

## 반폐쇄식 회로를 이용한 폐쇄회로 마취 시 신선가스 유량이 호흡일에 미치는 영향

고려대학교 의과대학 마취통증의학교실

유해선 · 서령선 · 신혜원 · 이혜원 · 임혜자 · 장성호 · 윤석민

### Effect of Fresh Gas Flow on the Work of Breathing of Closed Circuit Anesthesia Using Semiclosed Circuit System

Hae Sun You, M.D., Young Sun Seo, M.D., Hye Won Shin, M.D., Hye Won Lee, M.D., Hae Ja Lim, M.D., Seong Ho Chang, M.D., and Suk Min Yoon, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

**Background:** The effect of anesthetic techniques, such as closed circuit anesthesia (CCA) using semiclosed circuit system and semiclosed circuit anesthesia (SCCA), on the work of breathing has not been studied yet in detail. This study was purposed to compare the work of breathing according to anesthetic technique (CCA, SCCA).

**Methods:** Thirty patients were assigned to receive either SCCA group or CCA group (n = 15). Anesthesia was induced with propofol 2 mg/kg with 2% lidocaine 1 ml. Two percents isoflurane with O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O 2 L/min were given for 10 min to patients initially to wash in functional residual capacity and the breathing circuits. In SCCA group, anesthesia was maintained with 2% isoflurane in O<sub>2</sub> 2 L/min and N<sub>2</sub>O 2 L/min throughout the surgery. In CCA group, O<sub>2</sub> was reduced to 200 ml/min and N<sub>2</sub>O to 100 ml/min with isoflurane vaporizer setting adjusted to 4% for anesthesia maintenance. When the operation was ended, the vaporizer setting of isoflurane decreased to zero and then O<sub>2</sub> was increased to 4 L/min for the arousal of the patient. We measured the inspiratory/expiratory concentration of isoflurane, end-tidal CO<sub>2</sub>, the hemodynamic parameters, the change of airway pressure, the work of breathing, and compliance at anesthetic induction and emergence in both groups.

**Results:** There were no significant differences in the inspiratory/expiratory concentrations of isoflurane, the hemodynamic parameters, end-tidal CO<sub>2</sub>, airway pressure, the work of breathing and compliance between the groups.

**Conclusions:** CCA using semiclosed circuit system does not increase the work of breathing compared to SCCA. (**Korean J Anesthesiol 2006; 50: 495~500**)

**Key Words:** closed circuit anesthesia, isoflurane, semi-closed circuit anesthesia, work of breathing.

### 서 론

전신마취 장비로 흔히 반폐쇄 순환 마취기를 사용하며 대부분 신선가스유량(fresh gas flow, FGF)을 3-4 L/min로 사용하고 있다.<sup>1)</sup> 이 방법은 환자에게 신선마취가스의 흡수 및 섭취가 이루어진 후 남은 잔여가스의 일부는 외부로 배출되어 버려지며 일부는 이산화탄소 제거 후 마취기의 회로 내로

재호흡되어 다시 사용된다.<sup>2)</sup> 일반적으로 FGF에 따라 마취 방법을 분류할 수 있는데, 고유량 마취(high flow anesthesia)는 FGF로 2-4 L/min을 사용하는 것이고 중간유량마취(medium flow anesthesia)는 FGF 1-2 L/min을, 저유량 마취(low flow anesthesia)는 FGF 1 L/min을 사용하는 것이며,<sup>3,5)</sup> 최소유량 마취(minimal flow anesthesia)는 FGF 0.5 L/min 미만을 사용하는 것이다.<sup>4,5)</sup> 폐쇄순환마취(closed circuit anesthesia, CCA)는 250-500 ml/min의 FGF를 사용하여 호기밸브가 닫혀진 채로 지속적인 재호흡에 의해 마취가 유지되는 것이다.<sup>5)</sup>

CCA는 흡입마취제에 의한 수술실 오염과 흡입마취제 사용량을 감소시키며 체온 및 가슴의 유지에도 효과적인 장점이 있는 반면<sup>6,7)</sup> FGF가 감소함에 따라, 환자의 흡기유량이 감소되고 흡기 시 기도내압 저하에 의해 호흡일을 증가

논문접수일 : 2006년 1월 25일

책임저자 : 윤석민, 서울시 성북구 안암동 5가 126-1

고려대학교의료원 안암병원 마취통증의학과

우편번호: 136-705

Tel: 02-920-5772, Fax: 02-925-5667

E-mail: ysmin@korea.ac.kr

석사학위 논문임.

시키며 저산소증, 일산화탄소 및 compound A와 같은 물질이 측정될 수 있는 단점이 있다.<sup>7,8)</sup>

Lin 등은<sup>9)</sup> 반폐쇄 순환 마취기를 이용하여 CCA를 시도하였는데, FGF를 산소 2 L/min, 아산화질소 2 L/min, isoflurane 2.0 vol%로 10분 동안 유지하여 회로와 기능적 잔기 용량을 isoflurane으로 wash-in시키고 나서 CCA의 유지를 위해 산소 200 ml/min, 아산화질소 100 ml/min 그리고 흡입 isoflurane을 4.0 vol%로 유지하였다. 반폐쇄 순환 마취기를 사용한 CCA는 마취제의 소비량을 줄이고 환자의 가온과 가슴을 유지할 수 있는 좋은 방법이다. 최근의 연구에 의하면<sup>2,7,11)</sup> 반폐쇄 순환 마취(semiclosed circuit anesthesia, SCCA) 시 FGF의 변화에 따라 흡입마취제의 농도, 기도압 및 호흡일(work of breathing, WOB) 등이 변할 수 있다는 보고가 있어왔다.

본 연구에서는 반폐쇄 순환 마취기를 이용하여 CCA를 유지하였고 이때 마취제 농도의 변화, 활력징후의 변화, 기도압의 변화, 호흡일 및 유순도(compliance)를 고유량의 FGF 사용 시와 비교하였다.

대상 및 방법

정형외과 하지 수술이 예정되고, 미국 마취과학회 신체등급 분류상 1 및 2군에 속하는 20-70세의 성인 남자 환자 30명을 대상으로 하였다. 과거력상 심장, 간, 신장, 중추 신경계 질환의 기왕력이 있는 환자나 진정제, 항우울제, 최면제를 복용하고 있는 환자는 본 연구대상에서 제외하였으며, 임상연구를 위한 윤리위원회의 허가와 연구계획에 대해 동의를 얻은 환자를 대상으로 하였다. 반폐쇄 순환 마취를 시행한 군(SCCA) 15명과 폐쇄순환마취를 시행한 군(CCA) 15명으로 나누었다.

모든 환자에서 전 처치로 atropine 0.5 mg과 nalbuphine 5 mg을 마취 1시간 전에 근주하였으며 수술실에 도착 후 심전도, 비침습성 혈압 감시장치와 맥박산소계측기(78354C, Hewlett-

Packard, USA)를 거치하였다. 마취회로(Dräger, Cato<sup>®</sup> edition, Germany)내에서 측정된 온도는 32-35°C 사이로 유지되었고 말초신경자극기(MaxiStim<sup>™</sup> Model ST6, Life-Tech, Inc, USA)를 모지내전근에 거치하여 척골 신경을 자극하여 신경 근육의 차단정도를 감시하였다.

모든 환자는 propofol 2 mg/kg과 2% lidocaine 1 ml, rocuronium 0.6 mg/kg을 정주하여 마취를 유도하였고 남자는 8번, 여자는 7번 기관 내 삽관 튜브로 삽관하였다. 마취기는 반폐쇄 회로(Dräger, Cato<sup>®</sup> edition, Germany)를 사용하였다. SCCA군은 FGF를 산소 2 L/min, 아산화질소 2 L/min, isoflurane 2.0 vol%로 마취유지하였으며 일회 호흡량은 10 ml/kg으로, 호흡수는 분당 10회로 유지하였고, CCA군은 FGF를 산소 2 L/min, 아산화질소 2 L/min, isoflurane 2.0 vol%로 10분 동안

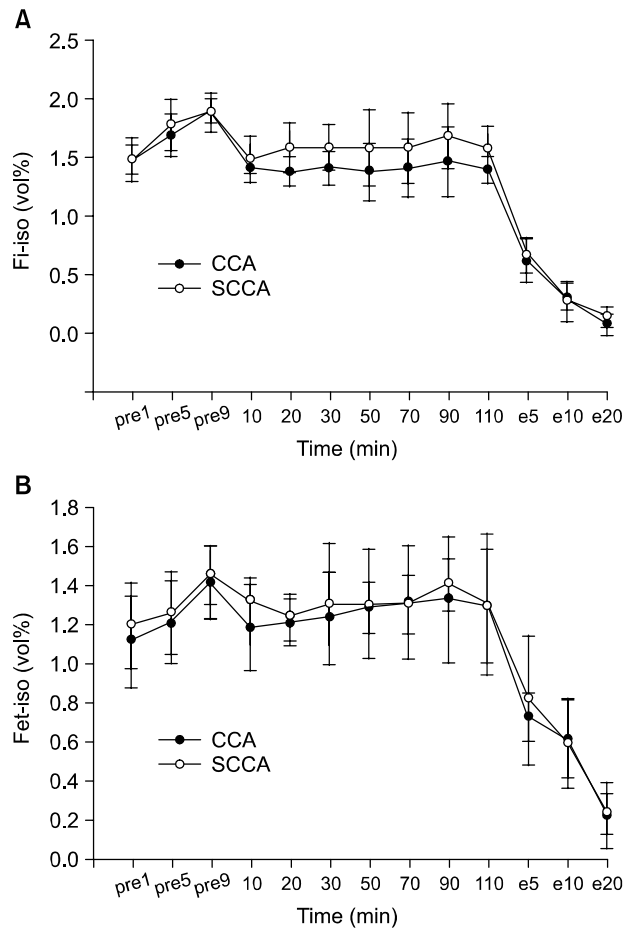
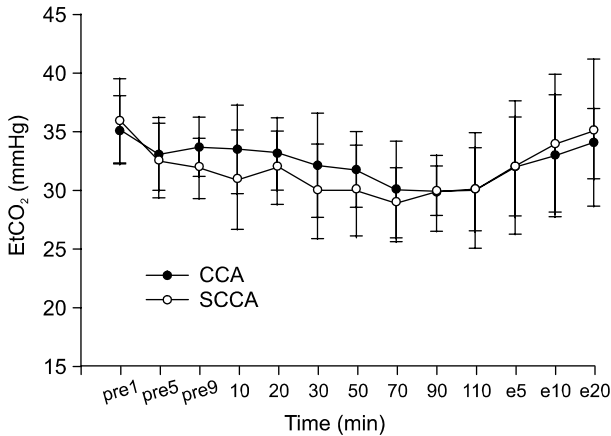


Fig. 1. The changes of the inspiratory concentration (Fi-iso) (A) and the expiratory concentration (Fet-iso) (B) of isoflurane in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There were no significant differences between the groups.

Table 1. Demographic Data

	SCCA group (n = 15)	CCA group (n = 15)
Age (yr)	46.2 ± 12.2	48.2 ± 8.3
Sex (M/F)	7/8	6/9
Height (cm)	160.2 ± 11.5	162.3 ± 12.2
Weight (kg)	60.3 ± 8.3	62.7 ± 7.9

Values are mean ± SD or number of patients. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. There were no significant differences between the groups.



**Fig. 2.** The changes of endtidal CO<sub>2</sub> (EtCO<sub>2</sub>) in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There were no significant differences between the groups.

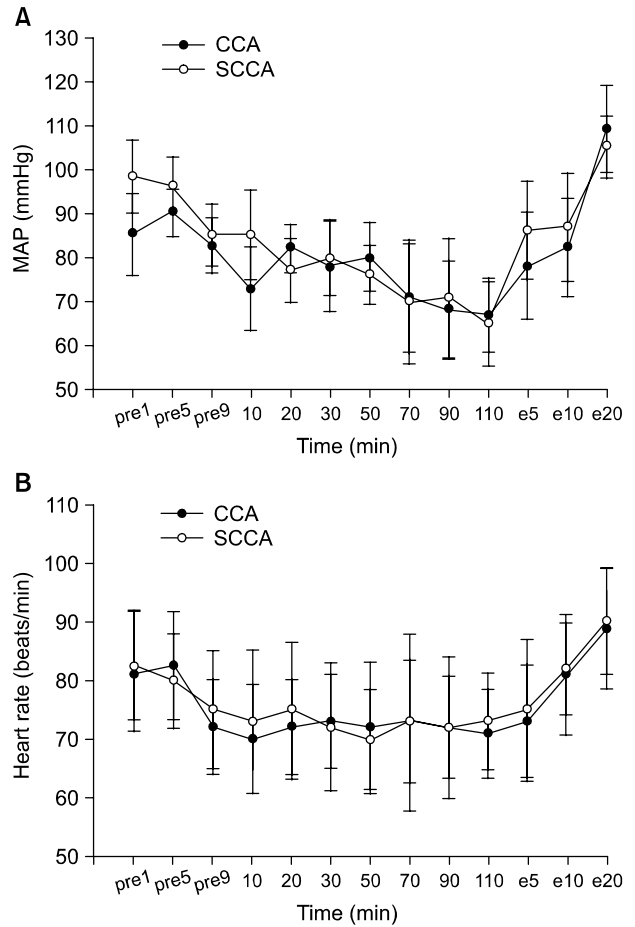
유지하다가 CCA의 유지를 위해 산소 200 ml/min, 아산화질소 100 ml/min 및 흡입 isoflurane을 4.0 vol%로 유지하였고,<sup>9)</sup> 수술이 끝나면 환자의 각성을 위해서 isoflurane을 끄고 산소 4 L/min을 공급하였다.

모든 군에서 isoflurane의 흡기 및 호기농도, 호기말 이산화탄소 농도를 측정하였고, 활력징후 변수로는 평균 동맥압, 심박수를 측정하였으며, WOB을 구하기 위해서 일회 호흡량(TV), 최대 흡기압(peak inspiratory pressure, PIP), 호기말 고평부압(end-inspiratory plateau pressure, Pplat)을 측정하였다. 호흡일은  $WOB = \{ [PIP - 0.5 \times Pplat] \div 100 \} \times TV$ 와 같은 공식으로 계산하였으며 평균 기도압, 호기말 양압과 유순도를 측정하였다. 각 변수의 측정 시간은 모든 군에서 마취 유도 후 처음 1, 5, 9분에 측정하였고, 각 군에 따라 FGF를 변화시킨 후 각 10분마다 측정하여 마취 유도 후 2시간까지 측정하였으며, 수술이 끝난 후 isoflurane을 끄고 산소를 4 L/min로 증가시킨 후 5, 10, 20분에 측정하였다.

통계는 SPSS (Release 10.1.5) 통계 프로그램을 사용하였고, 모든 측정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였다. 군 간의 비교는 정규성 검정 후 ANOVA test를 사용하였고, P값이 0.05 미만인 경우 통계상 유의하다고 판단하였다.

### 결 과

각 군에 따른 연령, 성별, 체중 및 신장에서 유의한 차이가 없었다(Table 1). Isoflurane의 흡기 및 호기말 농도는 두 군 간에 의미 있는 차이가 없었다(Fig. 1). 두 군에서 호기말 이산화탄소 분압, 평균 동맥압 및 심박수도 유의한 차이

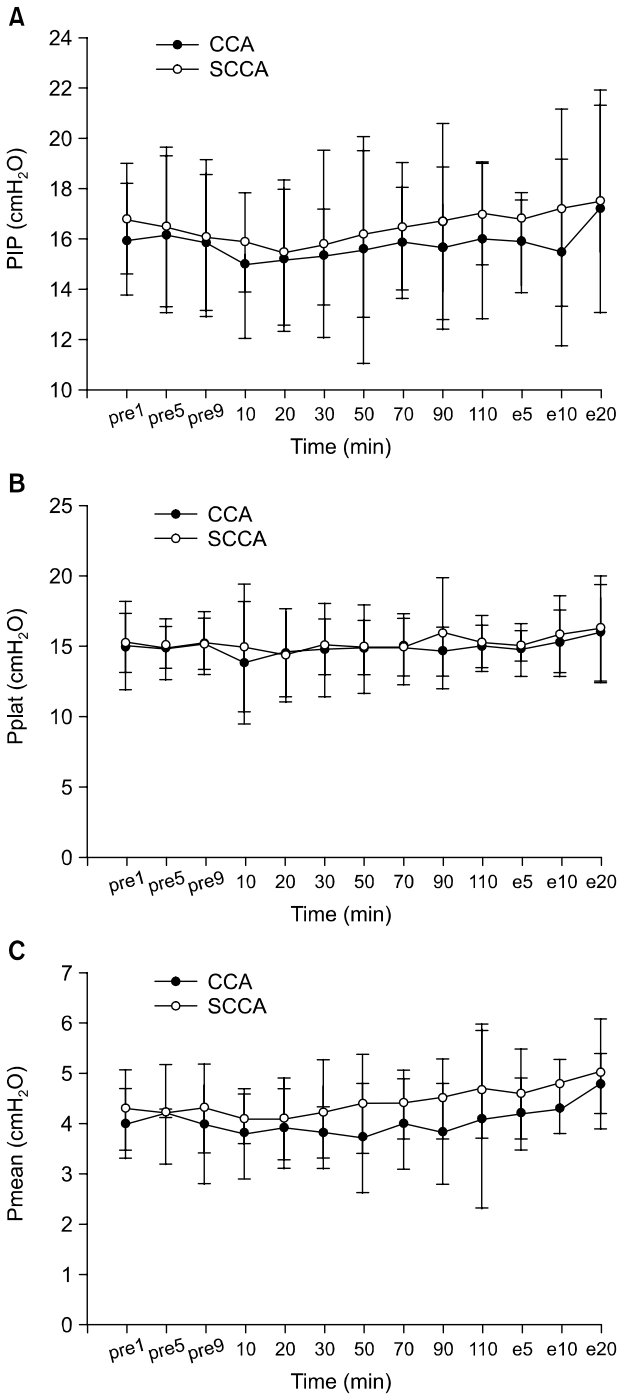


**Fig. 3.** The changes of mean arterial pressure (MAP) (A) and heart rate (HR) (B) in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There were no significant differences between the groups.

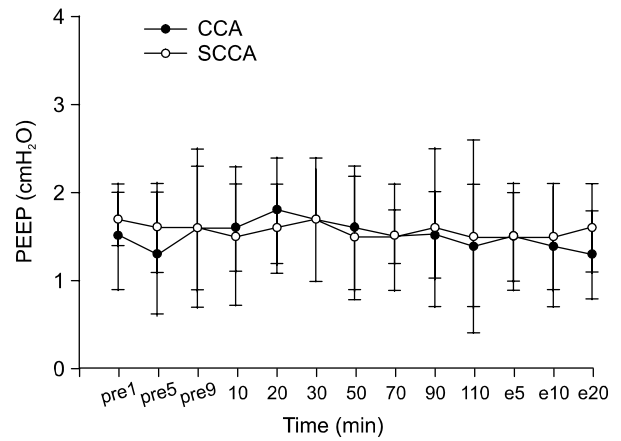
는 없었다(Fig. 2, 3). 두 군에서 최대 흡기압, 호기말 고평부압, 평균 기도압, 호기말 양압에서도 양 군에서 의미 있는 차이가 없었다(Fig. 4, 5). 유순도와 호흡일은 양 군에서 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Fig. 6, 7).

### 고 찰

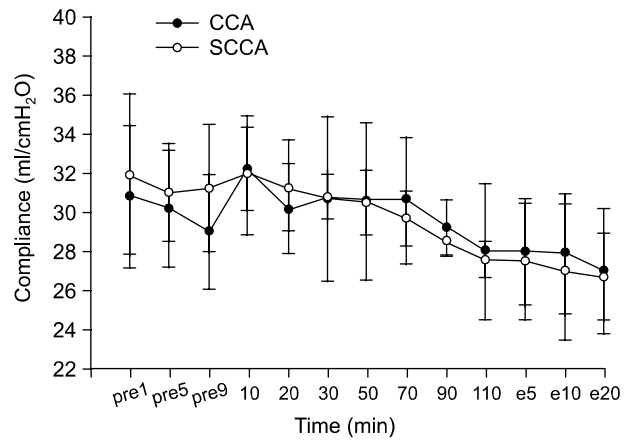
CCA는 흡입마취 중 재호흡의 장점을 이용한 마취기법으로 마취가스의 소모 감소, 비용 감소, 환경오염 감소, 대기오염 감소 등 경제적, 환경적 장점뿐만 아니라 호흡가스의 온도와 습도를 높임으로써 환자의 체온하강을 줄이는 효과가 있다.<sup>2,6,7,11)</sup> 그러나 FGF량을 줄임으로 인하여 생기는 저환기와 호흡장치 내 이산화탄소의 축적, 저산소증, 긴 시간



**Fig. 4.** The changes of peak inspiratory pressure (PIP) (A), plateau pressure (Pplat) (B), and mean airway pressure (Pmean) (C) in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA Group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There were no significant differences between the groups.



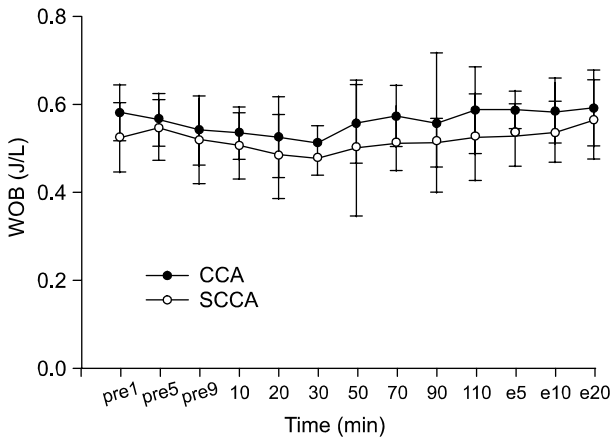
**Fig. 5.** The change of positive end-expiratory pressure (PEEP) in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There was no significant difference between the groups.



**Fig. 6.** The change of compliance in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There was no significant difference between the groups.

상수 그리고 호흡회로 내에 불활성 가스(inert gas: 질소, 아세톤, 에탄올, 일산화탄소, 메탄 수소 등)의 축적 등으로 인해 사용이 제한되어 왔다. 이러한 FGF의 감소는 또한 환자의 환기양상의 변화를 일으키는 것으로 알려져 있다.<sup>9,13)</sup>

반폐쇄 순환 마취기를 이용하여 CCA를 시행하면 마취회로 내로 공급되는 FGF가 감소하고 FGF의 감소는 환자의 호흡역학 및 호흡일을 포함한 호흡 매개변수에 영향을 미칠 수 있다. Yamada 등은<sup>8)</sup> 반폐쇄 순환 마취기를 이용한 마취 시 FGF가 환자의 흡기 시 호흡 매개변수에 미치는 영



**Fig. 7.** The change of work of breathing (WOB) in the SCCA and CCA groups. SCCA group: semiclosed circuit anesthesia group. CCA group: closed circuit anesthesia group. pre1, 5, 9: 1, 5, and 9 min after anesthetic induction. e5, 10, 20: 5, 10 and 20 min after the end of operation. There was no significant difference between the groups.

향을 자발호흡 중인 환자를 대상으로 연구하였는데, FGF가 감소하여도 환자의 호흡 매개변수와 호흡일에는 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 그러나 이는 자발호흡을 하는 환자를 대상으로 한 연구로, 기계 환기를 시행하는 환자에서 FGF가 환자의 호흡매개변수에 미치는 영향에 대하여는 연구가 부족한 상태이다. 반폐쇄 순환 마취기를 이용하여 CCA를 시행하면 마취회로 내로 공급되는 FGF가 감소하고 환자의 흡기유량이 감소하므로 흡기 시 기도내압 저하에 의해 호흡일이 증가할 것으로 추정할 수 있다. 자발호흡을 하고 있는 동안에는 폐량(lung volume)으로써 탄력반동(elastic recoil)의 정도를 알 수 있고 호기 유속으로써 기도저항의 정도 등을 평가할 수 있지만, 기계 환기를 시행하고 있는 동안에는 이런 지표들을 일률적으로 측정할 수 없기 때문에 이런 경우에는 근위기도내압(proximal airway pressure), 고평부압 등을 측정하여 폐역학을 간접적으로 감시하고 평가할 수 있다.<sup>13)</sup>

본 연구에서는 SCCA군과 CCA군으로 나누어 FGF를 변화시킨 후 FGF의 변화가 최대흡기압, 평균 기도압, 그리고 고평부압에 미치는 영향을 관찰하였는데 모두 군간 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이는 회로내로 공급되는 FGF를 감소시켰을 때, FGF의 감소가 기도압을 변화시키지 못함을 의미한다. 근위기도내압은 흡기유속과 흡기양상, 일회 호흡량 그리고 기관튜브의 크기 등에 의해서 영향을 받는다. 폐를 팽창시키는 가스의 양이 일정할 때 근위기도내압이 상승하는 것은 기도의 저항이 증가하거나 폐탄성이 감소한 경우 또는 양자가 함께 있는 상태라고 평가할 수 있다.<sup>14)</sup> 고평부압은 흡기가 멈추고 더 이상 공기의 흐름이 없

이 특정한 일회 호흡량으로 폐가 팽창되었을 때 기도내에 형성된 압력을 말하며, 이것은 곧 폐와 흉벽의 탄성을 극복하는 데에 필요한 압력을 의미한다. 폐량이 일정할 때 고평부압이 상승하는 것은 흉곽의 탄성이 낮다는 것을 암시한다.<sup>15)</sup> 기도 내압을 결정하는 요소는 흡입가스의 유속과 호흡기 저항 및 유순도이며, 최대 흡기압은 인공기도를 통하는 흡입가스의 유속과 기도저항의 영향을 받는데 비하여, 고평부압은 기도저항의 영향이 배제된 값이며 말초 기도의 상태를 보다 잘 반영하는 측정치이다. 공급되는 FGF가 감소하여도 고평부압은 크게 변화하지 않으므로 흉곽의 탄성이 일정한 상태였다고 하였을 때, FGF의 변화가 폐의 탄성과 호흡기 저항에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

호흡기계에서 호흡기 유순도와 저항은 호흡회로, 기도 및 폐의 상태 그리고 질병의 진행상태를 예측할 수 있는 좋은 지표이다. 역동적 호흡기 유순도는 흉곽, 폐, 기도와 기관내 튜브의 저항의 영향을 받는데 비해 정적 호흡기 유순도는 폐질질의 변화를 반영한다.<sup>16)</sup> 본 실험에서 SCCA군과 CCA군 사이에 폐유순도는 군간 차이를 보이지 않았는데 이는 FGF의 변화가 폐유순도에 영향을 미치지 못함을 의미한다.

호흡일은 폐의 탄성저항과 기도저항을 이기고 호흡을 하는데 필요한 일의 양으로 기계호흡을 시행하는 환자에서 흡기 시 호흡일은 최대흡기압, 고평부압 및 일회호흡량으로 계산된다.<sup>17)</sup> 정상 호흡일은 0.5 J/L이고 호흡일은 저항이 증가하고 탄성이 떨어지면 증가한다. 기도저항이 증가하였거나 폐탄성이 감소된 환자가 일회호흡량을 일정하게 호흡하려면 경폐압의 증가가 필요하며 결과적으로 호흡운동량도 증가하게 된다.<sup>18)</sup> 건강한 성인의 경우 휴식기에 호흡일에 전산소소모량의 1-3%가 소모되나 폐질환이 있는 환자에서 탄성저항이 감소하거나 기도저항이 증가하게 되면 호흡운동량이 증가하여 중증환자의 경우 50%까지 증가한다. 본 실험에서 측정된 호흡일은 SCCA군과 CCA군 사이에 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 반폐쇄 순환 마취기를 사용한 CCA를 시행할 때 FGF의 변화가 호흡일을 변화시키지 못함을 의미한다.

그리고 FGF를 변화시킨 뒤 측정된 흡입마취제의 흡기농도 및 호기말농도, 평균 동맥압, 심박수, 그리고 호기말 이산화탄소 분압은 SCCA군과 CCA군에서 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이는 마취의 유지시기에 FGF의 감소가 흡입마취제의 흡기 및 호기말 농도, 평균 동맥압, 심박수, 그리고 호기말 이산화탄소 분압을 변화시키지 못함을 의미한다. 마취회로장치에서 마취제의 호기말 농도에 미치는 요소로는 아산화질소, 마취제의 섭취, 물과 이산화탄소의 생성, 사강환기, 마취기계의 누출, FGF 등이 있다.<sup>19-21)</sup> 본 연구에서는 마취 유지시기에 마취제의 농도에 영향을 미치는 다른 요소들은 일정한 상태로 유지하고 FGF를 변화시켜 그 영향

을 알아보고자 하였는데, FGF의 변화가 호기 및 흡기의 흡입마취제의 농도를 크게 변화시키지 못하였다. 또한 평균 동맥압과 심박수도 균간 차이가 없었다.

본 연구에서 호흡 매개변수에 영향을 주는 것으로 알려져 있는 약제의 사용을 제한하여, 다른 약제가 호흡계수에 미치는 영향을 통제하였다. 본 연구에서는 흡입마취제인 isoflurane을 사용하였다. Isoflurane은 기관확장 효과를 가지며, 최대 흡기압과 기도저항을 증가시키고, 폐유순도를 감소시키는 것으로 알려져 있다.<sup>22)</sup> 본 연구의 결과에서 isoflurane의 사용이 측정된 호흡매개 변수 값에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 앞으로 FGF가 호흡계수에 미치는 영향을 더 정확히 평가하기 위하여 전정맥마취(total intravenous anesthesia)를 시행하면서 가스유량의 변화가 호흡 매개변수에 미치는 영향을 비교, 분석하는 연구가 필요하리라 생각된다.

반폐쇄 순환 마취기를 이용하여 SCCA와 CCA 시, FGF가 감소하여도 환자의 호흡 매개변수 및 혈액학적 변수는 변화하지 않았다. 그러므로 일상적으로 사용되는 반폐쇄 순환 마취기를 이용한 CCA는 혈액학, 환기양식과 호흡기계에 의미 있는 변화를 초래하지 않으므로 적절한 감시장치를 이용하여 시행한다면 큰 위험 없이 안전하게 적용할 수 있는 방법이라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. Jang YH, Kim JW: Practical choice and knowledge of Korean anesthesiologists for fresh gas flow. Korean J Anesthesiol 2004; 46: 78-82.
2. Min SH, Shin HW, Lee HW, Chang SH, Lim HJ: The effect of fresh gas flow on sevoflurane concentrations during emergence from anesthesia. Korean J Anesthesiol 2005; 48: 124-9.
3. Foldes FF, Ceravolo AJ, Carpenter SL: The administration of nitrous oxide-oxygen anesthesia in closed systems. Ann Surg 1952; 136: 978-81.
4. Virtue RW: Minimal-flow nitrous oxide anesthesia. Anesthesiology 1974; 40: 196-8.
5. Lin CY: Closed-circuit anesthesia from anesthesia based on experience to anesthesia on a scientific basis. Taipei, National Defense Medical Center. 2000, pp 1-2.
6. Longnecker DE, Murphy FL: Introduction to anesthesia. 9th ed. Philadelphia, WB Saunders Co. 1997, pp 77-80.
7. Shin YS, Cho CH, Shon YJ, Kim JR, Park KW: A clinical evaluation of closed circuit anesthesia. Korean J Anesthesiol 1988; 21: 33-8.
8. Yamada T, Kakoi H, Hirokawa T, Koyama K, Miyao H, Kawasaki J, et al: The effects of fresh gas flow rate on the work of breathing during semi-closed circuit anesthesia. Masui 1994; 43: 55-8.
9. Lin CY: Simple, practical closed-circuit anesthesia. Masui 1997; 46: 498-505.
10. Lin CY: Closed-circuit anesthesia from anesthesia based on experience to anesthesia on a scientific basis. Taipei, National Defense Medical Center. 2000, pp 23-4.
11. Jan AB: The theory and practice of low flow, minimal flow and closed circuit anesthesia. Oxford, Butterworth Heinemann. 1996, pp 149-66.
12. Baxter AD: Low and minimal flow inhalational anesthesia. Can J Anaesth 1997; 44: 643-52.
13. Yeh CC, Kong SS, Chang FL, Huang GS, Ho ST, Wu CT, et al: Closed-circuit anesthesia prolongs the neuromuscular blockade of rocuronium. Acta Anesthesiol Sin 2003; 41: 55-60.
14. Schindler A, Vorweg M, Scheeren TW, Doehn M: Water vapour in a closed anesthesia circuit reduces degradation/adsorption of halothane by dried soda lime. Br J Anaesth 2000; 85: 308-10.
15. Katz RL, Giasen AJ: Neuromuscular and electromyographic effects of halothane and its interaction with d-tubocurarine in men. Anesthesiology 1967; 28: 564-7.
16. Tuxen DV, Lane S: The effects of ventilatory pattern on hyperinflation, airway pressures, and circulation in mechanical ventilation of patients with severe air-flow obstruction. Am Rev Respir Dis 1987; 136: 872-9.
17. Hess DR, Kacmarek RM: Essentials of mechanical ventilation. 2nd ed. New York, McGraw-Hill. 2002, pp 264-70.
18. Bolder PM, Healy TE, Bolder AR, Beatty PC, Kay B: The extra work of breathing through adult endotracheal tubes. Anesth Analg 1986; 65: 853-9.
19. Hendrickx JF, Coddens J, Callebaut F, Artico H, Deloof T, Demeyer I, et al: Effect of N<sub>2</sub>O on sevoflurane vaporizer settings during minimal-and low-flow anesthesia. Anesthesiology 2002; 97: 400-4.
20. Lowe HJ, Ernst EA: The quantitative practice of anesthesia-use of closed circuit. Baltimore, Williams and Wilkins. 1981, p 146.
21. Johansson A, Lundberg D, Luttrupp HH: The effect of heat and moisture exchanger on humidity and body temperature in a low-flow anaesthesia system. Acta Anaesthesiol Scand 2003; 47: 564-8.
22. Dikmen Y, Eminoglu E, Salihoglu Z, Demirogluk S: Pulmonary mechanics during isoflurane, sevoflurane and desflurane anaesthesia. Anaesthesia 2003; 58: 745-8.