

□ 원 저 □

## 압력보조 환기법으로 기계호흡 이탈시 최소압력보조 (Minimal Pressure Support) 수준의 결정

아산재단 강릉병원\* 및 서울중앙병원 울산대학교 의과대학 내과학교실

정복현\*, 고윤석, 임채만, 이상도, 김우성, 김동순, 김원동

= Abstract =

### Determination of Minimal Pressure Support Level During Weaning from Pressure Support Ventilation

Bock Hyun Jung, M.D.,\* Younsuck Koh, M.D., Chae Man Lim, 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 Kangnung Hospital\* and Asan Medical Center,  
College of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea*

**Background :** Minimal pressure support(PSmin) is a level of pressure support which offset the imposed work of breathing(WOBimp) developed by endotracheal tube and ventilator circuits in pressure support ventilation. While the lower applied level of pressure support compared to PSmin could induce respiratory muscle fatigue, the higher level than PSmin could keep respiratory muscle rest resulting in prolongation of weaning period during weaning from mechanical ventilation. PSmin has been usually applied in the level of 5~10 cmH<sub>2</sub>O, but the accurate level of PSmin is difficult to be determined in individual cases. PSmin is known to be calculated by using the equation of "PSmin=peak inspiratory flow rate during spontaneous ventilation×total ventilatory system resistance", but correlation of calculated PSmin and measured PSmin has not been known. The objects of this study were firstly to assess whether customarily applied pressure support level of 5~10 cmH<sub>2</sub>O would be appropriate to offset the imposed work of breathing among the patients under weaning process, and secondly to estimate the correlation between the measured PSmin and calculated PSmin.

#### Method :

1) Measurement of PSmin : Intratracheal pressure changes were measured through Hi-Lo jet tracheal tube (8mm in diameter, Mallinckroft, USA) by using pulmonary monitor(CP-100 pulmonary monitor, Bicore, USA), and then pressure support level of mechanical ventilator were increased until WOBimp was reached to 0.01 J/L or less. Measured PSmin was defined as the lowest pressure to make WOBimp 0.01 J/L or less.

2) Calculation of PSmin : Peak airway pressure(Ppeak), plateau airway pressure(Pplat) and mean inspiratory flow rate of the subjects were measured on volume control mode of mechanical ventilation after sedation. Spontaneous peak inspiratory flow rates were measured on CPAP mode(0 cmH<sub>2</sub>O). Thereafter PSmin was calculated by using the equation "PSmin=peak inspiratory flow rate×R, R=(Ppeak-Pplat)/mean inspiratory flow rate during volume control mode on mechanical ventilation".

**Results** : Sixteen patients who were considered as the candidate for weaning from mechanical ventilation were included in the study. Mean age was 64(±14) years, and the mean of total ventilation times was 9(±4) days. All patients except one were males. The measured PSmin of the subjects ranged 4.0~12.5cmH<sub>2</sub>O in 14 patients. The mean level of PSmin was 7.6(±2.5 cmH<sub>2</sub>O) in measured PSmin, 8.6(±3.25 cmH<sub>2</sub>O) in calculated PSmin. Correlation between the measured PSmin and the calculated PSmin is significantly high(n=9, r=0.88, p=0.002). The calculated PSmin show a tendency to be higher than the corresponding measured PSmin in 8 out of 9 subjects(p=0.09). The ratio of measured PSmin/calculated PSmin was 0.81(±0.05).

**Conclusion** : Minimal pressure support levels were different in individual cases in the range from 4 to 12.5 cmH<sub>2</sub>O. Because the equation-driven calculated PSmin showed a good correlation with measured PSmin, the application of equation-driven PSmin would be then appropriate compared with conventional application of 5~10 cmH<sub>2</sub>O in patients under difficult weaning process with pressure support ventilation.

---

**Key words** : Minimal pressure support level, Weaning, Work of breathing

## 서 론

압력보조환기법(pressure support ventilation)은 기계호흡의 이탈 양식(weaning mode)으로서 널리 사용되고 있다. 기관내 관 삽관을 통한 기계호흡을 받는 환자는 폐탄성이나 기도저항 등에 의해 발생하는 호흡일 이외에 기관내관(endotracheal tube)과 인공 호흡기 회로에 의해 생기는 부가적 호흡일(imposed work of breathing, WOBimp)이 발생된다. 압력보조환기법이 적용된 환자에서 이러한 부가적 호흡일을 극복하기 위한 압력보조 수준의 최소값을 최소압력보조(minimal pressure support, PSmin)라 하며<sup>1)</sup>, 임상에서는 환자의 호흡 상태가 이 수준에서도 적절하면 치료자는 이때 기관내 관을 발관하게 된다. 최소압력보조의 수준은 호흡 역학적 지표를 측정하여 결정할 수 있으나 흔히 치료자가 일률적으로 5~10 cmH<sub>2</sub>O

를 적용하고 있다. 이는 호흡역학적 지표의 측정에 의한 최소압력보조의 수준을 결정하기 위해서는 호흡일 등을 측정할 수 있는 장비가 필요하기 때문이다. 그러나 실제 최소압력보조의 수준은 환자의 호흡역학에 따라 그 값이 달라 기계 호흡 이탈기 시에 적용한 최소압력보조의 수준이 필요한 수준보다 낮으면 환자의 호흡근이 피로에 빠질 수가 있고 과도하면 호흡근의 휴식이 계속되어 이탈기간이 길어질 수 있다<sup>2)</sup>. 최소압력보조의 수준은 직접 호흡일을 측정하여 구하지 않고 최대흡기유량과 총환기계 저항을 측정하여 유도식을 이용하여 추정할 수 있으나<sup>3)</sup>, 측정치와의 일치성에 대해서는 알려져 있지 않았다. 본 연구는 압력보조환기법을 사용하여 기계 호흡으로부터 이탈시 기관내 관과 인공호흡기 회로에 의해 발생하는 부가적 호흡일을 극복하기 위해 요구되는 최소압력보조의 수준을 실측하여 그 범위를 관찰하고 임상에서 흔히 일률적으로 적

용되는 5~10 cmH<sub>2</sub>O의 압력 수준이 적절한 지를 검토하고자 하였다. 또한 측정된 최소압력보조와 유도식(최소압력보조 = 초대흡기량 × 총환기계 저항치)에 의한 계산된 최소압력보조와 비교하여 유도식에 의한 최소압력보조 수준의 임상적 유용성을 검토하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상 환자

발병 원인에 관계없이 급성 호흡 부전으로 내과계 중환자실에 입실하여 기계호흡 치료를 받은 뒤 기저 질환이 호전되고 임상적으로 안정되어 기계호흡 이탈이 가능하였던 환자 16명을 대상으로 하였다. 모든 환자들은 기관내관을 통해 인공호흡기(Servo Ventilator 300, Siemens-Elcoma, Sweden)로 기계호흡을 받았고 최소한 30분 이상 자발 호흡이 가능한 환자를 대상으로 하였다.

### 2. 방법

대상 환자를 반좌위로 한 후 연구 시작 전에 각 환자에서 말단부에 10cm 식도 풍선을 가진 폴리에틸렌(polyethylene)으로 만들어진 식도 도관(esophageal catheter, No 700-3-100 Bicore, USA)을 한쪽 비강을 통해 삽입하여 식도 하부 1/3에 풍선(balloon)을 위치시켜 식도압의 변화를 측정하였다. 구강압(proximal airway pressure) 및 구강 기류는 기관내 관의 구강쪽 끝과 인공호흡기의 Y-piece connector 사이에 부착된 Pneumotachograph/Pressure sensor(part No. 700-2-300 Bicore, USA)를 통해 측정된 후 폐 감시기(CP-100 pulmonary monitor, Bicore, USA)로 연결되어 호흡일을 포함한 호흡 역학적 지표들이 산출되었다. 기관내 압력은 기관내 관의 한쪽 편에 보조 관강(monitored lumen)을 가진 Hi-Lo jet endotracheal tube(내경

8mm, Mallinckroft, USA)를 이용하여 보조 관강을 통해 기관 내측의 기관말 압(end-tracheal pressure)을 측정하여 기관말 압과 구강 기류로부터 구한 부가적 호흡일(imposed work of breathing)을 직접 측정하였다. 압력보조 환기(CPAP 0cmH<sub>2</sub>O)시 이러한 부가적 호흡일을 상쇄(측정된 호흡일이 0.01 J/L 이하)시키는 압력보조의 수준 중 가장 낮은 값을 최소압력보조 수준으로 정의하여 최소압력보조의 수준을 각 환자에서 직접 측정하여 실측치로 정의하였고, 대상 환자 16명중 9예에서는 호흡 역학적 지표를 이용하여 최소압력보조의 수준을 간접적으로 구하였는데 용적 조절 환기 양식하에 최고 흡기압, 고평부압 및 평균 흡기유량을 5회 반복 측정한 뒤 그 평균값을 이용하여 총환기계 저항값(total ventilatory system resistance) [ $R = (P_{peak} - P_{plat}) / \text{mean inspiratory flow rate during mechanical ventilation}$ ]을 구하였고, 지속적기도양압(continuous positive airway pressure) 환기하에서 40회 이상의 자발 호흡시 평균 자발최고흡기유량(spontaneous peak inspiratory flow rate)을 측정한 후 유도식(peak inspiratory flow rate × total ventilatory system resistance = minimal pressure support)을 이용하여<sup>3)</sup> 구한 값을 최소압력보조의 계산치로 정의하였다.

### 3. 통계 분석

SPSS 통계 프로그램을 이용하여 계산치와 실측치의 상관관계를 paired sample t-test와 correlation analysis법으로 분석하였다. 각 측정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였으며 p값이 0.05 미만인 경우를 유의한 차이로 간주하였다.

## 결 과

1) 대상환자는 모두 16명으로 평균 연령은 64(±14)세였고 1예를 제외하고 모두 남자였으며 평균 기계호흡 일수는 9(±4)일 이었고 호흡 부전의 원인 질환

Table 1. Demographics of the patients

| Cases No. | Age(yrs) | Sex | TVT(days) | Diagnosis         |
|-----------|----------|-----|-----------|-------------------|
| 1         | 32       | M   | 11        | Drug intoxication |
| 2         | 68       | M   | 17        | Acute lung injury |
| 3         | 80       | M   | 6         | Pneumonia         |
| 4         | 58       | M   | 4         | COPD              |
| 5         | 69       | M   | 14        | Acute lung injury |
| 6         | 62       | M   | 7         | CHF               |
| 7         | 64       | M   | 5         | COPD              |
| 8         | 78       | M   | 12        | Pneumonia         |
| 9         | 60       | M   | 3         | Pneumonia         |
| 10        | 63       | M   | 5         | Pneumonia         |
| 11        | 75       | M   | 13        | CHF               |
| 12        | 68       | M   | 8         | Pneumonia         |
| 13        | 65       | F   | 10        | Pulmonary Tbc.    |
| 14        | 65       | M   | 4         | Acute lung injury |
| 15        | 28       | M   | 5         | Drug intoxication |
| 16        | 65       | M   | 4         | Drug intoxication |

ETT : endotracheal tube

COPD : chronic obstructive pulmonary disease

CHF : congestive heart failure

TVT : total ventilator time

환은 폐렴, 만성폐쇄성폐질환, 급성 폐손상, 약물 중독, 폐결핵, 만성심부전 등 이었다(Table 1).

2) 기관말 압을 이용하여 대상환자 16명중 14명에서 측정된 최소압력보조의 실측치는 4~12.5 cmH<sub>2</sub>O로써 환자에 따라 차이가 심하였다. 그리고 대상환자중 2명에서 각각 15, 21 cmH<sub>2</sub>O로써 높게 측정되었으나 기관내 관 발판 후 내강이 기도 분비물로 심한 폐쇄가 발견되어 통계분석에서 제외시켰다(Table 2).

3) 실측치를 측정한 16명중 9명에서 유도식을 이용하여 최소압력보조의 계산치를 구하였으며 실측치와 계산치의 비는 평균 0.81이었고, 실측치  $PS_{min} = \text{계산치 } PS_{min} \times 0.68 + 1.754$ 으로 환산할 수 있었다. 즉 기존의 사용되는 유도식을 이용한 계산치가 실측치 보다 과대 평가 되어 실제보다 높게 나타나는 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다(Fig. 1).

4) 실측치와 계산치의 상관계수는 0.88(p=0.002)로 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다(Fig. 2).

## 고 찰

압력보조환기법은 기계호흡으로부터 이탈시 주로 사용하는 양식으로 중요한 장점 중 하나는 기계호흡으로부터 이탈기 동안 환기 보조의 수준을 단계적으로 줄일 수 있어 환자의 환기 부담을 점진적으로 증가시킬 수 있다는 점에서 최근 많이 이용되고 있다<sup>3~5)</sup>. 또한 압력보조환기법은 기관내 관과 demand valve, 인공호흡기 회로(ventilator circuit) 등으로 인해 유발되는 호흡일의 증가를 효과적으로 상쇄시킬 수 있는 환기 방법으로 알려져 있다<sup>3, 4)</sup>. 그러나 각 환자마다 요

Table 2. The Levels of minimal pressure support in the patients

| Cases No. | PIFR(L/sec) | R(cmH <sub>2</sub> O/L/s) | Cal.PSmin<br>(cmH <sub>2</sub> O) | Meas. PSmin<br>(cmH <sub>2</sub> O) |
|-----------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1         | 0.41        | —                         | —                                 | 4.0                                 |
| 2         | 0.51        | 11.8                      | 6.0                               | 5.0                                 |
| 3         | 0.57        | 11.8                      | 6.7                               | 5.5                                 |
| 4         | 0.48        | 14.5                      | 6.9                               | 6.5                                 |
| 5         | 0.79        | 10.3                      | 8.1                               | 6.5                                 |
| 6         | 0.54        | 13.0                      | 7.1                               | 7.0                                 |
| 7         | 0.82        | 10.0                      | 8.2                               | 7.0                                 |
| 8         | 0.75        | —                         | —                                 | 7.0                                 |
| 9         | 0.67        | 10.0                      | 6.7                               | 8.0                                 |
| 10        | 0.59        | —                         | —                                 | 8.0                                 |
| 11        | 0.73        | —                         | —                                 | 10.0                                |
| 12        | 0.60        | —                         | —                                 | 10.0                                |
| 13        | 0.80        | 19.3                      | 15.5                              | 11.0                                |
| 14        | 0.96        | 13.3                      | 12.8                              | 12.5                                |
| 15*       | 0.98        | —                         | —                                 | 15*                                 |
| 16*       | 0.59        | 33.9                      | 20.0                              | 21*                                 |

PIFR : peak inspiratory flow rate during spontaneous ventilation

R : resistance of total ventilatory system      Cal. PSmin : calculated minimal pressure support

Meas. PSmin : measured minimal pressure support

\*Values were omitted from statistical calculation due to partial obstruction of endotracheal tube by secretion

구되는 압력보조 수단이 다양하여 부적절한 수준에서 압력보조 환기시 호흡근의 피로가 초래되고 이로 인해 인공호흡기로부터 이탈이 힘들어 질 수 있다<sup>6~9)</sup>. 압력 보조환기법으로 환기 보조시 환자에서 실제 환기 보조를 제공하지 않으면서 기관내 관과 인공호흡기 회로의 저항으로 발생하는 부가적 호흡일(imposed WOB) 만으로 극복하기 위한 최소압력보조의 수준만 제공하여 기계호흡으로부터 이탈 후의 자가 호흡시 호흡 일을 예측할 수 있다고 하였다<sup>2)</sup>. 최소압력보조 수준 결정의 임상적 중요성은 압력보조의 수준이 최소압력보조 보다 적으면 환자의 호흡근이 피로에 빠질 수 있는 반면, 과도한 압력보조 환기 시에는 호흡근의 휴식이

지속되어 이탈 기간이 길어 질 수 있다<sup>2, 6~9)</sup>. 특히 적절한 최소압력보조 수준은 호흡 근력이 약화된 환자에서 기저 폐질환에 기인한 호흡일이 이미 높은 환자에서 이탈 시도의 성패에 중요한 영향을 미칠 것으로 사료된다<sup>11)</sup>. 그러나 이러한 중요성에도 불구하고 최소압력보조 수준을 평가하기 위해서는 특수한 장비와 시설이 필요하며 또한 측정이 번거로워 임상에 적용하기가 어렵다. 그러므로 임상에서는 흔히 치료자가 일률적으로 5~10 cmH<sub>2</sub>O를 적용하고 있으며 일부에서는 자발 호흡시의 최대 흡기 유량(peak inspiratory flow rate, PIER)과 인공 환기기를 포함한 전체 환기 계통의 저항(total ventilatory resistance, R)을 이용하여 유

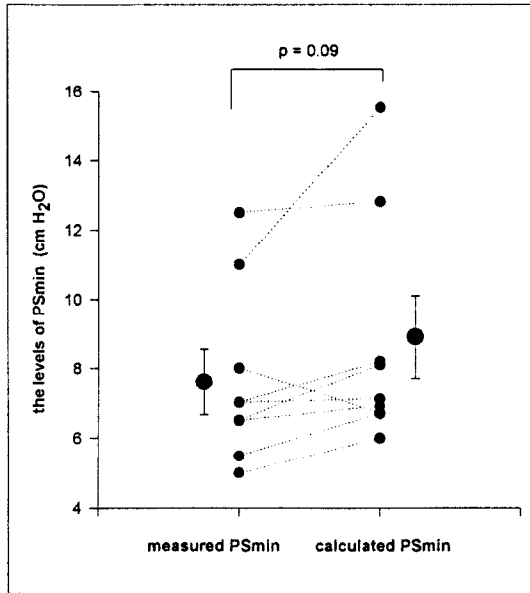


Fig. 1. Comparison of measured PSmin with calculated PSmin.

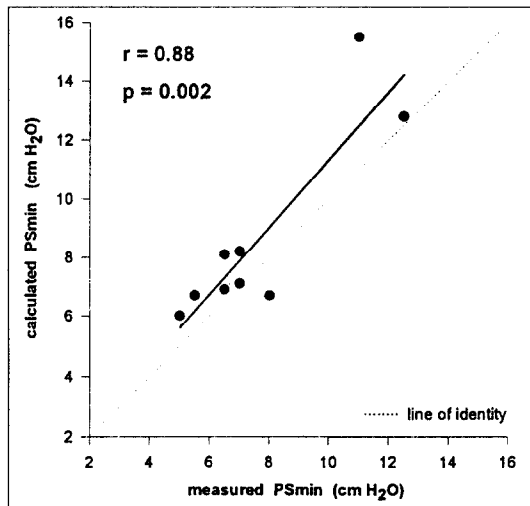


Fig. 2. Correlation between measured PSmin and calculated PSmin.

도식  $PS_{min} = PIFR \times R$ 을 이용하여 최소압력보조 수준의 결정에 이용하기도 한다<sup>3)</sup>. 그러나 상기 유도식은 그 타당성이 아직 인정되지 못하였으며<sup>1)</sup> 실측치와

비교된 연구가 없어 그 유용성을 알 수 없었다. 본 연구의 결과 기관내 관을 통해 기관내 압을 직접 측정하여 부가적 호흡일을 구하여 이를 상쇄 시킬 수 있는 압력보조 수준을 직접 측정한 측정값과 상기 유도식을 이용한 계산 값이 유의한 상관관계가 있음이 나타났다. 그러므로 압력보조환기 양식에 의한 이탈 과정시 최소압력보조의 결정은 유도식을 이용한 계산값으로 기관내 관을 통해 기관내 압을 직접 측정하여 구한 측정 값을 대체할 수 있는 것으로 사료된다. 본 연구에서는 기관내 관을 통해 기관내 압을 직접 측정하여 부가적 호흡일을 구하였는데 이는 지속적기도양압 환기 양식하에서 자발 호흡시 부가적 호흡일을 구할 때 기관내 관의 구강 끝에서 보다 기관내 압력을 측정하는 것이 더 정확하기 때문이다<sup>13)</sup>. 본 연구에서는 동일한 인공호흡기 기종으로 같은 환기 양식에서 같은 크기의 기관내 관으로 호흡 일을 측정하였으며 이는 부가적 호흡일이 주로 인공호흡기 내부의 demand valve, 인공호흡기 튜브, 기관내 관 및 흡기 유량에 의해 주로 유발 되기 때문이다<sup>11)</sup>. 호흡일은 호흡부전 환자에서 폐 조직 및 기도의 호흡 역학을 반영하는 좋은 척도가 된다<sup>10)</sup>. 대상 환자들의 측정된 최소압력보조 수준은 환자에 따라 다르게 나타났으며 부가된 호흡일이 주로 환자의 환기 양상과 최고흡기유량에 의해 결정되고, 본 연구에서 환자마다 측정 조건을 상기에 기술한 바와 같이 동일하게 하였으므로 이를 상쇄 시키기 위한 압력보조 수준은 환자의 기저 폐질환이나 호흡근의 상태에 따라 다르게 나타난 것으로 추정된다. 대상 환자 중 2예에서는 기관내 관을 제거하기 직전에 측정한 최소압력보조의 실측치가 각각 15 및 21 cmH<sub>2</sub>O로 매우 높았으나 측정 직후 제거된 기관내 관에서 농축된 기관지 분비물로 내경의 폐쇄가 심하여 높은 압력보조가 필요했던 것으로 여겨져 이 두 값은 통계 처리에서 제외시켰다. 임상에서는 발관을 하기 전에는 기관내 관의 폐쇄를 정확하게 추정하기 어려우나 본 연구의 결과나 다른 연구의 결과를<sup>5)</sup> 미루어 보더라도 최소압력보조의 수준이 12 cmH<sub>2</sub>O를 넘을 경우 기관내 관의 폐쇄를 의심해 보아야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서 실측치에 비해 계산치가 높은 경향은 보였으나 통계적 차이를 나타내지는 못하였다. 그러나 한 예를 제외한 모든 환자에서 실측치보다 계산치가 높았으나 연구 대상자 수가 적은 관계로 통계학적 유의성을 나타내지 못한 것으로 추정되었다. 이러한 차이는 유도식에 사용된 총환기계 저항 R 값은 인공환기기 회로의 저항 뿐 아니라 환자의 기도 저항도 포함된 결과로 해석된다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 두 값은 통계학적으로 높은 상관관계를 나타내고 있어 유도식에 의해 구한 계산치가 임상적으로 유용하게 이용될 수 있으리라 생각된다. 그러나 자발적 최고흡기 유량의 측정은 일부 인공호흡기(예: Purittan-Bennet 7200ae) 및 특수한 감시기(예: CP-100 Bicore monitor)가 있어야 직접 측정이 가능하므로 분당 환기량 등을 이용한 유도식을 이용하여 유사 값을 구하여 적용할 수 있을지는 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다<sup>14, 15)</sup>. 또한 총환기계 저항을 측정하기 위해서는 환자를 충분히 안정시켜 자발 호흡을 제거해야 하는 어려움이 있었다.

결론적으로 이러한 측정상의 어려움은 있으나 최소압력보조 치는 환자에 따라 상당히 차이가 나므로 압력보조환기법에 의한 이탈 시 최소압력보조의 수준을 5~10 cmH<sub>2</sub>O 범주 내에 임의적으로 적용하는 것은 적절하지 않을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 유도식으로 계산된 최소압력보조 치는 실측치를 과대평가하는 경향은 있었으나 실측치와 상관성이 높으므로 기계호흡으로부터 이탈이 어려운 환자들에서 압력보조 환기양식으로 이탈 시도시 유도식으로 최소압력보조 치를 구하여 적용하는 것이 임의적인 값을 적용하는 것보다 더 적절한 방법으로 사료된다.

## 요 약

### 연구배경 :

압력보조환기법은 기계호흡으로부터 이탈시 최근에 많이 이용되는 인공환기법으로 적절한 압력보조 수준

이 이탈 과정에 중요하며 특히 최소압력보조(minimal pressure support) 수준에서 환자의 환기 상태가 적절하면 치료자는 인공 호흡기로 부터 이탈 및 기관내 관을 발관할 수 있다. 그러나 부적절한 최소압력보조 수준의 적용은 환기 이탈 기간의 장기화나 이탈 실패를 초래할 수 있다. 본 연구는 이탈기 환자들의 최소압력보조 치의 범위를 알아보고 또한 최대 흡기 유량과 총환기계 저항의 곱으로 구한 최소압력보조치의 계산값과 환자의 기관내 관 끝에서 실측한 값 사이의 차이를 비교함으로써 유도식으로 계산된 최소압력보조 값의 임상적 유용성을 예측하고자 하였다.

### 방 법 :

기저 질환이 호전되어 기계호흡으로부터 이탈이 가능한 환자 16명을 대상으로 폐 감시기(CP-100 pulmonary monitor, Bicore, USA)를 이용하여 부가된 호흡일을 구한 후 최소압력보조의 수준을 직접 측정하였고, 이들 중 9예에서는 또한 유도식(peak inspiratory flow rate × total ventilatory system resistance = minimal pressure support)을 이용하여 최소압력보조의 수준을 구하였다.

### 결 과 :

대상환자 16명중 14명에서 측정된 최소압력보조의 실측치는 4~12.5 cmH<sub>2</sub>O로써 환자에 따라 차이가 심하였다. 대상 환자 중 2명에서 각각 15, 21 cmH<sub>2</sub>O로써 높게 측정되었으나 기관내 관을 발관 후 내강이 기도 분비물로 심한 폐쇄가 발견되었다. 실측치를 측정된 16명중 9명에서 유도식을 이용하여 최소압력보조의 계산치를 구하였으며 실측치와 계산치의 비는 평균 0.81로 실측치 보다 높게 나타나는 경향을 보였으나 실측치와 계산치의 상관 계수는 0.88(p=0.002)로 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다.

### 결 론 :

압력보조환기법에 의한 이탈 시도시 최소압력보조 수준의 결정은 유도식을 이용하여 계산된 값을 적용하는 것이 치료자가 임의적으로 일정한 값을 적용하는 것보다 더 나을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Nathan SD, Ishhaya AM, Koerner SK, Belman MJ : Prediction of minimal pressure support during weaning from mechanical ventilation. *Chest* 103 : 1215, 1993
2. Hughes CW, Popovich J : Uses and abuses of pressure support ventilation. *J Crit Illness* 4 : 25, 1989
3. Kacmarek RM : The role of pressure support ventilation in reducing work of breathing. *Respir Care* 33 : 99, 1988
4. Macintyre AR, Leatherman NE : Ventilatory muscle loads and the frequency-tidal volume pattern during inspiratory pressure-assisted (pressure-supported) ventilation. *Am Rev Respir Dis* 141 : 327, 1990
5. Brochard L, Harf A, Lorino H, Lemaire F : Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 139 : 513, 1989
6. Shapiro M, Wilson RK, Gregorio C, Bloom K, Teague RB : Work of breathing through different sized endotracheal tubes. *Crit Care Med* 14 : 1028, 1986
7. Katz JA, Kraemer RW, Gjerde GE : Inspiratory work and airway pressure with continuous positive airway pressure delivery systems. *Chest* 88 : 519, 1985
8. Gibney RTN, Wilson RS, Pontoppidan H : Comparison of work of breathing on high gas flow and demand valve continuous positive airway pressure systems. *Chest* 82 : 692, 1982
9. Proctor NJ, Woolson R : Prediction of respiratory muscle fatigue by measurements of the work of breathing. *Surg Gynecol Obstet* 136 : 367, 1973
10. Fleury B, Murciano SC, Talamo C, Aubier M, Pariente R, Milic-Emili J : Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. *Am Rev Respir Dis* 131 : 822, 1985
11. Fiastro JF, Habib MP, Quan SF : Pressure support compensation for inspiratory work due to endotracheal tubes and demand continuous Positive airway pressure. *Chest* 93(3) : 499, 1988
12. Macintyre NR : Pressure support ventilation : Potential clinical applications. *Probl Pulmon Dis* 2 : 1, 1986
13. 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 Med* 20 : 528, 1992
14. Smith MP, Gold PM : Resting peak inspiratory flow rate and minute volume correlation study (abstract). *Respir care* 31 : 951, 1986
15. Bar AG : Predictive equation for peak inspiratory flow. *Respir care* 30 : 766, 1985