마취중 성인남자 환자에서 호기말 양압이 사강률과 탄력성에 미치는 영향

연세대학교 의과대학 마취과학교실

김원옥 · 김진수 · 박윤곤 · 박광원 · 조정현

= Abstract =

Effect of Positive End-Expiratory Pressure on the Dead-space-Tidal Volume Ratio and Compliance in Adult Patients during Anesthesia

Won Oak Kim, M.D., Jin Su Kim, M.D., Wyun Kon Park, M.D., Kwang Won Park, M.D.
and Chung Hyun Cho, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

In 15 patients without cardiopulmonary disease, we studied the effects of positive end-expiratory pressure(PEEP) on the deadspace-tidal volume ratio(VD/VT ratio) and total static compliance after induction of anesthesia.

PEEP of 0, 5, 10 and 15 cmH₂O were sequentially applied.

Mean VD/VT ratio and compliance were 0.34 ± 0.11 , 57 ± 8 ml/H₂O at zero PEEP, 0.37 ± 0.06 , 64 ± 6 ml/H₂O at 5 cmH₂O PEEP, 0.38 ± 0.07 , 64 ± 9 ml/H₂O at 10 cmH₂O PEEP and 0.43 ± 0.16 , 59 ± 8 ml/cmH₂O at 15 cmH₂O PEEP. At each level of PEEP, VD/VT ratio and compliance had increased with elevation of PEEP. VD/VT ratio at 15 cmH₂O was significantly differed from that of zero PEEP but not in compliance.

We observed in anesthetized patients with healthy lung that the application of PEEP up to 15 cmH₂O increased VD/VT ratio and compliance.

서 론

호기말 양압(PEEP)에 의해 기능적 잔류용량(FRC)이 증가되는 것은 잘 알려져 있다^{1~3)}. 그러나 호기말 양압으로 인한 사강률(VD/VT)과 탄력성(total static compliance)의 변화는 연구자에 따라 각기 다른 결과들을 보고하고 있다¹⁾.

따라서 저자들은 전신마취하의 성인남자 환자에서 PEEP의 증가에 따른 사강률과 탄력성의 변화를 알아보는 실험을 하여 보았기에 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

대상 및 방법

연구대상으로 심폐질환이 없는 20~40세사이의 15명의 성인남자로 복부나 흉부수술을 받지 않는 ASA class 1~2에 속하는 환자를 대상으로 하였다.

전처치로 glycopyrrolate 0.2 mg, lorazepam 2 mg을 수술 1시간전에 근육주사하였으며, 마취유도는 thio-pental 5 mg/kg를 정주하고 100%산소를 흡입시키면서 succinylcholine 1 mg/kg으로 근육이완 시킨 후에 기관내 삽관하였다.

마취유지는 halothane-N₂O-O₂로 하였고, 근육이완은 pancuronium 4 mg으로 하였다. 마취상태가 안정된 후에 전신마취기와 Servo 900 C(Simens-Elema,

Sweden) 호흡기를 연결하여 다뤄를 계속하면서 환기 횟수는 분당 10회, 흡기 시간비 25%, 정지시간(pause time) 10%, 흡기 : 호기 비율 1 : 2로 하고 일회 환기량은 10 ml/kg 로 환기하였다. 호흡기의 유량방식(flow pattern)은 square wave 로 하였다. 대상환자의 체위는 양와위였다. Servo 900 C와 부착된 이산화탄소 분석기(CO₂ analyzer 930)으로 환기말 이산화탄소농도(end tidal CO₂), 분당 이산화탄소 배출량(CO₂ minute product, ml/min), ineffective tidal volume(ml), effective tidal volume(ml), effective ventilation (l/min.) 및 CO₂ total product(ml)를 측정하였고, lung mechanics calculator 940으로 최고기도압(peak pressure, cmH₂O), 정지압(pause pressure, cmH₂O), 흡기와 호기저항(cmH₂O/L/sec.), 탄력성(ml/cmH₂O) 및 호기말압(end expiratory pressure, cmH₂O)를 측정하였다. 분당 호기량(expired minute volume)은 Servo 900 C에 내장된 computer에 의해 계산되는 값으로 하였다. 환기말 이산화탄소농도의 값은 교정치(50% N₂O 혼합시 0.975)를 곱하여 산출하였다. 그러나 대기압에 대한 교정은 하지 않았다. 사강률은 다음 공식에 의해 구하였다. $VD/VT = (\text{end tidal volume, \%} -$

$(\text{CO}_2 \text{ min. product, ml} \times 100 / \text{expired min. volume, ml/min.})) / \text{end tidal CO}_2, \%$. 각 환자에서 PEEP을 적용하지 않은 상태를 기준(control)으로 하여 PEEP 5, 10 및 15 cmH₂O를 각각 5분간 적용하여 사강률을 구하고, 탄력성을 측정하였다.

얻어진 자료를 대조군으로 하고, PEEP이 적용되어 얻어진 자료는 5, 10 및 15 cmH₂O의 PEEP수준에 따라 PEEP 5, PEEP 10, PEEP 15군으로 구별하였다. 자료들은 작군을 단순분류 작비교 분산분석(repeated measures ANOVA)를 하여 $p < 0.05$ 를 유의치로 간주하였다.

결 과

1) 대상환자

15명의 남자환자의 평균연령은 27.3 ± 7.3 (평균±평균편차)세였으며, 체중은 61.0 ± 5.3 kg이었다.

2) 사강률의 변화

대조군은 0.34 ± 0.11 이었고, PEEP 5, 10, 15 cmH₂O

Table 1. Changes of VD/VT Ratio

Patient No.	PEEP 0	PEEP 5	PEEP 10	PEEP 15
1	0.33	0.35	0.45	0.65
2	0.38	0.39	0.43	0.51
3	0.31	0.32	0.30	0.37
4	0.37	0.37	0.44	0.42
5	0.31	0.34	0.37	0.41
6	0.23	0.32	0.38	0.24
7	0.31	0.30	0.31	0.36
8	0.30	0.33	0.34	0.41
9	0.26	0.38	0.38	0.42
10	0.22	0.33	0.39	0.44
11	0.32	0.50	0.35	0.46
12	0.33	0.34	0.40	0.39
13	0.34	0.41	0.46	0.44
14	0.27	0.34	0.27	0.31
15	0.41	0.47	0.56	0.31
Mean±S.D.	0.34 ± 0.11	0.37 ± 0.06	0.39 ± 0.07	$0.43 \pm 0.16^*$

PEEP 0; control group

PEEP 5, 10, 15; PEEP of 5, 10, 15 cmH₂O applied groups

* PEEP 0~PEEP 15($p < 0.05$)

Table 2. Changes of Compliance

(ml/cmH₂O)

Patients No.	PEEP 0	PEEP 5	PEEP 10	PEEP 15
1	55	62	56	50
2	52	61	57	50
3	63	72	73	71
4	60	68	53	54
5	54	55	54	47
6	51	64	76	71
7	60	73	69	57
8	50	58	60	58
9	58	65	66	55
10	57	64	67	63
11	69	69	76	68
12	75	66	66	65
13	56	62	57	49
14	56	65	74	65
15	42	51	49	55
Mean±S.D.	57±8	64±6	64±9	59±8

* PEEP 0, 15~PEEP 5, 10(p<0.05).

적용군에서 각각 0.37 ± 0.06 , 0.39 ± 0.07 , 0.43 ± 0.16 으로 대조군과 PEEP 15 cmH₂O 적용군간에 유의한 차이가 있었으나, PEEP 5, 10 cmH₂O 적용군과는 차이를 볼 수 없었다. 또한 PEEP 5, 10, 15 cmH₂O 적용군들사이에는 유의한 차이가 없었다. 그러나 PEEP의 적용압력이 높아짐에 따라 점차 사망률이 증가하는 추세를 보여주었다(Table 1).

3) 탄력성의 변화

대조군은 57 ± 8 ml/cmH₂O였으며, PEEP 5, 10, 15 cmH₂O 적용군에 각각 64 ± 6 , 64 ± 9 , 59 ± 8 ml/cmH₂O로 나타났는데, 대조군과 PEEP 15 cmH₂O 적용군은 PEEP 5, 10 cmH₂O 적용군들과는 유의한 차이가 있었으나, 대조군과 PEEP 15 cmH₂O 적용군 사이에는 유의한 차이를 볼 수 없었고, 또한 PEEP 5, 10 cmH₂O 적용군 사이에서도 유의한 변화가 없었다(Table 2).

고 안

마취된 환자는 마취유도와 양와위에 의해 FRC의 변화를 가져오게 되는데^{4~8)}, 자발호흡시에는 16.1~31.4%(평균 20.5%), 인공환기시에는 9.0~15.4%(평균

15.9%)의 감소가 생긴다고 한다. 이러한 감소는 호흡부전시의 FRC의 감소와 다른 양상으로 아직까지 정확한 원인은 밝혀지지 않고 있다⁹⁾. 그러나 PEEP에 의해 FRC의 정상대치는 그 이상으로 증가되는 것으로 알려져 있지만, 호흡부전때와 같은 동맥혈 산소분압의 증가는 되지 않는다고 한다⁹⁾.

마취유도 후에 lung volume의 감소는 FRC의 감소와 더불어 탄력성의 저하를 초래하게 되는데^{8~10)}, 근육이완된 양와위 환자에서 total static compliance는 평균 85 ml/cmH₂O(의식이 있을 때, 120 ml/cmH₂O)로 FRC의 감소와 밀접하게 관련되어 있는 것으로 설명되고 있다⁹⁾. 본 실험에서 측정된 탄력성은 대조군에서 평균 57 ml/cmH₂O로 Rehder 등⁷⁾의 결과 보다 낮았으며, 이 대조치는 PEEP의 적용에 의해 증가되는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 PEEP에 의해 탄력성이 증가됨을 보여주는 것이라 할 수 있다. 특히 PEEP 5, 10 cmH₂O 적용군에서 의의있게 증가하였다. 그러나 PEEP 15 cmH₂O 적용군에서는 대조군과 유사하게 나타났는데, 이것은 15 cmH₂O의 PEEP에 의해 폐포가 과다확장되는 것 때문으로 생각된다. 즉 근육이완된 마취환자나 의식불명의 환자에서 흉부탄력성은 비교적 일정하므로¹¹⁾ PEEP에 의한 전체 탄력성의 변

화는 폐포의 확장에 의해 결정되는 것이라 할 수 있기 때문이다. 따라서 임상적으로 탄력성이 가장 많이 증가하는 PEEP 수준을 적용함이 중요함을 보여주는 것이라 할 수 있다.

한편 사강물은 비교적 일정하므로 널리 사용되고 있는데, 나이, 체구(body size), 체위, 흡기 시간과 멈춤(breath holding), 흡연, 폐질환, 마취, 기구(apparatus) 및 인공환기 등에 의해 영향을 받을 수 있다⁸⁾. 이중에 마취에 의해 폐포사강이 증가하지만 기관내 삽관으로 해부학적 사강의 감소로 상쇄되어 건강한 성인 환자에서 30~35%를 나타내게 되는데, Bindler 등¹³⁾에 의하면 폐질환이 없는 마취된 환자들에서 PEEP이 적용되지 않았을 때가 25%였으나, 9 cmH₂O의 PEEP에서 33%, 16 cmH₂O의 PEEP에서 40%로 증가하였다고 보고하고 있다. 본 실험의 대조군에서 평균 34%의 사강물을 보였다. 사강물은 PEEP의 적용에 의해 점차 증가하는 것을 볼 수 있었는데, PEEP 15 cmH₂O 적용군에서 43%까지 증가되었다. 이러한 증가는 정상 폐포의 과대확장^{1,8)}, 기도, 폐대 혹은 폐포의 확장으로 인한 혈류의 감소가 원인이 되어 사강물이 증가했을 것으로 생각되는데, 만약 일부 무기폐가 있다면 PEEP의 적용으로 무기폐포가 재기능을 하여 일정한 일회 환기량이 혈류에 대한 고른 분포($\dot{V}/\dot{Q}$ match)가 일어나게 되어 사강물이 감소될 것으로 생각된다¹²⁾.

따라서 정상 폐에서 PEEP의 적용은 본 실험에서와 같이 폐포의 과다팽창과 폐혈관의 저항이 증가되어 사강물의 증가로 탄력성의 증가에도 불구하고 동맥혈 산소분압의 증가가 높지 않은 결과로 나타나는 것을 설명할 수 있을 것으로 보여진다.

결 론

전신마취하의 15명의 성인남자 환자에서 5, 10, 15 cmH₂O의 PEEP를 적용하여 이에 따른 사강물과 탄력성의 변화를 알아 보았는데, PEEP을 적용하지 않은 대조군에서 사강물과 탄력성은 0.34 ± 0.11 , 57 ± 8 ml/cmH₂O였으며, 5 cmH₂O의 PEEP 적용군에서 0.37 ± 0.06 , 64 ± 6 ml/cmH₂O, 10 cmH₂O의 PEEP 적용군에서 0.39 ± 0.07 , 64 ± 9 ml/cmH₂O, 15 cmH₂O의 PEEP 적용군에서 0.43 ± 0.16 , 59 ± 8 ml/cmH₂O로 나타났다. 이러한 결과는 정상적인 폐에서 PEEP의 적용은 점차적인 사강물과 탄력성의 증가추세를 보여 주는 것으로 PEEP에 의해 탄력성의 증가에도 불구하고 사강물의 증가로 인하여 동맥혈 산소분압이 호흡부전

시에 PEEP을 적용했을 때 만큼 증가하지 않는 것을 설명해 줄 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Tyler DC: Positive end-expiratory pressure: a review. *Crit Care Med* 11:300, 1983
- 2) Suter PM, Fairley HB, Isenberg MD: Optimum end-expiratory pressure in patients with acute pulmonary failure. *N Engl J Med* 292: 284, 1975
- 3) Shapiro BA, Harrison RA, Kacmarek RM, et al: *Clinical application of respiratory care*. 3rd ed, Chicago, Year Book Medical Publisher, Inc, 1985, pp408-441
- 4) Bergman NA: Distribution of inspired gas during anesthesia and artificial ventilation. *J Appl Physiol* 18:1085, 1963
- 5) Hewlett AM, Hulands GH, Nunn JF, et al: Functional residual capacity. *Br J Anaesth* 46:479, 1974
- 6) Hewlett AM, Hulands GH, Nunn JF, et al: Functional residual capacity during anaesthesia. *Br J Anaesth* 46:495, 1974
- 7) Rehder K, Sessler AD, Marsh HM: General anesthesia and the lung. *Am Rev Resp Dis* 112:541, 1975
- 8) Nunn JF: *Applied respiratory physiology*. 2nd ed., London, Butterworths & Co, Ltd, 1977, pp66-69, 80-85, 224-232
- 9) Whyche MQ, Teichner RL, Kallos T, et al: Effects of continuous positive-pressure breathing on functional residual capacity and arterial oxygenation during intraabdominal operations. *Anesthesiology* 38:68, 1973
- 10) Caro CG, Butler J, Dubois AB: Some effects of restriction of chest cage expansion on pulmonary function in man. *J Clin Invest* 39: 573, 1960
- 11) Dueck R, Wagner PD, West JB: Effects of positive end-expiratory pressure on gas exchange in dogs with normal and edematous lungs. *Anesthesiology* 47:359, 1977

- 12) Wesley AG, Thambiran M, Pather M, et al: *Continuous positive pressure ventilation in children with bronchopneumonia. Anaesthesia* 33:466, 1978
- 13) Bindslev L, Hedenstierna G, Santesson J, et al: *Ventilation-perfusion distribution during inhalation anaesthesia. Acta Anaesth Scand* 25:360, 1981
-