

□ 원 저 □

기계환기시 압력유발법과 유량유발법 차이에 의한 부가적 호흡일의 비교

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 내과학교실

최정은*, 임채만, 고윤석, 이상도, 김우성, 김동순, 김원동

= Abstract =

Comparison of Imposed Work of Breathing Between Pressure-Triggered and Flow-Triggered Ventilation During Mechanical Ventilation

Jeong Eun Choi, M.D., Chae Man Lim, M.D., Younsuck Koh, M.D., Sang Do Lee, M.D.,
Woo Sung Kim, M.D., Dong Soon Kim, M.D., Won Dong Kim, M.D.

Department of Internal Medicine, Asan Medical Center, Collage of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea

Background : The level of imposed work of breathing (WOB) is important for patient-ventilator synchrony and during weaning from mechanical ventilation. Triggering methods and the sensitivity of demand system are important determining factors of the imposed WOB. Flow triggering method is available on several modern ventilator and is believed to impose less work to a patient-triggered breath than pressure triggering method. We intended to compare the level of imposed WOB on two different methods of triggering and also at different levels of sensitivities on each triggering method (0.7 L/min vs 2.0 L/min on flow triggering ; -1 cmH₂O vs -2 cmH₂O on pressure triggering).

Methods : The subjects were 12 patients (64.8 ± 4.2 yrs) on mechanical ventilation and were stable in respiratory pattern on CPAP 3 cmH₂O. Four different triggering sensitivities were applied at random order. For determination of imposed WOB, tracheal end pressure was measured through the monitoring lumen of Hi-Lo Jet tracheal tube (Mallinckrodt, New York, USA) using pneumotachograph/pressure transducer (CP-100 pulmonary monitor, Bicore, Irvine, CA, USA). Other data of respiratory mechanics were also obtained by CP-100 pulmonary monitor.

Results : The imposed WOB was decreased by 37.5% during 0.7 L/min on flow triggering compared to -2 cmH₂O on pressure triggering and also decreased by 14% during -1 cmH₂O compared to -2 cmH₂O on pressure triggering ($p < 0.05$ in each). The PTP(Pressure Time Product) was also decreased significantly during 0.7 L/min on flow triggering and -1 cmH₂O on pressure triggering compared to -2 cmH₂O on pressure triggering

*최정은 : 현재 한림의대 호흡기내과에 근무

($p < 0.05$ in each). The proportions of imposed WOB in total WOB were ranged from 37% to 85% and no significant changes among different methods and sensitivities. The physiologic WOB showed no significant changes among different triggering methods and sensitivities.

Conclusion : To reduce the imposed WOB, flow triggering with sensitivity of 0.7 L/min would be better method than pressure triggering with sensitivity of -2 cm H_2O .

Key words : Flow triggering, Triggering sensitivity, Imposed work of breathing, weaning

서 론

총호흡일(Work of breathing, WOB_{tot})은 크게 저항일(resistive work)과 탄성일(elastic work)로 구성되며 기계환기 중인 환자에서는 탄성일과 기도저항을 극복하고자 하는 유량저항일(flow resistive work) 외에도 기관내관, 인공호흡기 튜브 및 유량 수용성체계(flow demand system) 등에 의하여 부가적 호흡일(imposed work of breathing, WOB_{imp})이 발생한다.¹⁻³⁾ 부가적 호흡일은 기계호흡 치료로부터의 이탈 성공에 영향을 미치는 중요한 인자로 작용할 수 있으며 부가적 호흡일을 결정하는 요소들 중 유량수용성체계의 유발방법과 민감도는 매우 중요하다.⁴ ~⁶⁾ 최근 개발되는 인공호흡기에는 유량유발(flow triggering)법이 채택되고 있는데 이 방법은 인공호흡기 회로내에 유지되는 편재유량 (bias flow)이 환자의 흡기노력에 의해 일정 양만큼 감소되게되면 인공호흡기의 흡기가 구동되는 방법⁷⁾으로서 기존의 압력유발(pressure triggering)법에 비하여 호흡일이 적게 발생하는 것으로 알려져 있다.⁷⁻¹⁰⁾ 그러나 인공호흡기의 기종에 따라서는 유발방법의 차이에 따른 호흡일의 차이가 없다는 보고¹¹⁾가 있으며 또한 현재까지 보고된 연구들은 주로 동물 또는 폐모형을 이용한 호흡일의 비교 연구가 대부분으로 기계호흡이 시행되고 있는 호흡부전 환자들을 대상으로 한 연구는 많지 않다. 더하여 현재까지의 유발방법의 차이에 따른 호흡일에 미치는 효과를 보기 위한 연구들은 대개 총 호흡일만을 비교⁷⁻¹¹⁾하였으며 부가적 호흡일을 따로 측정하

여 비교한 연구는 없었다. 이에 본 연구에서는 동일기종에서 압력유발법과 유량유발법에 따른 부가적 호흡일의 차이를 검토하고 총 호흡일에서 부가적 호흡일이 차지하는 비율을 조사하고자 하였다. 또한 각 유발방법에서 민감도를 달리할 때(유량유발; 0.7 L/min 및 2.0 L/min, 압력유발; -1 cm H_2O 및 -2 cm H_2O) 개의 민감도가 부가적 호흡일에 미치는 영향도 조사하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

호흡부전으로 기계호흡 치료 중이며 임상적으로 안정된 12명의 환자로 평균연령은 $64.8(\pm 4.2)$ 세, 남녀비는 3:1이었으며 평균 기계호흡시간(범위)은 10.3 ± 1.7 일 (1~23일)이었고 호흡부전의 원인 질환으로는 폐렴 6예, 만성폐쇄성폐질환 2예, 폐부종 2예, 약물 중독 1예, 저혈당성 혼수 1예이었다.

2. 방법

사용한 인공호흡기는 Servo 300(SV 300, Siemens-Elema, Sweden)이었다. 동일환자에게 지속적 양압 기도압력(Continuous Positive Airway Pressure, CPAP) 3 cm H_2O 상태 하에서 유량유발 2단계 (0.7 및 2 L/min)와 압력유발 2단계 (-1 및 -2 cm H_2O)를 무작위 순으로 적용하였다. 각 단계에서 5분간

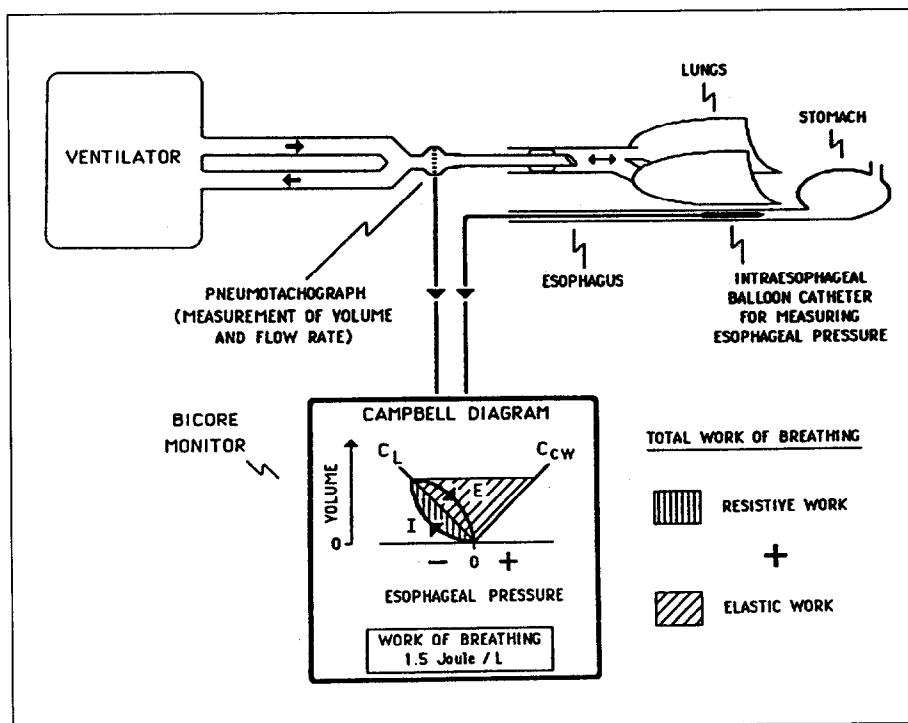


Fig. 1. Method of measuring total work of breathing using CP-100 pulmonary monitor. (From Banner MJ, Gabrielli A, Layon AJ : Partially and totally unloading respiratory muscles based on real time measurements of work of breathing. A clinical approach. Chest 1994 ; 106 : 1835)

환자를 안정시킨 후에 마지막 1분간의 부가적 호흡일과 총 호흡일을 유량계측기/압력전달기(Pneumotachograph/pressure transducer)인 CP-100 pulmonary monitor (Bicore, Irvine, CA, USA)를 이용해서 측정하였다. Servo 300에서 유량유발 단계 0.7 L/min이란 편재유량 2 L/min 존재 하에서 환자의 흡기노력으로 인공호흡기의 흡기튜브와 호기튜브에서 측정한 편재유량의 차이가 0.7 L/min 이상 감소하면 흡기가 시작되는 유발단계이며, 유량유발 단계 2 L/min은 그 유량차이가 2 L/min 이상 감소시 흡기가 시작되는 유발단계를 의미한다. 압력유발 -1 및 -2 cmH₂O란 환자가 흡기를 시작하여 편재유량이 0 L/min이 되면 호기밸브가 닫히고 인공호흡기 회로내의 압력이 -1 및 -2 cmH₂O로 감소되면 흡기밸브가

열리면서 흡기가 시작되는 방법이다. 총 호흡일의 측정^{1,12)}은 인공호흡기와 환자의 기관내 관의 Y 연결부에 카테타를 연결하여 CP-100 pulmonary monitor로서 유량을 측정하고 식도 하부 1/3 부위에 삽입한 풍선카테터를 역시 CP-100 pulmonary monitor에 연결하여 흉막내압을 간접 측정하여 구하였다(Fig. 1). 부가적 호흡일은 식도하부 1/3 부위의 압력변화 대신 기관 하부의 압력변화를 측정하여 구하였는데¹²⁾ 이는 기관하부의 압력측정이 가능한 Hi-Lo Jet tube (Mallincrodt, New York, USA)를 CP-100 pulmonary monitor에 연결 함으로써 가능하였다(Fig. 2). 생리적호흡일은 각 환자의 총 호흡일과 부가적 호흡일의 차이로서 구하였다. 호흡일의 측정과 동시에 호흡근의 산소 소비량과 밀접한 관련을 갖는 PTP

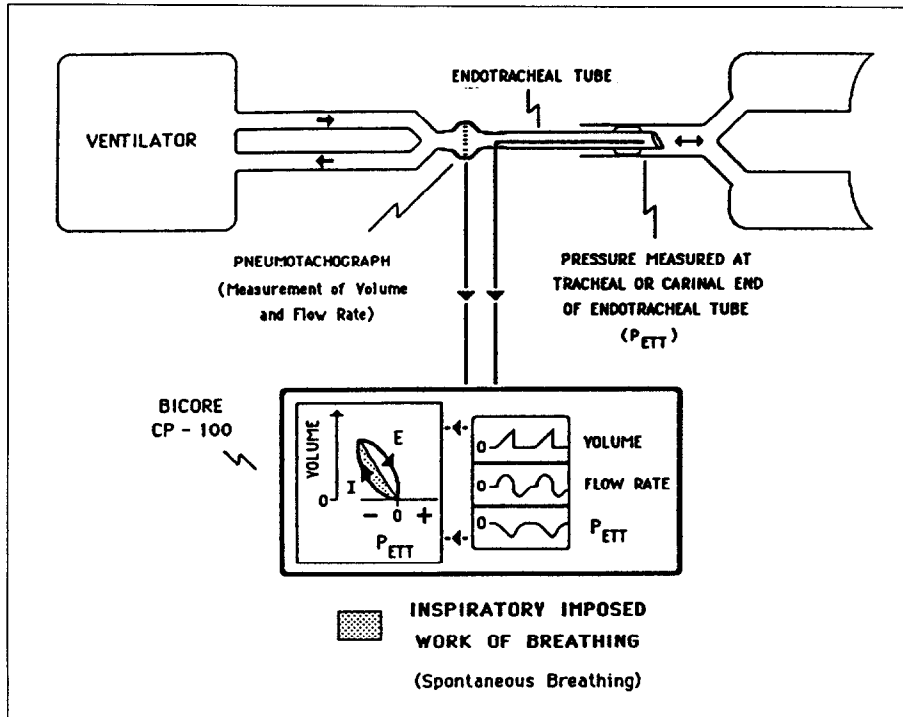


Fig. 2. Method of measuring the imposed work of breathing. (From Banner MJ, Kirby RR, Blanch PB, Layon AJ ; Decreasing imposed work of breathing apparatus to zero using pressure-support ventilation. Crit Care Med 1993 ; 21 : 1333-38)

(Pressure Time Product)와 분당 호흡수, 평균기도 저항, 최고 흡기유량, 폐유순도 및 환자의 호흡동인을 관찰하기 위해 $P_{0.1}$ 등을 역시 CP-100 pulmonary monitor를 이용하여 측정하였다.

3. 통계처리

측정값의 비교는 통계프로그램 Sigma Stat(Jandel 사, Version 1.00)을 이용하여 Repeated Measure of one way ANOVA법으로 우선 검증한 후 통계적으로 유의한 차이가 있는 경우에 paired t-test로서 각 단계별 유의한 차이의 유무를 검증하였다. P값이 0.05 미만인 경우를 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

1. 부가적 호흡일(WOBimp)

유량유발 0.7 L/min 및 2 L/min와 압력유발 -1 cmH₂O 및 -2 cmH₂O에서의 평균 부가적 호흡일은 각각 0.32 ± 0.20 , 0.38 ± 0.22 , 0.39 ± 0.26 , 0.48 ± 0.26 J/L으로 유량유발 0.7 L/min에서 평균 부가적 호흡일은 압력유발 -2 cmH₂O에서의 평균 부가적 호흡일에 비해 37.5%감소를 보였고 압력유발 -1 cmH₂O에서의 평균 부가적 호흡일도 -2 cmH₂O에서의 값에 비해 14%의 감소를 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 그러나 유량유발 0.7 L/min과 2 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O 사이에서의

Table 1. Imposed WOB and PTP at different triggering methods and sensitivities

Triggering methods and sensitivities		Imposed WOB(J/L)	PTP cm H ₂ O/s/min
Flow triggering	0.7 L/min	0.32 ± 0.20	66.64 ± 34.27
	2 L/min	0.38 ± 0.22	74.55 ± 33.64
Pressure triggering	-1 cmH ₂ O	0.39 ± 0.26	83.40 ± 50.30
	-2 cmH ₂ O	0.48 ± 0.26	96.64 ± 52.53

The values are mean ± S.D.

*P < 0.05 by paired test

Table 2. The proportion of imposed WOB in total WOB

Triggering methods and sensitivities		Imposed WOB/total WOB
FT*	0.7 L/min	0.61 ± 0.15
	2 L/min	0.65 ± 0.20
PT**	-1 cmH ₂ O	0.65 ± 0.13
	-2 cmH ₂ O	0.61 ± 0.24

The values are mean ± S.D.

*P < 0.05 by repeated measures of ANOVA

FT* ; flow triggering PT** ; pressure triggering

부가적 호흡일은 차이가 없었다(Table 1).

2. 부가적 호흡일 측정시의 Pressure-Time Product (PTP)

유량유발 0.7 L/min 및 2 L/min와 압력유발 -1 cmH₂O 및 -2 cmH₂O에서의 분당 PTP는 각각 66.64 ± 34.27, 74.55 ± 33.64, 83.4 ± 50.30, 96.64 ± 52.53 cmH₂O로서 유량유발 0.7 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O에서 압력유발 -2 cmH₂O에서의 PTP에 비해 통계적으로 유의한 감소를 보여 부가적 호흡일의 결과와 일치하였다. 또한 유량유발 0.7 L/min과 2 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O 사이에서의 평균 PTP는 차이가 없어 이 역시 부가적 호흡일의 비교에서와 같은 결과를 보여 주었다(Table 1).

3. 총 호흡일에 대한 부가적 호흡일의 비율

총 호흡일에 대한 부가적 호흡일의 비율은 유량유발 0.7 L/min 및 2 L/min와 압력유발 -1 cmH₂O 및 -2 cmH₂O에서 각각 0.61 ± 0.15, 0.65 ± 0.20, 0.65 ± 0.13, 0.61 ± 0.24로서 각 유발단계에서 의미있는 차이를 보이지 않았고(Table 2) 환자에 따라 37%에서 85% 까지로 다양하였다.

4. 생리적 호흡일(WOBphy)

유량유발 0.7 L/min 및 2 L/min와 압력유발 -1 cmH₂O 및 -2 cmH₂O에서의 평균 생리적 호흡일은 각각 0.20 ± 0.19, 0.24 ± 0.28, 0.24 ± 0.32, 0.29 ± 0.29 J/L로서 유의한 차이가 없었다.

Table 3. Respiratory indices at different triggering methods and sensitivities

		R.R(beat/min)	V _T (L)	Raw(cmH ₂ O/L/sec)	P _{0.1} (cmH ₂ O)
FT*	0.7 L/min	25.6 ± 8.3	0.41 ± 0.10	4.13 ± 2.13	2.64 ± 1.36
	2 L/min	25.5 ± 8.1	0.41 ± 0.11	3.96 ± 1.88	2.81 ± 1.72
PT**	-1 cmH ₂ O	23.4 ± 6.2	0.41 ± 0.11	4.11 ± 1.98	2.70 ± 1.49
	-2 cmH ₂ O	25.3 ± 7.3	0.41 ± 0.11	4.35 ± 1.99	3.36 ± 2.01

The values are mean ± S.D.

Statistics : p > 0.05 for all indexes by repeated measures of ANOVA

FT* ; flow triggering PT** ; pressure triggering

5. 분당 호흡수, 평균 기도 저항, 최고 흡기유량, 폐유순도 및 P_{0.1}

각 유발 단계에서 측정된 분당 호흡수, 평균 기도 저항, 최고 흡기유량, 폐유순도 및 P_{0.1} 등은 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

고 찰

기계호흡을 하는 환자에게 부여되는 총 호흡일(total work of breathing, WOB_{tot})은 기존의 폐질환과 관계되어 발생하는 생리적 호흡일과 기관내 관의 저항, 인공호흡기 회로 및 유량수용성체계(flow demand system) 등에 의하여 발생하는 부가적 호흡일로 구성된다.^{1~3)} 이중 부가적 호흡일은 기저 폐질환으로부터 회복단계에 있는 환자에 있어 과도하게 부과되면 호흡근의 피로를 유발시키며 이는 기계호흡으로부터의 이탈을 지연시키는 중요한 원인이 될 수 있다. 이러한 부가적 호흡일을 경감시키고자 큰 직경의 기관내 관의 사용, 민감한 인공호흡기 수용성판(demand valve)의 장착, 압력보조환기법(pressure support ventilation) 적용^{1,13)} 등의 다양한 노력이 시도되고 있다. 유량유발법도 이러한 목적으로 개발되었다.

본 연구는 부가적 호흡일 측면에서 인공호흡기의 흡기구동양식과 그 민감도의 차이에 따른 차이를 비교하고자 하였다. 이는 부가적 호흡일에 미치는 유량유발법에 대한 지금까지의 연구들이 유발법의 차이에 따른

호흡일에 미치는 효과를 총 호흡일만을 측정 비교함으로써 부가적 호흡일의 변화외에도 생리적 호흡일의 변화에 따른 총 호흡일의 변화의 가능성이 배제되지 않았기 때문이었다^{7~11)}. 유발양식의 차이나 민감도에 의해 유발되는 유발호흡일(triggering WOB)만을 측정할 수 있다면 더욱 특이적인 방법이겠으나 유발호흡일만을 측정하는 것은 기술적 어려움이 있어 유발호흡일과 기도내 관 및 인공호흡기 회로에 의해 발생하는 호흡일의 합인 부가적 호흡일을 측정하여 비교하였다. 이는 동일환자에서 5분간의 짧은 시간동안에 유발방법만을 변경하여 부가적호흡일을 측정하면 각 방법의 차이에 따른 부가적 호흡일의 변동은 유발호흡일의 변동에 기인할 것이기 때문이었다. 부가적 호흡일의 측정 방법은 Banner가 제시한 방법^{1,12)}을 따랐다. 본 연구에서는 호흡일 측정시 흉곽 탄성도를 따로 측정하지 않고 정상인의 흉곽 탄성도 값인 200 ml/cmH₂O의 고정값을 사용하였는데 이는 대상환자들이 심각한 흉곽 질환을 갖고 있지 않았고 연구 방법상 같은 환자에서 각 유발 방법에 따른 호흡일의 차이를 비교하므로 연구 결과에는 영향을 미치지 않기 때문이었다. 다만 환자들의 측정된 호흡일의 평균값이 호흡일의 실제 값과 약간의 오차가 발생할 수 있을 것으로 추정된다.

본연구에서 Servo 300의 유량유발법 중 가장 민감한 단계인 0.7 L/min 에서의 부가적 호흡일은 흔히 임상에서 사용되는 -2 cmH₂O에서의 값보다 낮았고 유량유발 2 L/min와 압력유발 -1 cmH₂O에서의 부가적 호흡일과는 차이가 없었다. 이러한 결과는 호흡

근의 산소 소비량을 반영하여 호흡일의 정확한 지표로 알려진 Pressure Time Product¹⁴⁻¹⁵⁾의 측정 결과와도 일치된 소견이었으며 또한 Carmack등의 동물실험 결과⁹⁾나 Sasoon 등이 폐모형에서 보여준 결과¹¹⁾와 부분적으로 일치한다. Sasoon 등은 폐모형을 이용하여 Servo 300의 유량유발 2 L/min와 압력 유발 -1 cmH₂O에서의 총 호흡일을 측정하여 두 방법 사이에 유의한 차이가 없었다고 하였다. 이러한 결과는 인공호흡기 기종에 따라서 차이를 보일 수 있는데 이미 보고된 연구중에서 Puritan Bennett(PB) 7200ae를 이용한 실험에서는 유량유발법하에서의 총 호흡일이 압력유발법하에서의 총 호흡일에 비해 유의하게 낮다는 일치된 결과를 보였는데⁵⁻⁸⁾ Servo 300을 이용한 연구 결과와 다른 이유에 대해서 Sasoon등은 Servo 300의 압력유발방법이 PB 7200ae보다 digital polling time이 짧아 흡기밸브가 열리는데 필요한 반응시간이 짧고, 편재유량이 있음으로써 흡기초기에 흡기압의 보조가 유지되기 때문에 유량유발법에서의 호흡일과 큰차이를 보이지 않는다고 해석하였다¹¹⁾. 즉 PB 7200ae의 압력 유발방법에서는 흡기유발 직후 상대적으로 적은 유량 공급으로 인해 호흡일이 증가되는데 반하여 Servo 300의 압력유발방법에서는 상대적으로 많은 양의 유량이 공급되어 호흡일의 증가가 상대적으로 적었기 때문이다. 그러나 Servo 300에 그러한 장점이 있다하더라도 본 연구에서 나타났듯이 민감도가 높은 유량유발단계와 임상에서 흔히 적용하는 -2 cmH₂O 압력유발 사이에는 부가적 호흡일의 의미있는 차이가 있다. 0.7 L/min 정도의 예민한 유량유발은 환자의 호흡의지와 상관없이 기계에 의해 호흡이 구동되는 auto-cycling의 염려 때문에 흔히 적용되지는 않으나 압력보조와 같은 자가호흡이 가능한 기계호흡보조를 받는 환자들에 있어 높은 부가적 호흡일을 보이는 경우 이를 감소시키기 위해 적용해 볼수 있다.

인공호흡기에서 채택되는 유량유발법은 기계에 따라 다소 차이가 있다. 대표적인 차이로 PB 7200ae와 Servo 300의 유량유발방법 차이를 들 수 있는데 Servo 300 경우는 편재유량을 2 L/min으로 고정하

여 사용하며 민감도는 0.7-2 L/min로 설정하고 있는데 비하여 PB 7200ae의 경우 편재유량을 치료자가 5-20 L/min에서 결정할 수 있고 유량민감도는 1 L/min에서부터 편재유량의 1/2까지 설정하도록 되어있다. 편재유량의 정도는 정상인에게 있어서는 호흡일과 큰 관계가 없으나⁸⁾ 급성호흡부전 등으로부터 회복단계에 있는 환자에게 있어서는 호흡일을 증가시킬 수 있다고 보고되어¹⁶⁾ PB 7200ae를 사용할 때는 편재유량의 설정을 환자 상태에 따라 조절하는 것이 바람직하나 두가지 방법의 임상적 차이는 알려져 있지 않았다.

이탈이 어려운 환자나 인공호흡기와 조화를 잘 이루지 못하는 환자들에게 부가적 호흡일은 중요한 이탈 지연 및 인공호흡기와의 부조화 요인으로 작용할 수 있다. 본 연구의 결과로서 부가적 호흡일을 극복하기 어려운 환자의 이탈시는 환기유발을 압력유발법에서 유량유발법으로 변경하거나 압력유발법에서도 유발 민감도를 높이는 것이 부가적 호흡일의 감소에 도움이 될 것으로 사료된다.

요 약

연구배경 :

부가적 호흡일(imposed work of breathing)은 기계환기치료로부터의 이탈 성공에 영향을 미치는 중요한 인자가 되며 환기유발의 방식과 그 민감도는 부가적 호흡일을 결정하는 요소 중의 하나이다. 최근 몇가지 인공호흡기에서 유량유발법을 채택하고 있으며 이 방법은 부가적 호흡일이 기존의 압력유발법에 비하여 적은 것으로 알려져 있으나 환자를 대상으로 부가적 호흡일을 측정 비교한 연구는 없었다. 이에 본 연구는 압력유발법과 유량유발법에서의 부가적 호흡일 그리고 총 호흡일에 대한 부가적 호흡일의 비율을 조사하고자 본 연구를 시행하였다. 또한 각 유발방법에서 민감도를 달리하여(유량유발 ; 0.7 L/min 대비 2.0 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O 대비 -2 cmH₂O) 부가적 호흡일에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

방 법 :

기저질환이 안정되고 CPAP 3 cmH₂O 상태에서 호흡이 안정된 환자 12명(평균연령 64.8±4.2세)을 대상으로 하여 CP-100 pulmonary monitor를 이용하여 총 호흡일과 부가적 호흡일, Pressure Time product 및 호흡역학지수들을 측정하였다. 부가적 호흡일을 측정하기 위해 Hi-Lo Jet tracheal tube를 이용하여 기도하부 압력을 조사하였다. 각 유발방법은 무작위로 적용하였다.

결 과 :

부가적 호흡일은 유량유발 0.7 L/min에서 압력유발 -2 cmH₂O에 비해 37.5% 감소를 보였고 압력유발 -1 cmH₂O에서의 평균 부가적 호흡일도 -2 cmH₂O에서의 평균값에 비해 14%의 감소를 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나 유량유발 0.7 L/min과 2 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O에서의 부가적 호흡일은 차이가 없었다. Pressure Time Product (PTP)도 유량유발 0.7 L/min 및 압력유발 -1 cmH₂O에서 압력유발 -2 cmH₂O에 비해 유의한 감소를 보여 부가적 호흡일의 결과와 일치하였다. 총 호흡일에 부가적 호흡일의 비율 및 생리적 호흡일 그리고 분당 호흡수, 평균기도저항, 최고 흡기유량, 폐유순도 및 P_{0.1} 등은 각 유발단계에서 의미있는 차이를 보이지 않았다.

결 론 :

기계호흡을 하는 환자에서 총 호흡일에 대한 부가적 호흡일의 비율은 환자마다 다양하였고 민감도가 높은 유량유발법은 일반적인 압력유발법에 비해 부가적 호흡일을 줄이는데 효과적이며 같은 압력 유발법에서도 유발 민감도를 높이는 것이 부가적 호흡일의 감소에 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Banner MJ, Kirby RR, Blanch PB : Decreasing imposed work of the breathing apparatus to zero using pressure support ventilation. Crit Care Med 21 : 1333, 1993
2. Bersten AD, Rutten AJ, Vedig AE : Additional work of the breathing imposed by endotracheal tubes, breathing circuit and intensive care ventilators. Crit Care Med 17 : 671, 1989
3. Bolder PM, Healy EJ, Bolder AR : The extra work of breathing through adult endotracheal tubes. Anesth Analg 65 : 853, 1986
4. Marini JJ, Capps JS, Culver BH : The inspiratory work of breathing during assisted mechanical ventilation. Chest 87 : 612, 1985
5. Gurevitch MJ, Gelmont D : Importance of the trigger sensitivity to ventilator response delay in advanced chronic obstructive pulmonary disease with respiratory failure. Crit Care Med 17 : 354, 1989
6. Sassoon CSH : Mechanical ventilator design and function : the trigger variable. Respir Care 37 : 1056, 1992
7. Polese G, Massara A, Poggi R, Brandolese R, Brandi G, Rossi A : Flow-triggering reduces inspiratory effort during weaning from mechanical ventilation. Intensive Care Med 21 : 682, 1995
8. Sassoon CSH, Lodia R, Rheeman CH, et al : Inspiratory muscle work of breathing during flow-by, demand-flow and continuous-flow systems in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am Rev Respir Dis 145 : 1219, 1992
9. Sassoon CSH, Giron AE, Ely E, et al : Inspiratory work of breathing on flow-by and demand-flow continuous positive airway pressure. Crit Care Med 17 : 1108, 1989
10. Carmack J, Torres A, Anders M, Wilson SW, Holt S, Heulitt MJ : Comparison of Inspiratory work of breathing in young lambs during flow-triggered and pressure-triggered ventilation. Respir Care 40 : 28, 1994

11. Sassoon CSH, Gruer SE : Characteristics of the ventilator pressure-and flow-trigger variables. *Intensive Care Med* 21 : 159, 1995
 12. Banner MJ, Kirby RR, 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
 13. Fiasiro JF, Habib MP, Quan SF : Pressure support compensates for inspiratory work due to endotracheal tubes and demand continuous positive airway pressure. *Chest* 93 : 499, 1988
 14. Rochester DF, Betini G : Diaphragmatic blood flow and energy expenditure in the dog. Effects of inspiratory airflow resistance and hypercapnia. *J Clin Invest* 57 : 661, 1976
 15. Field S, Grassino A, Sanci S : Respiratory muscle oxygen consumption estimated by diaphragmatic pressure-time index. *J Appl Physiol* 57 : 44, 1984
 16. Mancebo J, valleverdu I, Bak E, Subirana M, Ortiz A, Benito S : Net A effects on the work of breathing of different systems during weaning from mechanical ventilation(Abstract). *Am Rev Respir Dis* 147 : A876, 1993
-