일측폐환기시 비환기폐의 지속적기도양압이 동맥혈산소분압에 미치는 영향

서울대학교 의과대학 마취과학교실, 경찰병원마취과*

오 용 석 · 박 남 훈* · 강 훈

=Abstract=

Improving Arterial Oxygenation with Continuous Positive Airway Pressure to the Nonventilated Lung during One Lung Ventilation

Yong Seok Oh, M.D., Nam Hoon Park M.D.* and Hoon Kang, M.D.

Department of Anesthesiology, College of Medicine,
Seoul National University and National Police Hospital*

The authors studied the effect of insufflation of oxygen at 5 cmH₂O into the nonventilated lung on the arterial oxygenation in the thoracotomy patients(n=14) who showed PaO₂ below 100 mmHg or oxygen saturation below 95% during one-lung ventilation. When applying CPAP 5 cmH₂O to the collapsed lung, we inflated the collapsed lung with reservoir bag that is one of the equipment of self made CPAP device. Hemodynamic parameter(mean arterial pressure and heart rate), arterial blood gas analysis and calculated shunt fraction was collected 10, 20, 30 min after applying CPAP. PaO₂ was significantly increased from 76±20 mmHg to 180±66 (mean±SD) and shunt fraction was significantly decreased from 43.5±5.6% to 31.5±4.9% at CPAP 10 min. There was no significant difference in the PaO₂ and shunt fraction between CPAP 10, 20 and 30 min. Heart rate was also significantly decreased with CPAP compared to pre-CPAP value. Other parameter(mean arterial pressure, PaCO₂) was not changed with CPAP. The authors conclude that CPAP 5 cmH₂O to the nonventilated lung is effective to improve oxygenation when hypoxemia occurs during one-lung ventilation.

Key Words: One-lung ventilation, Hypoxemia, Continuous positive airway pressure, Oxygenation, CPAP device

서 론

일측폐환기법에 의한 마취관리는 정상폐를 수술의 대상이 되는 질병이 있는 폐와 분리하는 외에 수술부

위 흉곽의 폐를 허탈시키므로써 수술 조작과 시야를 좋게하는 목적으로 흉부수술 환자에서 자주 이용되고 있다¹⁾. 그러나 일측폐환기는 필연적으로 동반하는 환기-관류 부적합과 폐내선택의 증가로 인하여 폐포-동맥혈산소분압차의 증가와 더불어 동맥혈산소분압의 감소가 있게 된다²⁾. 높은 흡입산소 농도(FiO₂ 1.0)에 의한 환기에도 불구하고 심한 저산소혈증이 지속되는 경우에는 이를 교정할 필요가 있다. 이러한 방법으로 환

*이 논문은 1991년도 서울대학교병원 임상연구비 보조로 이루어졌음.

기폐에 호기말에 양압을 가하는 방법(positive end-expiratory pressure, PEEP)과³⁻⁵⁾ 비환기폐에 지속적으로 양압을 가하는 방법(continuous positive airway pressure, CPAP)^{1,7,8)} 그리고 환기폐에 PEEP를 그리고 비환기폐에는 CPAP를 가하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.^{3,4,9,10)}

본 연구에서는 이중관 삽입에 의한 일측폐환기중에 저산소혈증이 발생한 환자에서 비환기폐에 CPAP 5 cmH₂O를 가할시 동맥혈산소분압의 변화를 관찰하고자 하였다.

연구대상 및 방법

연구 대상은 서울대학교병원 흉부외과에 입원하여 개흉술을 받는 성인 환자중에서 이중관(double lumen endotracheal tube, DLT) 삽관후 일측폐환기(one lung ventilation)에 의한 마취관리중 동맥혈산소분압이 100 mmHg 이하이거나 pulse oximetry 상 산소포화도가 95% 이하인 환자를 대상으로 본 연구자들이 고안한 CPAP 장치(Fig. 1)를 사용하여 실험을 하였다.

환자는 8시간 이상 금식한후 마취전처치제로 thalamonal 1 ml를 수술장에 오기 30분 전에 병실에서 근주하였다. 수술장에 도착하면 심전도를 부착하여

lead II로 심박수를 측정하고, 수술받는 흉부의 반대측 손의 요골동맥에 20 gauge 카테테르를 거치하여 지속적으로 혈압을 Datascope 2000A monitor로 측정하였으며 동맥혈가스분석의 채혈로로 이용하였다. 동측의 엄지 손가락에 맥박산소계측기의 감지기(Nelcor, U.S.A.)를 설치하여 산소포화도를 지속적으로 감시하였다. 마취유도는 fentanyl 2 ug/kg과 thiopental sodium 4 mg/kg을 정주한 후 환자의 의식이 소실되면 O₂-isoflurane(1-2 vol%)을 흡입시키면서 vecuronium 0.15 mg/kg을 정주하여 조절호흡을 하였다. 근이완이 충분히 되면 남자는 37 Fr. 여자는 35 Fr. 왼쪽 DLT(Broncho-cath Mallinckrodt Lab, Athlons, Ireland)를 후두경을 이용하여 삽관하고 양쪽 폐음의 청진과 양쪽폐의 움직임을 관찰하여 DLT가 적절히 분리 삽입된것을 관찰한 후, DLT의 위치는 외경 4.0 mm, 길이 60 cm인 fiberscope(Olympus LF-1, Olympus, Japan)를 우측관에 삽입하여 적절한 위치임을 확인하였다. 마취유지는 양측 폐환기시는 O₂-N₂O(2L:2L)-isoflurane(1-2 vol%)을 흡입시키면서 일회호흡량 10 ml/kg, 호흡수는 동맥혈이산화탄소분압(PaCO₂)이 35 mmHg 유지되도록 호기말이산화탄소분압(ETCO₂)을 관찰하면서(SARA-cap Plus, Biomedical System, St. Louis, U.S.A.) 10~14회/분으로 조절호흡 시켰다.

Fig. 1. 저자들이 사용한 CPAP 장치의 도식이다. DLT는 Double endotracheal tube를 나타낸다.

수술준비가 끝나면 환자를 수술부위가 상부쪽으로하는 측와위를 취하도록 한후 개흉술을 시행하였다. 수술자가 일측폐환기를 원하면 N₂O를 끄고 100% 산소와 흡입마취제로 환기를 바꾼후 이중관의 수술쪽폐 튜브의 연결관을 겸자로 잡고 튜브의 끝은 대기에 노출되도록 하였다.

일측폐환기중에 동맥혈가스분석을 시행하여 동맥혈 산소분압(PaO₂)이 100 mmHg이하가 되거나 pulse oximetry 상의 산소포화도가 95% 이하가 되면 이를 대조치로 하고 CPAP 장치를 이용하여 체중 10 kg당 O₂ 1 L/min의 유량으로 CPAP 5 cmH₂O를 비환기폐에 가하였다. CPAP을 유지하기 전에 CPAP 장치의 Reservoir bag을 이용하여 허탈된 폐를 일부 확장시켰다. CPAP을 비환기폐에 가한 후 10분 간격으로 30분동안 평균동맥압, 심박수, 동맥혈가스분석, ETCO₂를 기록 관찰하였다. 동맥혈가스분석은 STAT Profile 5(NOVA Biomedical, U.S.A.)로 측정하였다. 셉트를 계산하는 공식은 다음을 이용하였다.

Estimated shunt equation =

$$\frac{Q_{SP}}{Q_T} = \frac{C_{CO_2} - C_{aO_2}}{3.5 + C_{CO_2} - C_{aO_2}}$$

통계적 분석은 대조군과 시간에 따른 변화는 ANOVA repeated measure로 하였으며 P값이 0.05 이하인 것을 의미가 있다고 하였다.

결 과

이중관 삽관에 의한 일측폐환기로 개흉술을 시행하였던 69명의 환자중(남 45명, 여 24명-우측측와위 25명, 좌측측와위 44명-폐질환 49명, 식도질환 13명, 기타 7명)에서 일측폐환기시 비환기폐에 CPAP을 가하는 연구대상이 되었던 환자는 14명으로서 남자 11명 여자 3명이었고, 연령은 27~68세(52±13, mean±SD), 체중 38~77 kg(60.3±11.2, mean±SD), 키는 153~173 cm(165±6, mean±SD)이었다. 대상 환자의 수술 질환명은 식도암 7명, 식도개일 1명, 식도협착 1명, 폐암 3명, 폐결핵 1명 그리고 전종격동종양 1명이었다. 수술전 폐기능 검사상 정상인 7명, 폐색성 폐질환 7명이었다. 환자의 수술 위치는 좌측측와위가 11명, 우측측와위가 3명이었다.

환자의 혈압, 심박수, 동맥혈가스분석, 폐내션트의 대조치와 CPAP을 가한 후 시간에 따른 변화는 Table 1과 같다.

CPAP을 가하기전의 대조치, CPAP 10분, 20분, 30분 사이에 평균동맥압, pH, PaCO₂는 변화가 없었다. 심박수는 CPAP을 가함에 따라 CPAP 전기간에 서 대조치에 비하여 감소를 보였으며 CPAP 10, 20, 30분 사이에는 차이가 없었다. CPAP을 가한 후 CPAP 10분의 PaO₂는 대조치에 비하여 의미있게 증가함을 나타내었고(76±20 mmHg vs. 180±66 mmHg, mean±SD) 그후 CPAP 20, 30분의 PaO₂

Table 1. Changes of Hemodynamic and Arterial Blood Gas Analysis During CPAP in 14 Patients(mean±SD).

	Control	CPAP		
		10 min	20 min	30 min
MAP(mmHg)	92±10	96±13	95±10	88±13
HR(beats/min)	90±8	85±10*	84±10*	84±13*
pH	7.46±0.04	7.46±0.05	7.45±0.04	7.45±0.05
PaCO ₂ (mmHg)	34±4	35±4	35±5	33±4
PaO ₂ (mmHg)	76±20	180±66*	191±86*	199±84*
SaO ₂ (%)	94.8±3.6	98.9±2.7*	99±1.1*	99.8±0.8*
Q _{SP} /Q _T (%)	43.5±5.6	31.5±4.9*	30.7±5.7*	30.4±5.8*

MAP; mean arterial pressure, HR; heart rate, Q_{SP}/Q_T; intrapulmonary shunt

*: p<0.01 compared to control values P I

Fig. 2. 개개의 환자에서 CPAP 가한후의 PaO_2 의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 굵은 선은 각 환자의 PaO_2 값의 평균치를 나타낸다.

는 191 ± 86 mmHg, 199 ± 84 mmHg로 CPAP 10분의 PaO_2 와 차이가 없었다. 각각의 환자에서 CPAP을 가함에 따른 PaO_2 의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 산소포화도도 CPAP을 가함에 따라 의미있게 증가함을 보였다.

폐내선프는 CPAP을 가함에 따라 대조치 $43.5 \pm 5.6\%$ 에서 CPAP 10, 20, 30분에 각각 $31.5 \pm 4.9\%$, $30.7 \pm 5.7\%$, $30.4 \pm 5.7\%$ 로 대조치보다 의미있게 감소를 보였으며 CPAP 10, 20, 30분 사이에서는 차이가 없었다.

고 찰

본 연구에서 일측폐환기시에 발생되었던 저산소혈증은 비환기폐에 CPAP 5 cmH₂O를 가함으로써 교정되었고 폐내선프도 감소를 보였다. 저산소혈증의 개선은 환자의 심박수의 감소를 가져온 것으로 생각된다.

개흉술중 일측폐환기시 발생하는 저산소혈증은 환기되지 않는 폐를 통한 정맥혈 혼입의 증가가 가장 주된 원인이다^{1,3,7)}. 이에 더하여 환기폐의 외부 압박에 의한 폐용적의 감소, 높은 농도의 산소에 의한 환기시 환기-관류비가 낮은 환기폐에서 생길수 있는 흡수무기폐(absorption atelectasis), 장시간의 측와위로 인해 생기는 수액의 환기폐로의 유출에 의한 폐용적의 감소와 기도폐쇄의 증가등이 원인이 되고 있다. 즉 환기폐의 환기-관류비의 감소와 환기폐에서 차지하는 무기폐면적의 증가는 환기폐의 혈관저항을 증가시켜 환기

폐의 혈류감소와 더불어 비환기폐의 혈류를 증가시키게 된다. 그 외에 일측폐환기중 저산소혈증을 일으키는 요인으로 될수 있는 것으로 환기폐의 저환기, 이중관류의 위치 불량 또는 환기폐측 튜브내의 분비물등에 의한 막힘이 있다.

본 연구의 대상이 되었던 환자는 좌측측와위로 수술받던 환자들에서 저산소혈증이 많이 발생하였으며 폐질환이 있는 환자보다는 폐질환이 없는 식도수술 환자에서 그 빈도가 높았다. 이는 정상적인 우측 폐가 비환기폐로 무기폐상태가 될때 선프되는 혈액의 양이 많다는 것을 간접적으로 나타내주는 것으로 생각된다⁹⁾. 양와위에서 양측폐환기시 정상폐에서의 폐혈류의 분포는 우측 폐가 55%, 좌측 폐가 45%로 우측 폐가 많다. 환자가 측와위로 되면 상부 폐와 하부 폐의 폐혈류 분포는 달라진다. 좌측 폐가 상부 폐가 되면 폐혈류가 35%가 되고 우측 폐가 상부 폐가 되면 폐혈류가 45%로 된다. 따라서 우측 폐가 상부 폐가 되는 즉 비환기폐가 되는 좌측측와위에서 폐허탈이 일어나면 저산소성폐혈관수축이 일어난다 하여도 환기되지 않은 정맥혈의 혼입량이 우측측와위에서 보다 많게 되어 저산소혈증의 위험성이 높게 된다¹¹⁾.

일측폐환기시 저산소혈증의 개선 방법으로 여러가지가 보고 되었다. 첫째 하부에 위치한 환기폐에 호기말 양압법(PEEP)을 시행하는 것이다³⁻⁶⁾. 이 방법은 환기되고 있는 폐의 폐용적이 감소되고 있는 경우에 PEEP에 의하여 폐용적을 증가시켜 산소화를 증진시키고자 하는 방법이다. 이 방법은 폐용적의 증가로 인한 폐포내혈관의 압박으로 폐혈관저항의 증가를 가져와 폐혈류가 환기폐로부터 비환기폐로 이전할 수 있는 위험성이 있어 선프의 증가로 PaO_2 가 오히려 감소할 수 있다⁶⁾. 따라서 환기폐 PEEP시 동맥혈산소분압에 미치는 영향은 기능적잔기용량과 환기-관류비의 증가에 의한 산소화의 증가를 가져오는 이점과 폐혈관저항의 증가와 함께 비환기폐에로의 선프 혈류의 증가로 산소화의 감소를 가져오는 단점이 있다. 따라서 동맥혈산소분압을 증가시키기 위해 환기폐에 PEEP를 가하는 방법은 그 효과가 예측하기 어렵다. 일측폐환기시 환기폐에 가하는 일회호흡량의 증가도 PaO_2 를 증가시키지 않는 것으로 보고되고 있다¹¹⁾. 둘째 상부측에 위치하는 비환기폐에 산소를 공급하여 지속적으로 낮은 압력의 양압(CPAP)을 가하는 것이다^{1,7)}. 비환기

폐에 5~10 cmH₂O의 CPAP을 가하게 되면 비환기 폐의 폐포가 산소에 의해 지속적으로 확장된 상태를 유지하면서 가스교환이 일어나 산소분압을 증가시키게 된다. 이때 비환기폐에 5~10 cmH₂O의 CPAP은 환자의 혈액학적인 영향이 없는 것으로 되어있다¹⁰⁾. 본 연구에서는 연구자들이 고안한 간단한 CPAP 장치를 이용하여 비환기폐에 5 cmH₂O의 낮은 압력의 CPAP을 가함으로써 동맥혈산소분압을 증가시켰다. 비환기폐에 CPAP을 가할시 전체 폐가 이미 무기폐가 되어 있는 상태에서는 5 cmH₂O 압력의 CPAP을 가하는 것만으로는 폐포의 확장이 일어나지 않으므로 산소화의 증가를 기대할 수 없다. 이때는 reservoir bag을 이용하여 CPAP을 가하기전에 폐를 어느정도 확장시켜야 한다. 비환기폐에 CPAP을 가할 시 폐포의 확장은 100~200 ml정도이므로 수술시야를 방해하지 않으면서 환자의 산소화는 유지시켜주는 방법이다. 기도압력이 형성되지 않는(0 cmH₂O) 산소의 투여는 폐포의 확장과 기도의 개존상태를 유지할 수 없기 때문에 동맥혈산소분압의 개선을 기대할 수 없다¹⁾. 세째 상부측에 있는 비환기폐에는 CPAP을 가하고 하부측에 위치하는 환기폐에는 PEEP를 가하는 것이다^{3,4,9,10)}. 이 방법은 이론적으로 환기폐에 PEEP를 가함으로써 폐용적을 크게하고 환기-관류비를 증진시키며, 비환기폐에 CPAP을 가함으로써 이곳을 흐르는 혈액의 산소화를 도모하는 방법이다. 이 방법은 일측 폐가 심한 질환을 앓고 있는 경우 산소화를 그대화시킬수 있는 방법으로 평가되고 있다¹¹⁾.

개흉술시 일측폐환기에 의한 저산소혈증의 개선 방법으로 본 연구자들이 고안하여 사용하고 있는 상부측 비환기폐에 CPAP을 가하는 방법은 간단한 장치로 다른 사람들이^{12~15)} 고안한 방법이나 장치에 비하여 CPAP의 크기를 쉽게 조절할 수 있고 허탈된 폐를 확장시키기 쉬우면서 reservoir bag을 이용하여 비환기폐의 폐를 분리환기를 시행할 수 있는 장치이다.

결 론

개흉수술시 수술시야를 좋게하는 목적으로 시행된 기도내 이중관삽관에 의한 일측 폐환기시 저산소혈증이 발생한 환자에서 허탈된 비환기폐를 일부 팽창시키면서 CPAP 5 cmH₂O를 가하여 산소화를 증가시켰

다. 이 방법에 의한 동맥혈산소화의 증가는 허탈된 폐의 일부가 확장되면서 폐내선트를 감소시켰기 때문이다. 또한 저자들이 고안한 CPAP 장치는 간단하면서도 CPAP의 정도를 물기둥의 높이로 자유로이 조절할 수 있고 허탈된 폐의 일부 확장을 위해서는 reservoir bag을 이용할 수 있어 유용하게 사용할 수 있는 장치이다.

참 고 문 헌

- 1) Benumof JL. Conventional and differential lung management of one-lung ventilation. p. 271-287. In *Anesthesia for Thoracic Surgery*. WB Saunders, Philadelphia, 1987.
- 2) Benumof JL. One-lung ventilation and hypoxic pulmonary vasoconstriction: Implications for anesthetic management. *Anesth Analg* 1985; 64: 821-833
- 3) Alfery DD, Benumof JL, Trousdale FR. Improving oxygenation during one-lung ventilation: The effects of PEEP and blood flow restriction to the nonventilated lung. *Anesthesiology* 1981; 55: 381-385
- 4) Rees DI, Wansbrough SR. One-lung anesthesia: Percent shunt and arterial oxygen tension during continuous insufflation of oxygen to the nonventilated lung. *Anesth Analg* 1982; 61: 507-512
- 5) Cohen E, Thys DM, Eisenkraft JB, et al. PEEP during one-lung anesthesia improve oxygenation in patients with low arterial PaO₂. *Anesth Analg* 1985; 64: 201-205
- 6) Katz JA, Laverne RG, Fairley HB, et al. Pulmonary oxygen exchange during endobronchial anesthesia: Effects of tidal volume and PEEP. *Anesthesiology* 1982; 56: 164-171
- 7) Capan LM, Turndorf H, Chandrakant P, et al. Optimization of arterial oxygenation during one-lung anesthesia. *Anesth Analg* 1980; 59: 847-851
- 8) Merridew CG, Jones RDM. Nondependent lung CPAP(5 cmH₂O) with oxygen during ketamine, halothane or isoflurane anesthesia and one-lung ventilation. *Anesthesiology* 1985; 63: A567
- 9) Cohen E, Thys DM, Eisenkraft JB, et al. Effect of CPAP and PEEP during one-lung anesthesia: Left versus right thoracotomies. *Anesthesiology* 1985; 61: A564
- 10) Eisenkraft JB, Thys DM, Cohen E, et al. Hemody-

- namic effects of CPAP and PEEP during one-lung anesthesia with isoflurane. Anesthesiology 1984; 61: A520*
- 11) Khanom T, Branthwaite MA. *Arterial oxygenation during one-lung anesthesia. A study in man. Anaesthesia 1973; 28: 132-138*
- 12) Thiagarajah S, Job C, Rao A. *A device for applying CPAP to the nonventilated upper lung during one lung ventilation. I. Anesthesiology 1984; 60: 253-254*
- 13) Hannenberg AA, Satwicz PR, Pienes RS Jr, et al. *A device for applying CPAP to the nonventilated upper lung during one lung ventilation. II. Anesthesiology 1984; 60: 254-255*
- 14) Brown DL, Davis RS. *Simple device for oxygen insufflation with continuous positive airway pressure during one-lung ventilation. Anesthesiology 1984; 61: 481-482*
- 15) Baraka A, Siba AN, Muallem M, et al. *CPAP oxygenation during one-lung ventilation using an underwater seal assembly. Anesthesiology 1982; 65: 102-103*
-