

Volume-Controlled Mode의 기계환기시 동일한 I:E Ratio하에서 Inspiratory Pause가 기도압 및 가스교환에 미치는 영향†

충북대학교 의과대학 내과학교실

최원준, 정성한, 이정아, 최강현

= Abstract =

The Effects of Inspiratory Pause on Airway Pressure and Gas Exchange under Same I : E ratio in Volume-controlled Ventilation

Won Jun Choi, M.D., Sung Han Jung, M.D.,
Jeong A Lee, M.D. and Kang Hyeon Choe, M.D

*Department of Internal Medicine, College of Medicine,
Chungbuk National University Chungju, Korea*

Background : In volume-controlled ventilation, the use of inspiratory pause increases the inspiratory time and thus increases mean airway pressure and improves ventilation. But under the same I : E ratio, the effects of inspiratory pause on mean airway pressure and gas exchange are not certain. Moreover, the effects may be different according to the resistance of respiratory system. So we studied the effects of inspiratory pause on airway pressure and gas exchange under the same I : E ratio in volume-controlled ventilation.

Methods : Airway pressure and arterial blood gases were evaluated in 12 patients under volume-controlled mechanical ventilation with and without inspiratory pause time 5%. The I : E ratio of 1 : 3, FiO₂, tidal volume, respiratory rate, and PEEP were kept constant.

Results : PaCO₂ with inspiratory pause was lower than without inspiratory pause (38.6 ± 7.4 mmHg vs. 41.0 ± 7.7 mmHg, $p < 0.01$). P(A-a)O₂ was not different between ventilation with and without inspiratory pause (185.3 ± 86.5 mmHg vs. 184.9 ± 84.9 mmHg, $p = 0.766$). Mean airway pressure with inspiratory pause was higher than without inspiratory pause (9.7 ± 4.0 cmH₂O vs. 8.8 ± 4.0 cmH₂O, $p < 0.01$). The resistance of respiratory system inversely correlated with the pressure difference between plateau pressure with pause and peak inspiratory pressure without pause ($r = -0.777$, $p < 0.01$), but positively correlated with the pressure difference between peak inspiratory pressure with pause and peak inspiratory pressure without pause ($r = 0.811$,

† 본 연구는 1997년도 충북대학병원 임상연구비에 의하여 연구되었음.

$p < 0.01$). Thus the amount of increase in mean airway pressure with pause positively correlated with the resistance of respiratory system ($r = 0.681$, $p < 0.05$). However, the change of mean airway pressure did not correlated with the change of PaCO_2 .

Conclusion : In volume-controlled ventilation under the same I : E ratio of 1 : 3, inspiratory pause time of 5% increases mean airway pressure and improves ventilation. Although the higher resistance of respiratory system, the more increased mean airway pressure, the increase in mean airway pressure did not correlated with the change in PaCO_2 . (Tuberculosis and Respiratory Diseases 1998, 45 : 1022-1030)

Key words : Inspiratory pause, Mean airway pressure, Ventilation.

서 론

Volume-controlled ventilation(VCV)시 inspiratory pause의 사용은 흡기시간을 연장시켜 평균기도압을 상승시키고 가스교환을 호전시키는 것으로 알려져 있다¹⁻⁵⁾. 그러나 같은 흡기-호기 시간비(I : E ratio)를 유지하면서 inspiratory pause를 사용하였을 경우 평균기도압과 가스교환의 변화에 대하여는 잘 알려져 있지 않다. 특히 inspiratory pause를 사용하면 단시간 내에 정해진 상시 호흡량이 공급되므로 흡기 초반부에는 기도압이 증가하지만, pause가 적용되는 흡기 후반부에는 기도압이 감소하여 전체적인 평균기도압에 미치는 영향이 확실하지 않으며, pause가 있는 동안의 기도압의 감소는 호흡기계의 저항과 연관이 있으므로 호흡기계의 저항에 따라 그 차이가 있을 것으로 사료된다. 이에 저자 등은 volume-controlled ventilation으로 기계호흡을 받는 환자를 대상으로 inspiratory pause의 유무가 기도압 및 가스교환에 미치는 영향과 호흡기계의 저항과의 관계를 알아보고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1997년 3월부터 8월까지 충북대학교병원 중환자실에 입원하여 호흡부전으로 기계환기치료를 받는 환자 중 활력징후가 안정된 환자 12명을 대상으로 하였다. 이들은 남자 9명, 여자 3명이었으며 평균연령은 $57 \pm$

18세이었다. 이들의 기저질환은 Table 1과 같다.

인공호흡기는 흡기시간과 pause 시간을 respiratory cycle의 일정비율로 조절할 수 있는 Servo 900C (Siemens, Sweden)를 이용하였고, constant flow를 사용하는 volume-controlled ventilation(VCV)으로 controlled mandatory ventilation(CMV) mode를 사용하였다. 환자의 노력을 없애기 위해 호흡근육을 마비시킨 후 무작위 순서로 pause를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우로 나누어 시행하였으며, pause를 사용하지 않은 경우에는 inspiratory time을 25%, pause time을 0%로 하여 흡기-호기 시간비(I : E ratio)를 1 : 3으로 하였고, 15회 호흡시 최고흡기압(peak inspiratory pressure), 평균기도압(mean airway pressure) 및 총 호기말양압(total positive end-expiratory pressure, total PEEP)을 측정하였다. 인공호흡기의 설정을 변경하고 20분 후에 동맥혈가스분석을 실시하였다. Pause를 사용한 경우에는 inspiratory time을 20%, pause time을 5%로 하여 I : E ratio를 1 : 3으로 유지하여 같은 방법으로 pause pressure를 포함한 각각의 기도압을 측정하였고 동맥혈가스분석을 시행하였다. Pause의 유무에 관계없이 흡기산소농도, 상시호흡량, 호흡수, 호기말양압 및 trigger sensitivity는 변화 시키지 않았다.

호흡기계(respiratory system)의 저항은 pause pressure와 총 호기말양압의 차이를 기류속도로 나누어 구하였다⁶⁻⁸⁾.

Table 1. Clinical characteristics of patients

patient No.	Age (years)	Sex	Underlying disease
1	28	M	hepatitis, pneumonia
2	76	M	subdural hematoma, pneumonia
3	42	M	fracture of femur, fat embolism
4	77	M	hydrocephalus, pneumonia
5	44	M	multiple myeloma, ARDS
6	65	M	multiple myeloma, pneumonia
7	77	M	metastatic cancer of unknown origin, pneumonia
8	38	M	meningitis, pneumonia
9	68	M	renal abscess, ARDS
10	63	F	rectal cancer, ARDS
11	72	F	COPD, pneumonia
12	39	F	renal abscess, pneumonia

ARDS : acute respiratory distress syndrome, COPD : chronic obstructive pulmonary disease

Table 2. Hemodynamic properties with and without inspiratory pause 5%

	Pause 0%	Pause 5%	p value
systolic BP (mmHg)	119 ± 24	115 ± 19	NS
diastolic BP (mmHg)	67 ± 13	66 ± 12	NS
Heart rate (beats/min)	101 ± 20	100 ± 20	NS

BP : blood pressure, Ns : not significant

Pause 유무에 따른 변화는 paired Student t-test를 이용하여 비교하였고 호흡기계의 저항과 기도압의 변화랑과는 Pearson correlation을 이용하여 상관관계를 보았으며, p값이 0.05 미만일 경우 통계적 유의성을 인정하였다.

결 과

1. Pause 유무에 따른 혈액학적 변화

대상환자들의 기계환기는 평균 흡기산소농도 0.46 ± 0.13 , 상시호흡량은 0.48 ± 0.06 liter, 호흡수는 19.4 ± 2.3 회/분, 호기말양압은 3.4 ± 3.5 cmH₂O이었다. 수축기 혈압, 이완기 혈압 및 심박수는 pause 유무에

따른 차이가 없었다(Table 2).

2. Pause 유무에 따른 가스교환의 변화

동맥혈가스분석시 pH는 pause가 없을 때 7.45 ± 0.07 , pause가 있을 때 7.46 ± 0.07 로 변동을 보이지 않았으며, 동맥혈 이산화탄소분압은 pause가 없을 때 41.0 ± 7.7 mmHg, pause가 있을 때 38.6 ± 7.4 mmHg로 pause가 있을 때 유의하게 낮았다($p=0.003$). 동맥혈 산소분압은 pause가 없을 때 91.8 ± 19.7 mmHg, pause가 있을 때 94.4 ± 23.2 mmHg로 pause가 있을 때 증가하는 경향을 보였으나($p=0.054$), 폐포-동맥혈 산소분압차는 pause가 없을 때 184.9 ± 84.9 mmHg, pause가 있을

Table 3. Arterial blood gas with and without inspiratory pause 5%

	Pause 0%	Pause 5%	p value
pH	7.45 ± 0.07	7.46 ± 0.07	NS
PaCO ₂ (mmHg)	41.0 ± 7.7	38.6 ± 7.4	0.003
PaO ₂ (mmHg)	91.8 ± 19.7	94.4 ± 23.2	0.054
P(A-a)O ₂ (mmHg)	184.9 ± 84.9	185.3 ± 86.5	NS

NS : not significant

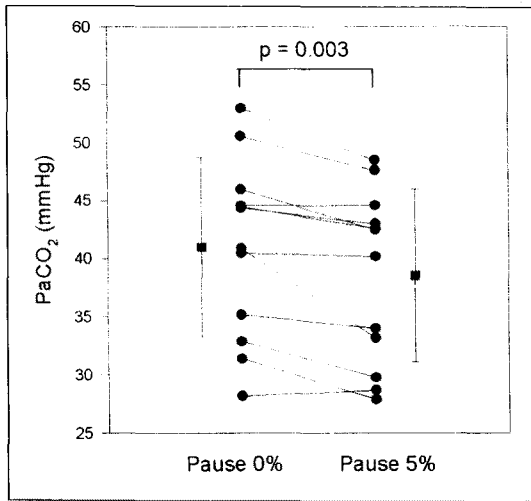


Fig. 1. Effect of pause 5% on PaCO₂.

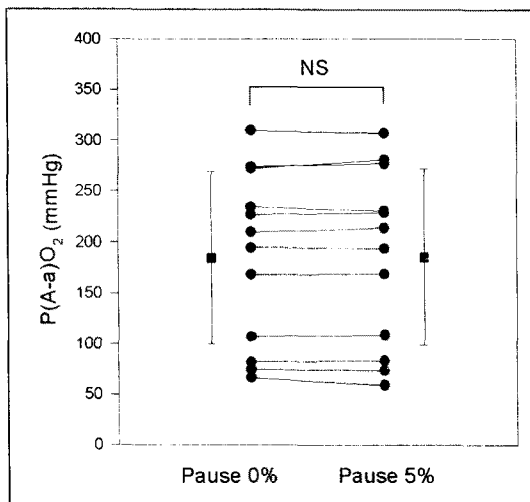


Fig. 2. Effect of pause 5% on P(A-a)O₂.

때 185.3 ± 86.5 mmHg로 pause 유무에 따른 차이는 없었다(Table 3) (Fig. 1, Fig 2).

3. Pause 유무에 따른 기도압의 변화

최고흡기압은 pause가 없을 때 27.2 ± 8.3 cmH₂O, pause가 있을 때 31.6 ± 9.0 cmH₂O로 pause가 있을 때 유의하게 높았고(p=0.001), 평균기도압도 pause가 없을 때 8.8 ± 4.0 cmH₂O, pause가 있을 때 9.7 ± 4.0 cmH₂O로 pause가 있을 때 유의하게 높았다(p=0.001) (Table 4) (Fig. 3, Fig. 4).

4. 호흡기계 저항과 기도압 변동과의 관계

대상 환자의 호흡기계의 저항은 평균 15.6 ± 12.3 cmH₂O sec/L (3.18-49.6cmH₂O sec/L)이었다. 호흡기계의 저항이 클수록 pause가 있을 때의 pause pressure와 pause가 없을 때의 최고흡기압의 차이가 컸으나(r=-0.922, p=0.001), pause가 없을 때의 최고흡기압에서 pause가 있을 때의 최고흡기압의 차이가 커져(r=0.864, p=0.001), 호흡기계의 저항이 클수록 pause가 있을 때의 평균기도압의 증가정도가 컸다(r=0.681, p=0.015) (Fig. 5, Fig. 6).

5. 평균기도압의 변동량과 동맥혈 이산화탄소분압의 변동량과의 관계

Pause가 있을 때의 평균기도압의 증가량과 pause가 있을 때의 동맥혈 이산화탄소분압의 감소량과는 상관

Table 4. Airway pressures with and without inspiratory pause 5%

	Pause 0%	Pause 5%	p value
PIP (cmH ₂ O)	27.2 ± 8.3	31.6 ± 9.0	0.001
Pmean (cmH ₂ O)	8.8 ± 4.0	9.7 ± 4.0	0.001

PIP : Peak inspiratory pressure, Pmean : mean airway pressure

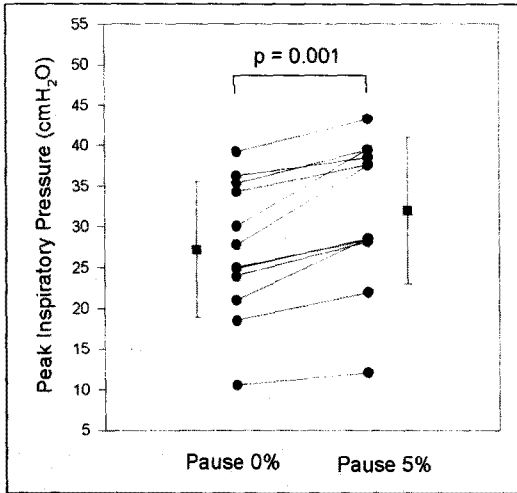


Fig. 3. Effect of pause 5% peak inspiratory pressure.

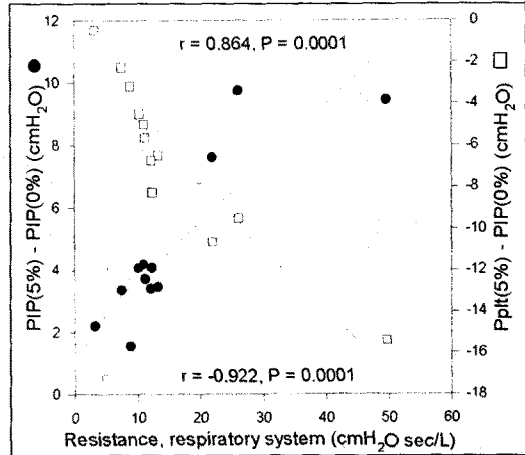


Fig. 5. Correlations between airway pressure changes and resistance of respiratory system. PIP(0%) : peak inspiratory pressure without pause ; PIP(5%) : peak inspiratory pressure with pause 5% ; Pp1t(5%) : plateau pressure with pause 5%.

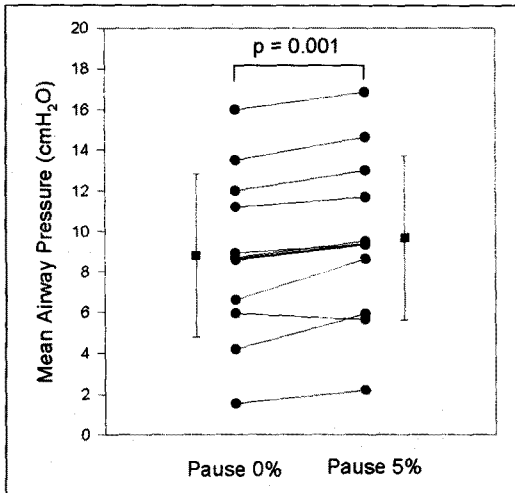


Fig. 4. Effect of pause 5% on mean airway pressure.

관계가 없었다($r=0.325, p=0.303$) (Fig. 7).

고 찰

호흡부전 환자를 기계환기로 치료함에 있어 그 동안 여러 가지의 환기 양식이 발달되었지만 아직까지 보편적으로 이용되는 양식은 constant flow를 사용하는 volume-controlled ventilation이다. Volume-controlled ventilation시 설정하는 여러 변수 중 inspiratory pause가 있다. Inspiratory pause는 흡기말에 일정시간 동안 기류의 흐름이 없도록 해주는 것으로, 공급된 상시호흡량이 폐에 일정시간 동안 머물게 해준

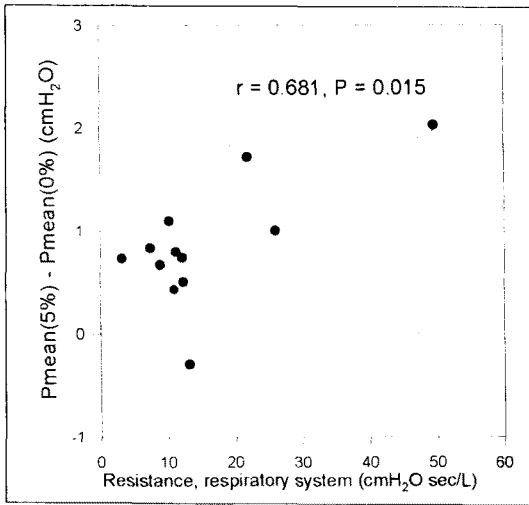


Fig. 6. Correlation between mean airway pressure change and resistance of respiratory system. Pmean(5%) : mean airway pressure with pause 5% ; Pmean(0%) : mean airway pressure without pause.

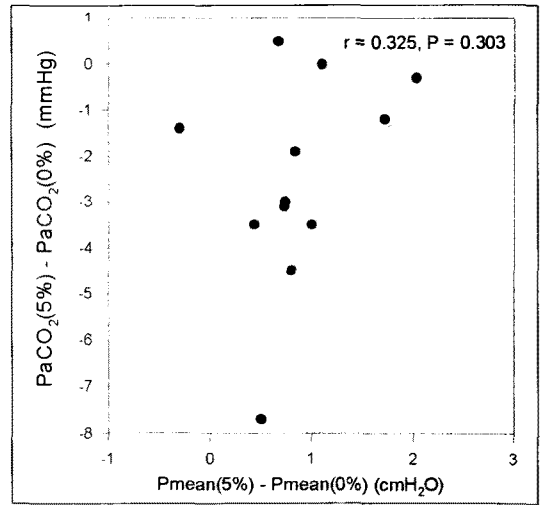


Fig. 7. Correlation between mean airway pressure change and PaCO₂ change.

다. 이러한 inspiratory pause에 대한 여러 연구가 있었으며, Knelson 등¹⁾은 개실험에서 inspiratory pause를 길게 설정할수록 동맥혈 산소분압이 증가하고 동맥혈 이산화탄소분압이 감소하여 폐포환기가 호전되는 것을 관찰하였고, Fuleihan 등²⁾은 기계호흡을 받고 있는 호흡부전 환자에게 inspiratory pause를 사용한 결과 P(A-a)O₂는 변화하지 않았으나 PaCO₂가 감소하고 사강(dead space)이 감소하여 폐포 환기가 증가하였다고 발표하였다. Boros³⁾는 기계호흡을 받는 신생아에게 inspiratory pause를 사용하여 PaO₂/FiO₂ ratio의 증가와 평균기도압의 증가를 관찰하였고, 평균기도압과 PaO₂/FiO₂가 정상관관계를 보여 평균기도압이 산소화(oxygenation)의 지표로 사용될 수 있다고 하였다. 또한 Tate 등⁴⁾도 호흡부전으로 기계호흡을 받고 있는 환자에게 0.5초의 inspiratory pause를 사용한 결과 동맥혈 산소분압의 증가와 동맥혈 이산화탄소 분압의 감소를 관찰하였다. 이러한 연구 결과들을 종합해 보면 constant flow를 이용하는 volume-controlled ventilation시 inspira-

tory pause를 사용하면 흡기시간을 연장시킴으로서 평균기도압을 증가시키고 폐포환기를 증가시킬 수 있으며, 평균기도압은 환기 효율(ventilation efficacy)을 반영한다고 할 수 있겠다. Knelson¹⁾은 inspiratory pause를 사용하였을 때 폐포환기가 증가하는 기전으로 첫째, 폐포가 흡입된 공기와 접촉하는 시간이 연장되어 폐포에서 탄산가스가 배출이 더 많이 되는 것과 둘째, 환기가 잘 되지 않는 폐포에 누가현상이 일어나서 환기-관류 균형이 호전되는 기전으로 설명하였다.

그러나 이러한 연구들은 inspiratory pause로 인해 흡기시간이 연장되어 흡기-호기 시간비(I : E ratio)가 증가하여 평균기도압이 증가하였기 때문이며, 흡기-호기 시간비를 일정하게 유지하면서 inspiratory pause를 사용했을 경우의 평균기도압과 가스교환에 대한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구는 호흡부전으로 인하여 기계호흡을 받고 있는 환자에게 constant flow를 이용하는 volume-controlled ventilation시 흡기-호기 시간비를 일정하게 유지하면서 inspiratory pause를 사용하지 않을 경우와 사용할 경우의 기도압과 가스교환을 비교하고, 호흡기계의 저항

에 따라 차이가 있는지를 보기 위해 시행하였다.

본 연구에서 사용한 인공호흡기는 Servo 900C로서 inspiration time와 pause time을 이용하여 흡기-호기 시간비를 일정하게 정해줄 수 있는 기종이었고, pause의 유무에 따라 일정한 I:E ratio를 줄 수 있는 경우는 1:3 (inspiration time 25% + pause time 0%, inspiration time 20% + pause time 5%) 과 1:1 (inspiration time 50% + pause time 0%, inspiration time 20% + pause time 30%)의 두가지 경우가 있으나 대상 환자에 호기시간을 충분히 확보해야 하는 만성폐쇄성폐질환 환자가 포함될 것을 고려하여 I:E ratio 1:3을 사용하기로 하였다.

본 연구의 결과로, 같은 흡기-호기시간비일지라도 inspiratory pause를 사용하였을 때 평균기도압이 증가하였고 동맥혈 탄산가스분압이 감소한 것으로 보아 환기가 호전되었다고 할 수 있다. 한편, 동맥혈 산소분압이 증가하는 경향을 보였으나 폐포-동맥혈 산소분압차(P(A-a)O₂)가 변하지 않았으므로 산소화(oxygenation) 자체가 호전된 것은 아니며, 환기가 호전되어 폐포내 이산화탄소분압이 감소하여 동맥혈 산소분압이 증가하는 경향을 보였던 것으로 사료된다. 또한 호흡기계의 저항이 클수록 inspiratory pause전의 흡기 동안 기도압의 증가가 클 것이지만, inspiratory pause가 있는 동안에는 plateau pressure로의 감소가 클 것이므로, 호흡기계의 저항에 따라 평균기도압의 변화도 차이가 있을 것으로 사료되어 그 상관관계를 알아보았다. 호흡기계의 저항이 클수록 pause가 없을 때의 최고흡기압에서 pause가 있을 때의 pause pressure로의 감소 정도가 더 컸지만, pause가 없을 때의 최고흡기압에서 pause가 있을 때의 최고흡기압으로의 증가가 커졌다. 결국은 pause가 있을 때의 최고흡기압 증가의 효과가 pause가 있을 때의 pause pressure로의 감소 효과보다 더 컸기 때문에, 호흡기계의 저항이 클수록 pause가 있을 경우 평균기도압의 증가가 더 커진 것으로 사료되었다.

Inspiratory pause를 사용하였을 때 평균기도압의 상승 정도와 동맥혈 탄산가스분압의 감소 정도의 상관

성을 알아 보았으나 특별한 상관관계를 발견하지 못하였다. 그 이유로는 평균기도압이 폐포압과 ventilation efficacy를 반영한다고는 하지만⁹⁻¹³ 각 환자의 동맥혈 탄산가스 분압이 분포가 컸었고, 동맥혈 탄산가스 분압과 폐포환기는 쌍곡선의 관계를 보이기 때문에¹⁴ 단순한 상관성 비교로는 상관관계를 발견하기는 어려웠던 것으로 사료되었다.

본 연구에서 inspiratory pause를 사용하였을 경우 최고흡기압이 증가함으로써 발생하는 압력손상(barotrauma)은 없었다. 그러나 pause를 사용한 것이 20분 정도로 단기간이었기 때문에 이에 대해 단언하기는 어렵고, 대상 환자 중 pause를 사용하였을 때 최고흡기압이 가장 높은 환자가 43 cmH₂O이었고 plateau pressure가 36cmH₂O이었으므로 압력손상의 위험성은 그리 높지 않을 것으로 생각되었다.

결론적으로, 흡기-호기 시간비(I:E ratio)를 변화시키지 않고 사용하는 pause는, 충분한 호기시간을 확보해야 하는 만성폐쇄성폐질환 등의 환자에게서¹⁵ 폐포환기를 호전시킬 수 있는 한 방법으로 사료되었다. 또한 본 연구에서는 시행하지는 않았지만 다른 I:E ratio 및 다른 pause time에서의 연구도 추후에 필요할 것으로 생각된다.

요 약

연구배경 :

Volume controlled ventilation(VCV)시 inspiratory pause의 사용은 흡기시간을 연장하여 평균기도압을 상승시키고 가스교환을 호전시키는 것으로 알려져 있다. 그러나 같은 흡기시간을 유지하더라도 inspiratory pause를 사용하였을 경우 평균기도압과 가스교환의 변화에 대하여는 잘 알려지지 않았다.

방 법 :

저자들은 VCV으로 기계호흡을 받는 12명의 환자를 대상으로 흡기산소농도, 상시호흡량, 호흡수 및 I:E ratio(1:3)는 변화시키지 않고 5%의 pause를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 기도압 및 가스교

환의 변화를 관찰하여 비교하였다.

결 과 :

동맥혈 이산화탄소분압은 pause를 사용한 경우 38.6 ± 7.4 mmHg로 사용하지 않은 경우의 41.0 ± 7.7 mmHg보다 유의하게 낮았다($p < 0.01$). 동맥혈 산소분압은 pause를 사용한 경우 94.4 ± 23.2 mmHg로 사용하지 않은 경우의 91.8 ± 19.7 mmHg보다 높은 경향이 있었으나($p = 0.054$), 폐포-동맥혈 산소분압차($P(A-a)O_2$)는 pause 유무에 따른 차이가 없었다(185.3 ± 86.5 mmHg vs. 184.9 ± 84.9 mmHg, $P = 0.766$).

평균기도압은 pause를 사용한 경우 9.7 ± 4.0 cmH₂O로 사용하지 않은 경우의 8.8 ± 4.0 cmH₂O보다 유의하게 높았다($p < 0.01$).

Pause를 사용했을 때의 pause pressure와 pause를 사용하지 않을 때의 최고흡기압의 차이는 호흡기계의 저항과 역상관관계를 보였으나 ($r = -0.777$, $p < 0.01$), pause가 없을 때의 최고흡기압에서 pause를 사용했을 때의 최고흡기압으로의 증가는 호흡기계의 저항과 정상관관계를 보여($r = 0.811$, $p < 0.01$), 평균기도압의 차이는 호흡기계의 저항과 유의한 정상관관계를 보였다($r = 0.681$, $p < 0.05$).

평균기도압의 변화는 PaCO₂의 변화와 상관관계를 보이지 않았다.

결 론 :

Volume control ventilation시 동일한 1 : 3의 I : E ratio하에서라도 5%의 inspiratory pause를 사용하는 것이 평균기도압을 더 높게 유지할 수 있으며 폐환기를 호전시킬 수 있는 것으로 사료되었다. 또한 호흡기계의 저항이 증가되어 있을수록 평균기도압의 상승이 많았으나 평균기도압의 상승 정도는 폐환기의 변화와 상관관계를 보이지 않았다.

참 고 문 헌

1. Knelson JH, Howatt WF, DeMuth GR. Effect of respiratory pattern on alveolar gas exchange. J

Appl Physiol 29 : 328-331, 1970

2. Fuleihan SF, Wilson RS, Pontoppidan H. Effect of mechanical ventilation with end-inspiratory pause on blood-gas exchange. Anesthesia and Analgesia. 55(1) : 122-130, 1976

3. Boros SJ. Variation in inspiratory : expiratory ratio and airway pressure wave form during mechanical ventilation : The significance of mean airway pressure. J Pediatr 94 : 114-117, 1979

4. Tate SJ, Ho CH. The use of the inspiratory pause 'hold' in increasing oxygenation in postsurgical patients. J Natl Med Assoc 85 : 598-600, 1993

5. Pillet S, Choukroun ML, Castairig Y. Effects of inspiratory flow rate alterations on gas exchange during mechanical ventilation in normal lungs. Efficiency of end-inspiratory pause. Chest 103 : 1161-1165, 1993

6. Hubmayr RD, Abel MD, Rehder K. Physiologic approach to mechanical ventilation. Crit Care Med 18 : 103-113, 1990

7. Chatburn RL : Chapter 2, Classification of mechanical ventilators, in Tobin MJ(Ed.) Principles and practices of mechanical ventilation, p37, New York, McGraw-Hill, 1994

8. Marcy TW, Marini JJ : Chapter 7, Controlled mechanical ventilation and assist/control ventilation, in Perel A and Stock MC(Ed.) Handbook of mechanical ventilatory support, p81, Baltimore, Williams & Wilkins, 1992

9. Fuhrman BP, Smith-Wright DL, Venkataraman S, Orr RA, Howland DF. Proximal mean airway pressure : a good estimator of mean alveolar pressure during continuous positive-pressure breathing. Crit Care Med 1989 Jul ; 17(7) : 666-670

10. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure : Physiologic determinants and clinical im-

- portance. Part 1 : Physiologic determinants and measurements. *Crit Care Med* 20(10) : 1461-1472, 1992
11. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure : Physiologic determinants and clinical importance. Part 2 : Clinical implications. *Crit Care Med* 20(11) : 1604-1616, 1992
 12. Ciszek TA, Modanlou HD, Owings D, Nelson P. Mean airway pressure—significance during mechanical ventilation in neonates. *J Pediatr* 1981 Jul ; 99(1) : 121-126
 13. Tobin MJ, Van De Graaff WB : Chapter 44, Monitoring of lung mechanics and work of breathing, in Tobin MJ(Ed.) *Principles and practices of mechanical ventilation*, p967, New York, McGraw-Hill, 1994
 14. Nunn JF : Chapter 10, Carbon dioxide, in Nunn JF(4th Ed.) *Nunn's applied respiratory physiology*, p219, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1993
 15. Hubmayr RD : Chapter 6, Setting the ventilator, in Tobin MJ(Ed.) *Principles and practices of mechanical ventilation*, p191, New York, McGraw-Hill, 1994