

□ 원 저 □

보조환기양식으로서 감속형유량의 압력-조절환기와 일정형유량의 용적-조절환기에서 환자의 호흡일의 차이

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 호흡기내과학교실

김호철, 박상준, 박정웅*, 서지영, 정만표, 김호중, 권오정, 이종헌

= Abstract =

Difference in Patient's Work of Breathing Between Pressure-Controlled Ventilation with Decelerating Flow and Volume-Controlled Ventilation with Constant Flow during Assisted Ventilation

Ho Cheol Kim, M.D., Sang Jun Park, M.D., Jung Woong Park, M.D.,* Gee Young Suh, M.D.,
Man Pyo Chung, M.D., Hojoong Kim, M.D., O Jung Kwon, M.D., Chong H. Rhee, M.D.

*Division of Pulmonology, Department of Medicine, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea*

Background : The patient's work of breathing(WOBp) during assisted ventilation may vary according to many factors including ventilatory demand of the patients and applied ventilatory setting by the physician. Pressure-controlled ventilation(PCV) which delivers gas with decelerating flow may better meet patients' demand to improve patient-ventilator synchrony compared with volume-controlled ventilation(VCV) with constant flow. This study was conducted to compare the difference in WOBp in two assisted modes of ventilation, PCV and VCV with constant flow.

Methods : Ten patients with respiratory failure were included in this study. Initially, the patients were placed on VCV with constant flow at low tidal volume($V_{T, LOW}$)(6-8 ml/kg) or high tidal volume($V_{T, HIGH}$)(10-12 ml/kg). After a 15 minute stabilization period, VCV with constant flow was switched to PCV and pressure was adjusted to maintain the same tidal volume(V_T) received on VCV. Other ventilator settings were kept constant. Before changing the ventilatory mode, WOBp, V_T , minute ventilation(V_E), respiratory rate(RR), peak airway pressure (Ppeak), peak inspiratory flow rate(PIFR) and pressure-time product(PTP) were measured.

Results : The mean V_E and RR were not different between PCV and VCV during the study period. The Ppeak was significantly lower in PCV than in VCV during $V_{T, HIGH}$ ventilation($p < 0.05$). PIFR was significantly

*현재 주소는 가천의대 중앙길병원 내과임.

higher in PCV than in VCV at both V_T ($p < 0.05$). During $V_{T, LOW}$ ventilation, WOBp and PTP in PCV (0.80 ± 0.37 J/min, 164.5 ± 74.4 cmH₂O.S) were significantly lower than in VCV (1.06 ± 0.39 J/min, 256.4 ± 107.5 cmH₂O.S) ($p < 0.05$). During $V_{T, HIGH}$ ventilation, WOBp and PTP in PCV (0.33 ± 0.14 J/min, 65.7 ± 26.3 cmH₂O.S) were also significantly lower than in VCV (0.40 ± 0.14 J/min, 83.4 ± 35.1 cmH₂O.S) ($p < 0.05$).

Conclusion : During assisted ventilation, PCV with decelerating flow was more effective in reducing WOBp than VCV with constant flow. But since individual variability was shown, further studies are needed to confirm these results. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 1999, 46 : 803-810)

Key words : Work of breathing, Volume-controlled ventilation, Pressure-controlled ventilation

서 론

호흡부전 환자에서 인공호흡은 일시적으로 조직의 산소화를 유지하고 환자의 호흡일(patient's work of breathing, WOBp)을 줄이기 위해 적용하게 된다. 인공호흡시에도 환자는 어느 정도의 호흡일을 하게 되며 환자의 호흡일은 환자의 환기요구량과 인공호흡기의 정해진 양식에 따라 달라질 수 있다¹⁻⁴⁾. 만약 환자의 환기요구량이 인공호흡기에 정해진 환기량과 맞지 않으면 WOBp는 증가하게 된다. 보조환기(assisted ventilation)양식 중에서 일정형유량(constant flow)의 용적-조절환기(volume-controlled ventilation, VCV)는 정해진 일회호흡량(tidal volume, V_T)을 호흡주기 동안 일정한 속도로 환자에게 주입하지만, 압력-조절환기(pressure-controlled ventilation, PCV)는 정해진 압력에 해당하는 V_T 을 호흡주기의 초기에 다량의 가스를 높은 속도로 주입하는 감속형유량(decelerating flow)의 형태를 가진다. 즉 PCV는 호흡주기의 초기에 높은 유량의 가스를 환자에게 주입하여 환기요구량이 많은 환자의 경우는 일정형유량의 VCV보다 환자의 호흡요구에 잘 적용하게 된다⁵⁻⁷⁾. 그러므로 두 보조환기양식 사이에 WOBp가 차이가 있을 것으로 추측할 수 있다. 이에 연구자들은 PCV와 일정형유량의 VCV이 WOBp에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

호흡부전으로 인공호흡기를 유지하는 환자를 대상으로 하였으며 환자는 모두 10명으로 평균연령은 61.7 ± 7.5 세였고, 남자는 8명 여자는 2명이었다. 호흡부전의 원인질환은 폐렴 5예, 급성호흡곤란증후군 2예, 만성폐쇄성폐질환 1명, 울혈성심부전 1예, 폐결핵 1예 등이었다(Table 1).

2. 방 법

인공호흡기는 Servo 900C(Siemens-Elema, Sweden)를 사용하였으며 환자에게 먼저 일정형유량의 VCV을 고일회호흡량($V_{T, HIGH}$)(10-12 ml/kg) 또는 저일회호흡량($V_{T, LOW}$)(6-8 ml/kg)으로 적용한 다음 동일한 V_T 이 유지되는 각각 압력의 정도로 PCV을 적용하였다. WOBp의 측정은 인공호흡기의 양식을 변화시키고 약 15분 후 환자가 안정된 상태가 되면, 인공호흡기 양식을 바꾸기전 1분 동안 측정하여 그 값의 평균을 구하였다. WOBp는 식도압(늑막내 압력의 간접적 측정)의 변화와 용적의 변화를 측정하여 계산하였고, 식도압의 변화는 식도의 중간 또는 하부 1/3에 위치한 풍선카테터를 통해 측정하였다. 풍선카

Table 1. Patient's characteristics

	Age/Sex	Diagnosis	Duration of Ventilation(day)	FiO ₂	PEEP	Outcome*
1	M/62	Pneumonia	30	0.5	6	D
2	F/52	Sepsis, ARDS	13	0.5	12	D
3	F/56	Pneumonia	60	0.5	4	S
4	M/66	Tuberculosis	45	0.4	8	S
5	M/62	Pneumonia	13	0.8	10	D
6	M/49	CHF, Pneumonia	46	0.5	8	S
7	M/66	Pneumonia	16	0.4	4	D
8	M/68	Pneumonia	14	0.55	4	S
9	M/74	COPD	122	0.4	4	S
10	M/66	ARDS	8	1.0	14	D

*S=survived, D=died

FiO₂ : fraction of inspired oxygen, PEEP : postive end expiratory pressure, ARDS : acute respiratory distress syndrome, CHF : congestive heart failure, COPD : chronic obstructive pulmonary disease

테터의 위치는 기도폐쇄점사(기도를 폐쇄한 후에 자발 호흡동안 기도압과 식도압의 변화가 거의 동일)를 통해 확인하였다⁹⁾. 최대흡기유속(peak inspiratory flow rate, PIFR) 및 V_T 등은 환자의 기관내튜브와 인공호흡기 사이의 Y 연결부위에 pneumotachograph를 연결하여 측정하였다⁹⁾. 모든 측정은 CP-100 pulmonary monitor(Bicore, Irvine, CA, USA)를 이용하였다¹⁰⁾. 각 양식에서 흡기기 시간, 유발역치 정도(trigger sensitivity)(-2 cmH₂O), 흡기 산소농도, 호기말양압 등은 일정하게 유지하였다. 또한 WOBp만 아니라 V_T, 분당환기량(minute ventilation, V_E), 분당호흡수, 최고기도압(peak airway pressure, Ppeak), PIFR, pressure-time product (PTP) 등을 측정하여 비교하였다.

3. 통계처리

결과는 평균값과 표준편차로 표시하였고 측정값의 비교는 통계프로그램 SPSS를 이용하여 Repeated Measure of one way ANOVA로 검증한 다음 유의한 차이가 있는 경우에 paired t-test를 이용하여 유

의한 차이의 유무를 검증하였다. p값이 0.05 미만인 경우에 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

1. V_T에 따른 환자의 호흡역학 지표의 차이

V_T, V_E, 분당호흡수는 V_{T, LOW} 또는 V_{T, HIGH}에서 VCV와 PCV 사이에 유의한 차이가 없었다. Ppeak는 V_{T, HIGH}에서 VCV에 비해 PCV에서 유의하게 낮았다(p<0.05). PIFR는 각각의 V_T에서 VCV에 PCV에서 유의하게 높았다(p<0.05)(Table 2).

2. V_{T, LOW}에서 WOBp와 PTP의 차이

V_{T, LOW}에서 WOBp는 VCV, PCV에서 각각 1.06 ± 0.39 J/min, 0.80 ± 0.37 J/min으로 PTP는 각각 256.4 ± 107.5 cmH₂O.S, 164.5 ± 74.4 cmH₂O.S으로 VCV에 비해 PCV에서 의미있게 감소하였다(p<0.05)(Fig. 1).

Table 2. Respiratory parameters during pressure-controlled ventilation(PCV) and volume-controlled ventilation(VCV)

Mode	$V_{T, HIGH}$		$V_{T, LOW}$	
	VCV	PCV	VCV	PCV
V_T (ml)	559 ± 150	559 ± 140	397 ± 70	392 ± 74
V_E (L/min)	10.8 ± 2.9	10.8 ± 2.6	9.6 ± 2.1	9.3 ± 1.8
RR (/min)	24.2 ± 2.3	24.4 ± 2.4	29.8 ± 4.3	29.6 ± 4.3
Ppeak(cmH ₂ O)	35.1 ± 9.4	$32.2 \pm 9.0^*$	24.1 ± 6.2	24.1 ± 6.3
PIFR (L/s)	0.87 ± 0.23	$1.28 \pm 0.26^*$	0.66 ± 0.11	$0.98 \pm 0.24^*$

Value are indicated as mean \pm SD.

* $p < 0.05$ compared with VCV

$V_{T, HIGH}$: high tidal volume, $V_{T, LOW}$: low tidal volume, V_T ; tidal volume, V_E ; minute ventilation, RR : respiratory rate, Ppeak : peak airway pressure, PIFR : peak inspiratory flow rate

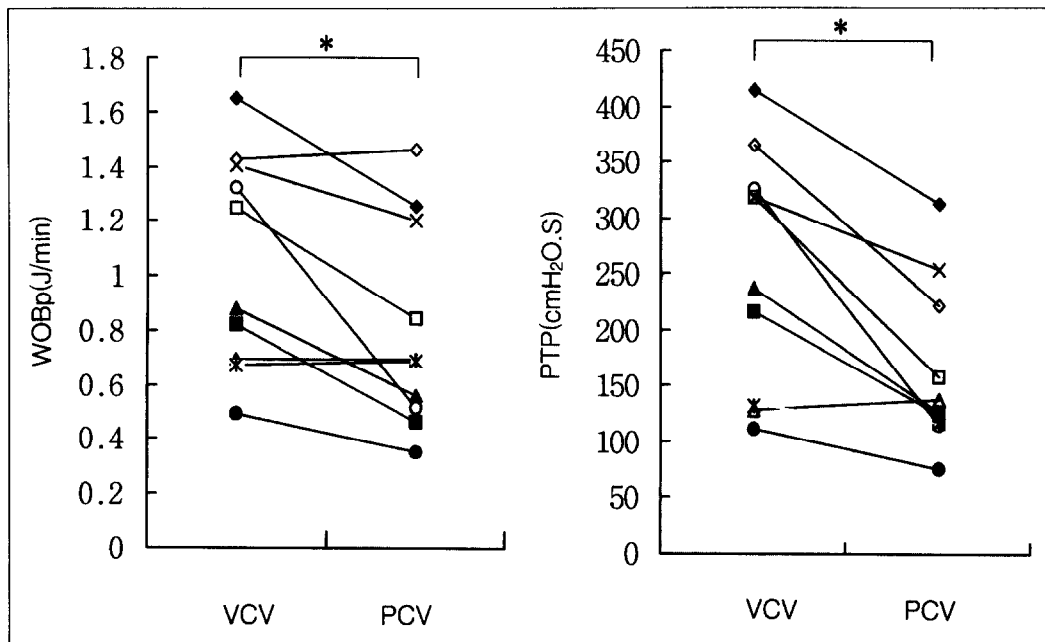


Fig. 1. Difference in patient's work of breathing(WOBp) and pressure-time product(PTP) between pressure-controlled ventilation(PCV) and volume-controlled ventilation(VCV) at low tidal volume. * $p < 0.05$ between VCV and PCV.

3. $V_{T, HIGH}$ 에서 WOBp와 PTP의 차이

$V_{T, HIGH}$ 을 적용한 7명의 환자에서는 VCV에 비해 PCV

에서 의미있게 WOBp와 PTP의 감소가 있었다.

WOBp는 VCV, PCV에서 각각 0.40 ± 0.14 J/min, 0.33 ± 0.14 J/min으로, PTP는 각각 $83.4 \pm$

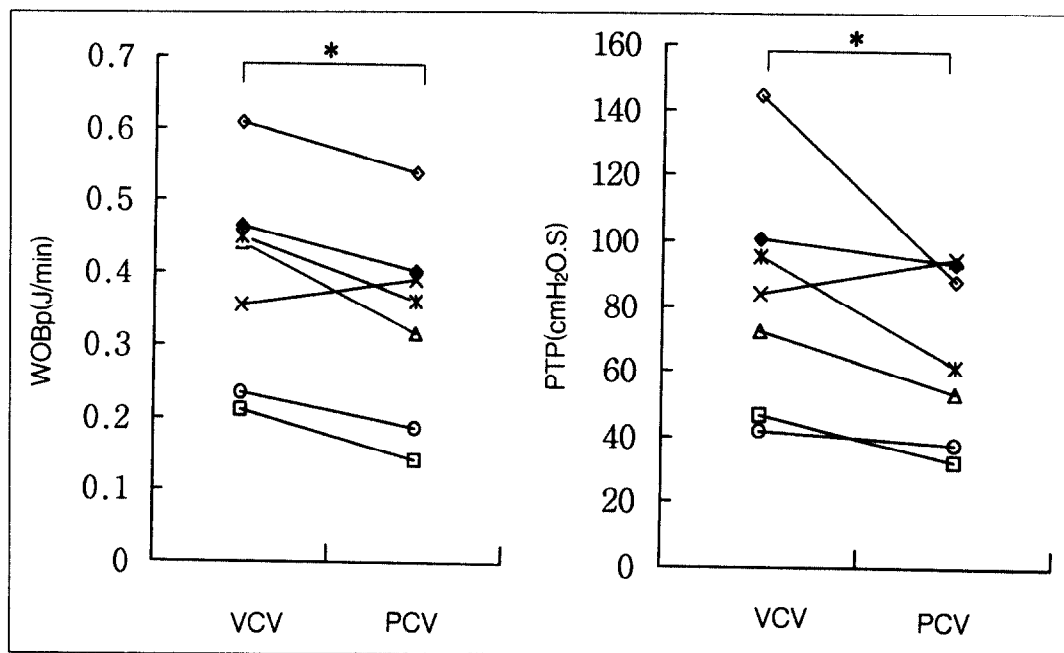


Fig. 2. Difference in patient's work of breathing(WOBp) and pressure-time product(PTP) between pressure-controlled ventilation(PCV) and volume-controlled ventilation(VCV) at high tidal volume. * $p < 0.05$ between VCV and PCV..

35.1 cmH₂O.S, 65.7 ± 26.3 cmH₂O.S으로 VCV에 비해 PCV에서 의미있게 감소하였다($p < 0.05$)(Fig. 2).

고 찰

본 연구는 감속형유량의 PCV가 일정형유량의 VCV에 비해 WOBp를 감소시키는 효과가 더 크다는 것을 보여주고 있다. 보조-조절환기에서 WOBp는 일반적으로 아주 미미할 것으로 생각한다. 이것은 인공호흡기에 의해서 호흡주기가 시작되는 조절환기에서는 의심할 여지가 없으나, 보조환기는 환자의 자발적인 호흡에 의한 압력이 인공호흡기에 전달됨으로서 호흡주기가 시작되므로 최소한 흡기 초기에 환자는 호흡일을 하게 되며 보조환기의 정해진 호흡주기가 환자의 자연적인 호흡주기와 맞지 않은 경우에는 WOBp는 증가하게 된다¹⁾.

보조환기에서 WOBp는 환자의 상태와 호흡기의 정해진 양식에 따라 달라질 수 있다. 환자의 상태와 관련된 요인은 호흡중추의 출력, 호흡근육의 힘, 폐 탄성, 호흡기 저항 등이며 인공호흡기와 관련된 요인으로는 V_E , 유발역치 정도, 유속 등이다^{1,2)}. 만약 유발역치 정도를 낮추거나 유속을 낮추는 경우에는 환자의 호흡과 인공호흡기의 반응시간 사이에 차이가 생기게 되며 환자가 흡기를 시작할 동시에 인공호흡기가 적절한 유속으로 가스를 주입하지 못하여 WOBp는 증가하게 된다. 환자의 흡기노력은 호흡주기의 초기에 가장 강하며 흡기가 진행될수록 점점 노력이 감소하게 되어 보조환기와 조절환기의 차이는 흡기주기의 중간 이전에 커지게 되므로 보조환기에서 환자는 호흡주기의 초기에 대부분의 호흡일을 하게 된다. 즉 호흡주기 초기에 적절한 유속의 가스를 주입하면 WOBp를 감소시킬 수 있다. 일정형유량의 VCV는 정해진 V_T 을 호흡주기 동안 일정한 속도로 환자에게 주입하지만,

PCV는 감속형유량으로 환자의 흡기 초기에 높은 유속의 가스를 환자에게 주입함으로써 흡기초기에 보조 환기와 조절환기 사이에 생기는 차이를 줄여 환자에게 부가되는 호흡일을 감소시킬 수 있다^{1, 2, 11)}.

본 연구에서는 인공호흡 양식에 따라 V_E , 유발역치, 호흡수 등을 일정하게 유지하면서 보조환기 양식을 달리하였을 때 WOBp에 차이가 있음을 관찰하였는데, 이는 보조환기에서의 WOBp이 초기의 유속과 상관관계가 있음을 시사한다²⁾. 일반적으로 V_T 을 높여주면 일정형유량의 VCV에서도 유속이 증가되어 보조환기양식에 따른 WOBp 차이가 감소할 수 있다는 보고도 있다⁴⁾. 그러나 본 연구에서는 $V_{T, HIGH}$ 을 적용하였을 때도 VCV와 PCV 사이에 유의한 WOBp의 차이가 있었다. 이런 차이는 대상 환자군의 차이에서 오는 결과일 가능성이 있다. Cinella 등⁴⁾의 연구는 환자 7명 중 4명이 만성 폐쇄성폐질환 환자이었던 것에 반해 본 연구의 환자는 $V_{T, HIGH}$ 를 적용했던 7명 중 1명만이 만성 폐쇄성폐질환 환자였다. 실제로 유사한 V_T 을 사용하였는데도 Cinella 등의 연구에서는 PCV와 VCV 사이에 PIFR에 유의한 차이가 없었던 것에 비해 본 연구에서는 유의한 차이가 있었다. 이런 이유로는 만성 폐질환환자에서는 기도저항이 증가되고 폐의 탄성도는 증가되어 있으므로 PCV에서도 기류의 유형이 사각형 모양의 일정형유량과 가깝게 될 수 있어 초반의 PIFR가 감소하여 PCV에서 보이는 감속형유량의 잇점을 살릴 수 없게 될 가능성이 많기 때문이다. 또한 대상환자가 적고 WOBp에 영향을 미칠 수 있는 인자들이 다양하기 때문에 두 연구에서 차이를 보였을 가능성을 배제할 수 없다.

본 연구의 결과는 보조환기양식에서도 환자가 상당량의 WOB를 한다는 것을 보여주고 있는데 이것은 중요한 임상적 의미를 지닌다. 즉 환기 능력이 제한된 환자의 경우 부적절한 보조환기의 장기간의 적용은 호흡근의 피로를 유발하게 되고 결과적으로 인공호흡기로부터의 이탈을 늦추게 되는 문제를 초래할 수 있다. 본 연구에서 일부 환자에서는 오히려 PCV에서 VCV보다 WOBp나 PTP가 증가된 경우가 있었고, 따라

서 일률적으로 모든 환자에서 PCV가 VCV에 비해 WOBp를 줄인다고는 본 연구의 결과로는 말할 수 없으며 인공호흡기 설정이 WOBp에 영향을 줄 수 있다는 것을 인지하고 그 환자에 가장 알맞은 설정을 찾는 노력을 하는 것이 중요할 것이라고 사료된다. 또한 본 연구는 일정유량형의 VCV를 사용하였기 때문에 다른 유량형(예를 들면 감속유량형)의 VCV에까지 적용될 수는 없다고 생각된다.

인공호흡기를 유지하는 총 WOBp은 폐와 흉곽의 탄성력을 극복하기 위한 일 및 기도와 폐조직의 유량에 대한 저항을 극복하기 위한 일로 구성된 생리적(physiologic) WOBp과 인공호흡기, 기관내관, 호흡기 회로에 생기는 저항을 극복하기 위한 부가적(imposed) WOBp으로 나눌 수 있다^{13, 14)}. 인공호흡시 WOBp를 두 가지의 구성성분으로 나누어서 측정하면 생리적 WOBp는 정상이나 부가적 WOBp에 의해 총 WOBp가 증가되어 있는 경우 인공호흡기로의 이탈할 수 있는 환자들을 찾아내어 조기에 환자들을 이탈시킬 수 있다는 보고가 있어, 환자의 이탈이나 발관을 결정하는 데에 있어서 생리적 WOBp가 더 유용할 수 있다는 보고들이 있다¹⁵⁾. 그러나 부가적 WOB를 측정하기 위해서는 기관분기말(carina end of trachea)에서 압력을 측정해야 하며¹⁵⁾ 또한 총 WOBp과 동시에 측정해야하는 문제점 때문에 본 연구에서는 총 WOBp만을 측정하였다. 또한 본 연구는 이탈이나 발관에 대한 연구가 아니고 동일한 환자에서의 단 기간 동안의 측정치를 비교하였으므로 부가적 WOBp가 결과에 큰 영향을 미쳤을 가능성은 작다. 인공호흡시 WOBp를 측정하는데 또 다른 문제점은 WOBp를 측정하는 동안 환자의 의식상태나 진정제의 사용여부 등에 따라 WOBp가 차이가 날 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 이런 오차를 줄이기 위해서 호흡기 양식을 변화시킨 다음 환자의 상태가 안정될때까지 기다린 후에 측정을 하였다.

인공호흡기 환자에서 흡기시 호흡일의 측정은 흉곽 내 압력의 변화에 따른 용적의 변화를 이용하여 측정함으로 호흡근의 등장성 수축(isometric contrac-

tion)시에 에너지 소모를 측정하지 못하는 제한점이 있으므로 이런 문제를 극복하기 위해서 PTP를 측정하게 된다¹⁷⁾. 본 연구에서는 호흡일과 함께 PTP도 PCV가 일정형유량의 VCV에 비해 감소함을 보여주고 있다.

결론적으로 본 연구에서는 보조환기 양식으로서 PCV는 일정형유량의 VCV에 비해 WOBp를 감소시킬 수 있었으나, 환자에 따라 차이가 있을 수 있어 향후 WOBp를 최적화할 수 있는 방법들에 대한 연구가 더 필요하리라 생각된다.

요 약

연구배경 :

호흡부전 환자에서 인공호흡은 조직의 산소화를 유지하고 환자의 호흡일을 경감시키기 위해 적용하며, 환자의 호흡일은 환자의 환기요구량과 인공호흡기의 정해진 양식에 따라 달라질 수 있다. 감속형유량의 압력-조절환기(PCV)는 일정형유량의 용적-조절환기(VCV)에 비해 호흡주기의 초기에 높은 유량의 가스를 환자에게 주입하여 환자의 호흡주기에 잘 적응하므로 두 보조환기양식에 환자의 호흡일이 차이가 있을 것으로 추측할 수 있다. 이에 연구자들은 두 가지의 보조환기양식에서 환자의 호흡일(WOBp)의 차이를 알아보기 위해 다음과 같은 연구를 시행하였다.

방 법 :

호흡부전으로 인공호흡기를 유지하고 있는 10명의 환자(평균연령 61.7 ± 7.5 세, 남:여=8:2)를 대상으로 하였다. 환자에게 먼저 일정형유량의 VCV를 고 일회호흡량($V_{T, HIGH}$)(10-12 ml/kg) 또는 저 일회호흡량($V_{T, LOW}$)(6-8 ml/kg)으로 적용하고 다음에 동일한 일회호흡량(V_T)이 유지되는 각각의 압력 정도로 PCV를 적용하였으며 인공호흡기의 다른 설정은 일정하게 유지하였다. WOBp는 인공호흡기의 양식을 변화시키고 약 15분 후 환자가 안정된 상태가 되면 인공호흡기 양식을 바꾸기전 1분간 측정하여 그 값의 평균을 구하였다. WOBp 외에 V_T , 분당환기량(V_E),

분당호흡수, 최고기도압(Ppeak), 최고흡기유속(PIFR), pressure-time product(PTP) 등을 측정하여 비교하였다.

결 과 :

$V_{T, LOW}$ 에서 WOBp는 VCV, PCV에서 각각 1.06 ± 0.39 J/min, 0.80 ± 0.37 J/min이었고, PTP는 각각 256.4 ± 107.5 cmH₂O.S, 164.5 ± 74.4 cmH₂O.S으로 VCV에 비해 PCV에서 의미있게 낮았다($p < 0.05$). PIFR은 각각의 V_T 에서 VCV에 비해 PCV기에서 유의하게 높았다($p < 0.05$).

$V_{T, HIGH}$ 에서 WOBp는 VCV, PCV에서 각각 0.40 ± 0.14 J/min, 0.33 ± 0.14 J/min이었고, PTP는 각각 83.4 ± 35.1 cmH₂O.S, 65.7 ± 26.3 cmH₂O.S으로 VCV에 비해 PCV에서 의미있게 낮았다($p < 0.05$).

결 론 :

본 연구에서는 보조환기 양식으로서 PCV는 일정형유량의 VCV에 비해 WOBp를 감소시킬 수 있었으나, 환자에 따라 차이가 있어 향후 WOBp를 최적화할 수 있는 방법들에 대한 연구가 더 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Marini JJ, Capps JS, Culver BH. The inspiratory work of breathing during assisted Mechanical ventilation. Chest 87 : 612, 1985
2. Marini JJ, Rodriguez RM, Lamb V. The inspiratory workload of patient-initiated mechanical ventilation. Am Rev Respir Dis 134 : 902, 1986
3. Sassoon CSH, Mahutte CK, Teresita TT, Simmons DH, Light RW. Work of breathing and airway occlusion pressure during assist-mode mechanical ventilation. Chest 93 : 571, 1988

4. Cinnella G, Conti G, Lofaso F, Lorino H, Harf A, Lemaire F, et al. Effects of assisted ventilation on work of breathing : volume-controlled versus pressure-controlled ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 153 : 1025, 1996
5. Davis K, Branson RD, Campbell RS, Porembaka DT. Comparison of volume control and pressure control ventilation : is flow waveform the difference?. *J of Trauma* 41 : 808, 1996
6. Markstrom AM, Lichtwarck-Aschoff M, Svensson BA, Nordgren KA, Sjostrand UH. Ventilation with constant versus decelerating inspiratory flow in experimental induced acute respiratory failure. *Anesthesiology* 84 : 882, 1996
7. Tokioka H, Saito S, Kosaka F. Comparison of pressure support ventilation and assisted control ventilation in patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 15 : 364, 1989
8. Baydur A, Panagiotis K, Behrakis K, A. zin W, Jaeger M, Milic-ernili J. A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique. *Am Rev Respir Dis* 128 : 788, 1982
9. Banner MJ, Kirby RR, Gabrielli A, Blanch PB, Layon J. Partially and totally unloading respiratory muscle based on real-time measurement of work of breathing. a clinical approach. *Chest* 106 : 1835, 1994
10. Petros AJ, Lamond CT, Bennet D. The Bicore pulmonary monitor. *Anesthesia* 48 : 985, 1993
11. Kreit Jw, Capper Mw, Eschenbacher WL. Patient work of breathing during pressure support volume-cycled mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 149 : 1085, 1994
12. Bonmarchand G, Chevron V, Chopin C, Jussierand D, Girault C, Moritz F, et al. Increase initial flow rate reduces inspiratory work of breathing during pressure support ventilation in patients with exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Inten Care Med* 22 : 1147, 1996
13. Banner MJ, Jaeger MJ, Kirby RR. Component of the work of breathing and implications for monitoring ventilator-dependent patients. *Crit Care Med* 22 : 515, 1994
14. Banner MJ, Kirby RR, Blanch PB. Differentiating total work of breathing into its component parts. *Chest* 109 : 1141, 1996
15. Kirton OC, DeHaven B, Morgan JPJ, Windsor J, Civetta JM. Elevated imposed work of breathing masquerading as ventilator weaning intolerance. *Chest* 108 : 1021, 1995
16. Banner MJ, Kirby RR, Usafr C, Blanch PB. Site of pressure measurement during spontaneous breathing with continuous positive airway pressure : Effect on calculating imposed work of breathing. *Crit Care Med* 20 : 528, 1992
17. Sassoon CSH, Light RW, Lodia R, Sieck GC, Mahutte CK. Pressure-time product during continuous positive airway pressure, pressure support ventilation, and T-piece during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 143 : 469, 1991