝いたします。

本論文の要旨は第13回日本循環制御医学会総会(東京)にて報告した。

参 考 文 献

- 1) Ohlgisser, M., Sorokin, Y., Heifetz, M.: Gynecologic Laparoscopy. A Review Article. *Obstet Gynecol Surv.* 40:385~396, 1985.
- 2) Peterson, E. P.: Anesthesia for laparoscopy. *Fertil Steril.* 22:695~698, 1971.
- 3) Alexander, G. D., Noe, F. E., Brown, E. M.: Anesthesia for Pelvic Laparoscopy. *Anesth Analg.* 48:14~18, 1969.
- 4) Marco, A. P., Yeo, C. J., Rock, P.: Anesthesia for a Patient Undergoing Laparoscopic Cholecystectomy. *Anesthesiology.* 73:1268~1270, 1990.
- 5) Hodgson, C., McClland, R. M. A., Newton, L. R.: Some effects of the peritoneal insufflation of carbon dioxide at laparoscopy. *Anaesthesia.* 25:382~390, 1970.
- 6) Smith, I., Benzie, R. J., Gordon, N. L. M., et al.: Cardiovascular Effects of Peritoneal Insufflation of Carbon Dioxide for Laparoscopy. *Br Med J.* 3:410~411, 1971.
- 7) Johannsen, G., Andersen, M., Juhl, B.: The effect of general anaesthesia on the haemodynamic events during laparoscopy with CO₂-insufflation. *Acta Anaesthesiol Scand.* 33:132~136, 1989.
- 8) Kelman, G. R., Swapp, G. H., Smith, I., et al.: Cardiac output and arterial blood-gas tension during laparoscopy. *Br J Anaesth.* 44:1155~1162, 1972.
- 9) Marshall, R. L., Jebson, P. J. R., Davie, I. T., et al.: Circulatory effects of carbon dioxide insufflation of the peritoneal cavity for laparoscopy. *Br J Anaesth.* 44:680~684, 1972.

- 10) McKenzie, R., Wadhwa, R. K., Bedger R. C.: Noninvasive Measurement of Cardiac Output during Laparoscopy. *J Reprod Med.* 24:247~250, 1980.
- 11) Carmichael, D. E.: Laparoscopy-cardiac consideration. *Fertil Steril.* 22:69~70, 1971.
- 12) Nahas, G. G., Ligou, J. C., Mehlman, B.: Effects of pH changes on O₂ uptake and plasma catecholamine levels in the dog. *Am J Physiol.* 198(1):60~66, 1960.
- 13) Norman, J., Atkinson, S. A.: The effect of cardiac sympathetic blockade on the relationship between cardiac output and carbon dioxide tension in the anesthetized dog. *Br J Anaesth.* 42:592~602, 1970.
- 14) Root, B., Levy, M. N., Pollack, S., et al.: Gas Embolism Death After Laparoscopy. Delayed by "Trapping" in Portal Circulation. *Anesth Analg.* 57:232~237, 1978.
- 15) Ivankovich, A. D., Miletich, D. J., Albrecht, R. F., et al.: Cardiovascular Effects of Intraperitoneal Insufflation with Carbon Dioxide and Nitrous Oxide in the Dog. *Anesthesiology.* 42:281~287, 1975.
- 16) Hurford, W. E., Zapol, W. M.: The right ventricle and critical illness: a review of anatomy, physiology, and clinical evaluation of its function. *Intensive Care Med.* 14:448~457, 1988.
- 17) Vincent, J-L., Thirion, S., Lejeune, P., et al.: Thermodilution measurement of right ventricular ejection fraction with a modified pulmonary artery catheter. *Intensive Care Med.* 12:33~38, 1986.
- 18) Diamant, M., Benumof, J. L., Saidman, L. J.: Hemodynamics of Increased Intra-abdominal Pressure: Interaction with Hypovolemia and Halothane Anesthesia. *Anesthesiology.* 48:27~29, 1978.
- 19) Kashtan, J., Green, J. F., Parsons, E. Q., et al.: Hemodynamic Effects of Increased Abdominal Pressure. *J Surg Res.* 30:249~255, 1981.
- 20) Wittgen, C. M., Andrus, C. H., Fitzgerald, S. D., et al.: Analysis of Hemodynamic and Ventilatory Effects of Laparoscopic Cholecystectomy. *Arch Surg.* 126:997~1001, 1991.

The use of pulmonary artery catheter with a fast-response thermistor for the measurement of right ventricular performance in management of laparoscopic nephrectomy

Kumiko Fujise*, Kou Yamada*
Keiko Khomoto* and Morio Uchida**

*Department of Anesthesiology, Kansai Medical University

**Department of Anesthetics, Kitano Hospital

A pulmonary artery catheter specifically designed to measure right ventricular performance by means of thermodilution technique and a microprocessor (model REE-1; Edwards Laboratory); was used during the anesthetic management of laparoscopic nephrectomy.

Following insufflation by CO₂, the PaCO₂, end-tidal CO₂(EtCO₂) and peak airway pressure were increased. Immediately after establishing the pneumoperitoneum, the patient was noted to develop bradycardia and hypotension: this however recovered within 30 minutes without any treatment. In spite of increases in central venous pressure (CVP), pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) and pulmonary artery

pressure (PAP), there were reductions in systemic vascular resistance (SVR) and pulmonary vascular resistance (PVR) and increase in cardiac output (CO). Although when compared with baseline values, the right ventricular ejection fraction showed a slight reduction during laparoscopy, the values were within the normal range throughout laparoscopy.

Despite cardiac overload with increased intra-abdominal pressure, cardiac function was well maintained, probably because of reduction in SVR and PVR (probably due to direct vasodilation with accumulation of CO₂), and increased venous return.

Key words: Laparoscopy, CO₂, Anesthetic management, Hemodynamic changes