

## 급성 폐손상 환자에서 Adaptive Support Ventilation 적용 시 호흡지표의 양상

아주대학교 의과대학 호흡기내과학교실

이규성, 정우영, 정윤정, 박주현, 신승수, 황성철, 박광주

### Evaluation of Respiratory Parameters in Patients with Acute Lung Injury Receiving Adaptive Support Ventilation

Keu Sung Lee, M.D., Wou Young Chung, M.D., Yun Jung Jung, M.D., Joo Hun Park, M.D., Seung Soo Sheen, M.D., Sung Chul Hwang, M.D., Kwang Joo Park, M.D., Ph.D.

Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

**Background:** Adaptive support ventilation (ASV), an automated closed-loop ventilation mode, adapts to the mechanical characteristics of the respiratory system by continuous measurement and adjustment of the respiratory parameters. The adequacy of ASV was evaluated in the patients with acute lung injury (ALI).

**Methods:** A total of 36 patients (19 normal lungs and 17 ALIs) were enrolled. The patients' breathing patterns and respiratory mechanics parameters were recorded under the passive ventilation using the ASV mode.

**Results:** The ALI patients showed lower tidal volumes and higher respiratory rates (RR) compared to patients with normal lungs ( $7.1 \pm 0.9$  mL/kg vs.  $8.6 \pm 1.3$  mL/kg IBW;  $19.7 \pm 4.8$  b/min vs.  $14.6 \pm 4.6$  b/min;  $p < 0.05$ , respectively). The expiratory time constant (RCe) was lower in ALI patients than in those with normal lungs, and the expiratory time/RCe was maintained above 3 in both groups. In all patients, RR was correlated with RCe and peak inspiratory flow ( $r_s = -0.40$ ;  $r_s = 0.43$ ;  $p < 0.05$ , respectively). In ALI patients, significant correlations were found between RR and RCe ( $r_s = -0.76$ ,  $p < 0.01$ ), peak inspiratory flow and RR ( $r_s = -0.53$ ,  $p < 0.05$ ), and RCe and peak inspiratory flow ( $r_s = -0.53$ ,  $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** ASV was found to operate adequately according to the respiratory mechanical characteristics in the ALI patients. Discrepancies with the ARDS Network recommendations, such as a somewhat higher tidal volume, have yet to be addressed in further studies.

**Key Words:** Acute Lung Injury; Respiratory Mechanics; Ventilators, Mechanical; Automation; Ventilator-Induced Lung Injury

## 서 론

적응성 보조 환기(adaptive support ventilation, ASV)는 Otis 공식<sup>1</sup>에 근거하여 환자의 호흡일(work of breathing)을 최소화하면서 환기를 최적화하기 위해 개발되었으

며, 호흡기계의 역학적인 상태를 반영하여 호흡 지표들을 자동적으로 설정하고 또한 이를 매 호흡마다 연속적으로 측정하여 설정을 조정하는 폐쇄회로 방식의 자동화된 기계환기 방식이다<sup>2-4</sup>.

ASV는 주어진 분당 환기량을 보장하면서 호흡수와 일회호흡량을 자동적으로 조절하는데 이때 폐쇄성 폐질환과 제한성 폐질환의 역학적 특성을 반영하여 각각의 상황에 맞는 적절한 환기를 실제 제공하는 것으로 보고된 바 있으며<sup>5,6</sup>, 기계환기와 환자간의 동조가 원활하고, 조절이 간편하며, 기계환기 이탈 시에도 용이한 작동과 이탈 기간을 단축할 수 있다는 장점들이 있는 것으로 보고되었다<sup>7,9</sup>.

급성 폐 손상의 경우에 ASV는 폐의 역학적 상태를 반영

Address for correspondence: Kwang Joo Park, M.D., Ph.D.  
Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Ajou University School of Medicine, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon 443-721, Korea  
Phone: 82-31-219-5121, Fax: 82-31-219-5124  
E-mail: parkkj@ajou.ac.kr

Received: Oct. 18, 2010

Accepted: Oct. 29, 2010

하여 적절한 환기조건을 제공한다는 보고<sup>10</sup>가 있는 반면에 ASV에서 설정되는 일회 호흡량이 ARDS Network (ARDSnet)에서 권장하는 값보다 높게 설정됨으로써 폐 손상을 야기할 수 있다는 문제점 또한 제기된 바 있는 등<sup>11,12</sup> 아직 급성 폐 손상에서 ASV의 효능과 적정성에 대해서는 논란이 있다. 국내에서 ASV에 대한 보고는 아직 부족한 실정인데 한 대학병원에서 급성 호흡곤란증후군 환자 13예를 대상으로 ASV와 용적 조절 환기를 연속적으로 적용하고 압력과 용적 등의 호흡지표들을 비교한 결과 전자에서 더 우수한 역학적 특성이 나타난 것으로 보고한 바 있다<sup>13</sup>.

저자 등은 급성 폐 손상 환자들에 있어서 ASV를 적용하였을 때 나타나는 호흡지표들을 정상적인 폐를 가진 환자들과 비교하여 실제로 폐의 역학적 특성을 적절하게 반영하는지 여부 및 현재 ARDSnet에서 권장하는 환기지침과의 비교 등을 시행하여 국내 급성 폐 손상 환자에서 ASV의 유의성과 적정성에 대한 평가를 하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상군

2008년 7월부터 2008년 12월까지 아주대학교병원 집중치료실에 입원해서 기계환기치료를 받은 18세 이상의 환자 36예를 대상으로 하였다. 환자는 정상 폐 환자 19예 및 급성 폐 손상 환자 17예 등으로 구성되었다. 정상 폐 환자군은 기저 폐질환이 없고 흉부방사선 소견이 정상이며, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 비가 300 mm Hg 이상인 환자들로서 두부 손상 7예, 뇌혈관 질환 9예, 다발성 외상 환자 3예였으며, 뇌 손상 환자에서 인위적인 과호흡치료가 필요한 환자는 제외하였다. 급성 폐손상 환자에서 제외기준은 심부전, 만성 폐쇄성 폐질환이나 천식 등 폐쇄성 폐질환의 과거력이 있는 경우, 흉곽의 변형이나 해부학적 이상 소견 및 흉관삽입 등 공기누출 상태나 기흉 등의 압력손상 소견이 있는 경우 등으로 규정하였다. 원인질환으로는 사회획득 폐렴 8예, 병원획득 폐렴 3예, 폐 외 감염의 패혈증에 의한 급성 폐 손상 6예(요로감염 3예, 복강 내 농양 2예, 하지 봉와염 1예)였으며 급성 폐 손상과 급성 호흡곤란 증후군의 진단기준은 American-European Consensus Conference의 정의에 따랐다<sup>14</sup>. 임상적 중증도 평가로서 acute physiology and chronic health evaluation (APACHE) II<sup>15</sup> 및 sequential organ failure assessment (SOFA)<sup>16</sup> 점수를 집중치료실 입실 또는 급성 폐 손상 발생 24시간 내에 측

정하였다. 본 연구는 기관 연구윤리 심의위원회의 승인을 받았고 환자 보호자로부터 서면동의를 득한 후에 시행하였다.

### 2. 기계환기

기계환기는 Galileo Ventilator (Hamilton Medical Co., Bonaduz, Switzerland)를 사용하였다. 이때 예측 체중 (predicted body weight, PBW)은 키와 성별을 이용한 Devine 공식에 따라 구하였다<sup>17</sup>. ASV적용 시에 목표 분당 환기량은 100%로 설정하였다. 압력제한은 기본설정(이하 35 cm H<sub>2</sub>O)로 유지하였다. 호기말 양압과 FiO<sub>2</sub>는 산소포화도 90~95% 및 PaO<sub>2</sub> 60~100 mm Hg의 범위를 유지하도록 조정하였다. 이 기준에 따라 정상 폐 환자에서는 초기에 5 cm H<sub>2</sub>O로 시작하여 유지하였고 담당의의 판단에 따라 필요 시 1~2 cm H<sub>2</sub>O 증량하였다. 급성 폐 손상 환자에서 호기말 양압은 관습적인 'PEEP trial' 방식에 따라 1~2 cm H<sub>2</sub>O씩 증가시켰다<sup>18</sup>. 이 방식은 산소화의 향상이 최대치가 되는 수준 또는 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>가 200 mm Hg 이상이 되는 수준까지 증가시키되 혈액학적인 저하(혈압이나 심박출량의 20% 감소 또는 동정맥 산소량 차가 20% 이상 차이가 나는 경우)가 오지 않는 범위 내에서 조정하도록 하였다.

초기 집중치료 후 혈액학적 및 환기지표들이 안정화된 이후부터 24시간 내에 여러 가지 호흡역학적 지표 등을 측정하였다. 환자의 진정은 지속적 midazolam (0.1~0.2 mg/kg/hr) 정주를 하면서 Ramsay sedation scale<sup>19</sup>이 5 또는 6점에 해당하는 깊은 진정을 유지하였으며, 측정 시에 자발호흡이 있어 신뢰성 있는 환기지표들을 구하기 어려울 때에는 측정자의 판단에 따라 근 이완제(vecuronium, 0.1~0.2 mg/kg/hr) 정주를 시행하여 환자의 자발호흡을 최소화하였다.

### 3. 호흡 지표의 측정

상기와 같이 환자의 호흡 및 혈액학적 상태가 안정된 후 각 지표들을 기록하였다. 환기 및 호흡역학 지표들은 Galileo 호흡기의 Numeric data 표시창에 나타나는 값들을 기록하였다. 호흡 지표에서 자발호흡이 0회/min으로 나타난 상태의 값들을 기록하였는데 본 호흡기는 지표를 평가할 때 8개 호흡을 분석하여 나타내므로 최소한 8회 이상의 수동적 호흡이 연속적으로 발생한 상황에서의 평균치가 이용되게 된다. 이러한 호흡의 지표들을 10분 간격으로 3회 측정 후 비교 평가해보고 그 중 가장 안정적

이고 수동적인 호흡에 의한 대표값을 선별하여 분석을 하였다. 측정방법을 약술하면 기도압 및 기류속도는 기도관에 설치한 호흡기류계(pneumotachography)로 측정하였고 정적 유순도(static compliance of the respiratory system, Cstat) 및 기도저항은 least squares fit 방식으로 구하였다<sup>20</sup>. 기록한 환기 및 호흡역학 지표들은 일회호흡량( $V_{Te}$ , mL), 분당호흡수(respiratory rate, RR; b/min), 흡기 호기비(I/E ratio), 총 흡기압(total inspiratory pressure, cm H<sub>2</sub>O), 고평부압(plateau airway pressure; Pplat, cm H<sub>2</sub>O), 최대 흡기유속(peak inspiratory flow, L/min), 흡기 시 기도저항(inspiratory airway resistance; Rins, cm H<sub>2</sub>O/s/L), 호기 시간 상수(expiratory time constant; RCe, s), 정적 유순도(mL/cm H<sub>2</sub>O) 등을 기록하였다.

4. 통계 분석

통계 분석은 SPSS for Windows version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였으며, 측정치는 평균 ±표준편차로 표시하였고 통계학적 결과는 p값이 0.05 미만인 경우 유의한 것으로 판단하였다. 군간의 비교는 Mann-Whitney U검정을 시행하였다. 상관성 분석은 Spearman's rank coefficient correlation을 이용하였다.

Table 1. Demographic, anthropometric, gas-exchange and clinical data in patients with normal lungs and acute lung injury

	Normal lungs	ALI	p-value
Subjects, No.	19	17	
Age, yr	66.8±8.3	62.4±13.2	NS
Male, No.	13	10	NS
PBW	62.7±8.2	59.9±8.3	NS
Gas exchange parameters			
pH	7.45±0.14	7.38±0.16	NS
PaO <sub>2</sub> , mm Hg	92.3±31.2	87.6±27.2	<0.01
PaCO <sub>2</sub> , mm Hg	38.2±7.8	43.5±6.1	NS
SaO <sub>2</sub> , %	98.1±2.3	97.6±1.1	NS
PaO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub> , mm Hg	375±112	197±57	<0.01
APACHE II score	23.2±11.2	27.7±10.3	NS
SOFA score	10.1±4.6	13.1±3.4	NS

Data are presented as mean±SD unless otherwise indicated, ALI: acute lung injury; NS: not significant; PBW: predicted body weight; APACHE: acute physiology and chronic health evaluation; SOFA: sequential organ failure assessment.

결 과

대상 환자군의 특성, 동맥혈 가스 검사 소견 및 임상적 중증도 등은 Table 1에 표시하였다. 급성 폐손상 환자군에서 중증도 점수가 약간 높았으며, 동맥혈 가스 분석상 이산화탄소 분압이 약간 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 1).

급성폐손상 환자군은 정상폐 환자군에 비해 PEEP이 유의하게 높았고 폐유순도는 유의하게 낮았다. 또한 최대 흡기압 및 고평부압이 유의하게 높았고 흡기유속이 높았으나 통계적 유의성은 없었다. 급성 폐 손상 환자군은 정상 폐 환자군에 비해 RCe가 유의하게 낮았고 그에 따라 분당호흡수는 유의하게 높았으며, 일회호흡량과 일회호흡량/예측체중 등이 유의하게 낮았다(Table 2).

기계환기 시 호기시간이 RCe의 3배 이상을 유지하는 것을 권장하고 있는데 본 결과에서는 호기시간/RCe 비가 정상 폐 환자군에서 3.6±1.4, 급성 폐 손상 환자군에서 3.2±1.1로 나타났다(Table 2).

전체 환자에서 분당호흡수는 RCe 및 흡기유속과 유의한 상관성이 있었다( $r_s=-0.40$ ;  $r_s=0.43$ ;  $p<0.05$ , re-

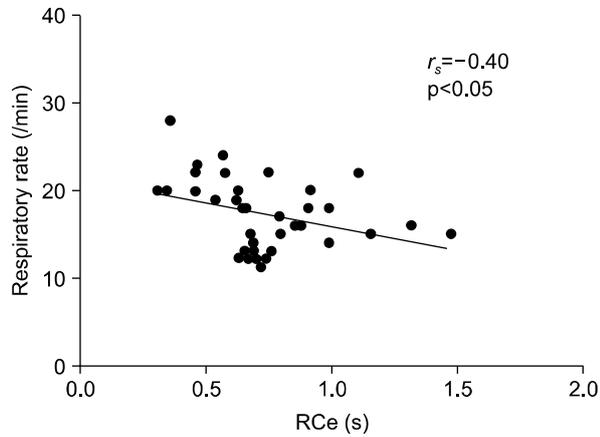
Table 2. Ventilatory settings, breathing pattern, and respiratory mechanics parameters in patients with normal lungs and acute lung injury

	Normal lungs	ALI	p-value
PEEP	5.2±2.3	11.3±3.4	<0.05
$V_{Te}$	570±120	395±98	<0.05
$V_{Te}$ /PBW, mL/kg	8.6±1.3	7.1±0.9	<0.05
RR, b/min	14.6±4.6	19.7±4.8	<0.05
I/E ratio	0.5±0.2	0.6±0.1	NS
Ppeak, cm H <sub>2</sub> O	20.3±6.4	27.6±6.6	<0.05
Pplat, cm H <sub>2</sub> O	16.8±6.1	23.6±8.0	<0.05
Cstat, mL/cm H <sub>2</sub> O	45.2±26.4	27±12.5	<0.05
RCe, s	0.89±0.39	0.54±0.31	<0.05
Rins, cm H <sub>2</sub> O/s/L	9.5±8.0	13.1±6.3	NS
Flow, L/min	41.3±10.1	43.6±5.7	NS
$T_e$ /RCe	3.6±1.4	3.2±1.1	NS
PEEPi, cm H <sub>2</sub> O	0.9±0.8	0.5±0.5	NS

Data are presented as mean±SD.

PEEP: positive end-expiratory pressure;  $V_{Te}$ : expiratory tidal volume; RR: respiratory rate; I/E: inspiratory to expiratory time; NS: not significant; Ppeak: peak inspiratory pressure; Pplat: plateau airway pressure; Cstat: static compliance; RCe: expiratory time constant; Rins: inspiratory resistance; Flow: peak inspiratory flow;  $T_e$ : expiratory time; PEEPi: intrinsic PEEP.

spectively) (Figure 1). 급성 폐 손상 환자군에서는 분당호흡수와 RCe ( $r_s = -0.76, p < 0.01$ ), 흡기유속과 분당호흡수 ( $r_s = 0.56, p < 0.05$ ) 및 RCe와 흡기유속 ( $r_s = -0.53, p$



**Figure 1.** Spearman's correlation analysis between expiratory time constant (RCe) and respiratory rate in all patients.

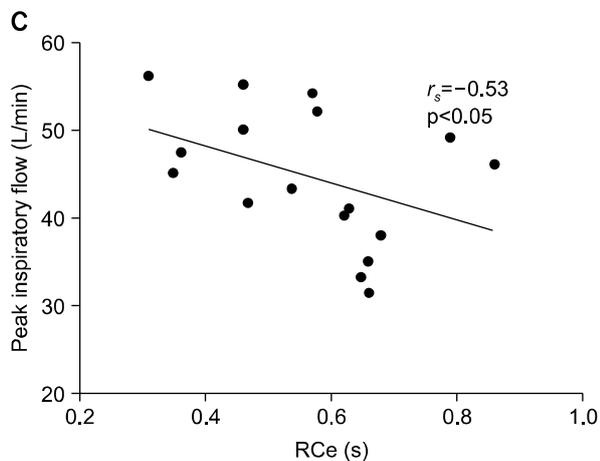
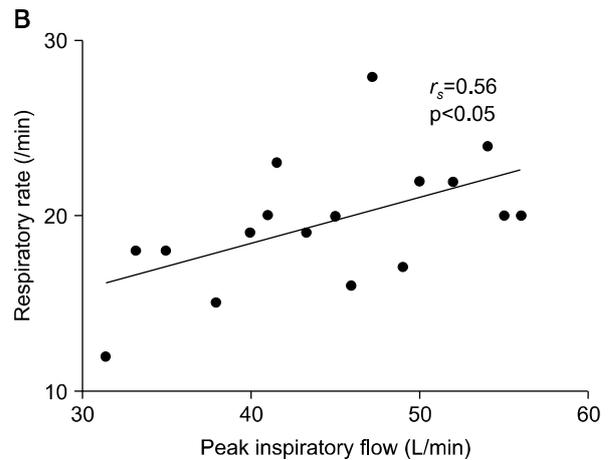
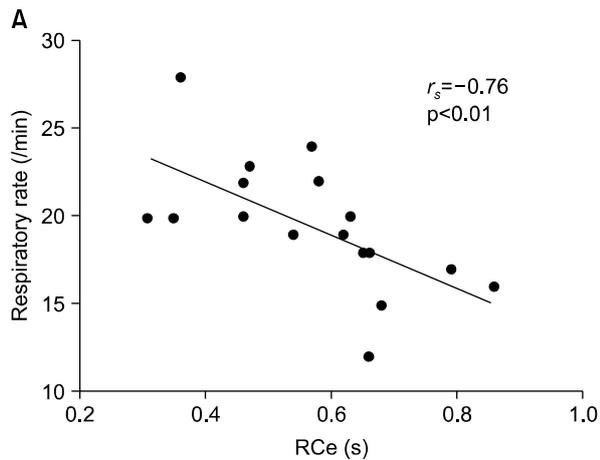
$< 0.05$ ) 간에 유의한 상관성을 보였다(Figure 2).

일회호흡량은 전체환자에서 분당호흡수 ( $r_s = -0.68, p < 0.01$ ) 및 RCe ( $r_s = 0.52, p < 0.01$ )와 상관성이 있었으나 급성 폐 손상 환자군에서는 다른 지표와 유의한 상관성을 보이지 않았다.

## 고 찰

본 연구의 결과 급성 폐 손상 환자에서 ASV의 적용 시에 정상 폐의 환자에 비하여 일회호흡량이 적고, 호흡수가 빠르다는 점을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과에서 ASV가 질환의 병태생리에 따른 호흡기계의 역학적 변화에 적절하게 대처하는 것으로 볼 수 있겠으며, 근자에 정설로서 권장되고 있는 급성호흡곤란증후군의 기계환기에서 폐 보호 전략의 관점과도 부합한다고 할 것이다<sup>11</sup>.

ASV에서 이러한 호흡지표를 결정하는 이론적 근거는 다음과 같은 Otis 공식에 기반을 두고 있다<sup>1</sup>.



**Figure 2.** Spearman's correlation analysis between expiratory time constant (RCe) and respiratory rate (A), peak inspiratory flow and respiratory rate (B), and RCe and peak inspiratory flow (C) in patients with acute lung injury.

$$f = \frac{\sqrt{1+2a \times RCe \times (MinVol - f \times Vd) / Vd} - 1}{a \times RCe}$$

이 공식에 의해 적정 호흡수  $f$ 를 구하는데  $a$ 는 상수이며 분당환기량(MinVol) 및 사강(Vd) 등은 이상체중에 의해 계산되므로 환자의 신체계측치에 따라 고정적인 값을 갖는다. 따라서 호흡수를 결정하는 인자는 호기시간 상수인 RCe가 되었는데 이는 저환과 유순도의 곱으로서 수동적 호기시간을 반영하는 지표이다. 제한성 환기장애의 경우 RCe가 감소하므로  $f$ 는 그에 따라 완만한 증가를 보이게 되며, 폐쇄성 환기장애의 경우에는 반대로 적정 호흡수  $f$ 가 감소하게 된다. 급성 폐손상에서는 이와 같은 원리에 따라 호흡수가 증가하고 그 결과 일회호흡량은 감소하게 되는데 이는 ARDSnet에서 권장하는 환기방식과 부합한다는 것이다<sup>11</sup>. 본 연구의 결과 급성 폐손상 환자에서 정상 폐보다 RCe가 유의하게 낮았으며, 그에 따라 호흡수는 높고, 일회호흡량은 낮게 나타났다. 실제로 본 연구에서 RCe가 분당호흡수와 유의한 역상관성을 보였는데 이는 Otis 공식이 유의하게 반영되고 있다는 것을 보여주는 결과이다. 분당호흡수와 흡기유속의 상관성은 적절한 흡기/호기 비율을 유지하기 위한 조절기능에 의한 결과라고 해석할 수 있겠으며, RCe와 흡기유속의 역상관성은 전술한 RCe와 분당호흡수 및 분당호흡수와 흡기유속 간의 순차적 상관성에 의한 결과일 것이며, 직접적인 상호조절기능에 의한 것은 아닌 것으로 생각된다.

이러한 결과들을 종합적으로 볼 때 ASV가 급성 폐 손상에서 현 기계환기 전략과 부합되는 양상으로 조절된다는 것을 알 수 있었지만 실제적인 일회호흡량의 값에 있어서는 다소 차이가 있었다. 본 연구에서는 급성 폐 손상 환자에서 일회호흡량이 7.1±0.9 mL/kg IBW로 나왔고 외국 의 한 보고에서도 7.6 mL/kg IBW로 나타나 ASV 적용 시에 ARDSnet에서 일반적으로 권장하는 6 mL/kg보다는 약간 높은 것으로 나타났다<sup>5</sup>. 실제로 급성 폐 손상에서 적절한 일회호흡량에 대해서는 아직 논란이 있다. ARDSnet에서 권장하는 6 mL/kg IBW가 세계적인 표준치로 공감대를 형성하여 널리 이용되고 있지만<sup>11,21,22</sup>, 이와 같이 고정된 값보다는 환자의 호흡기계의 역학적 상태나 고평부압 등을 감안하여 융통성 있게 결정해야 한다는 반론 또한 설득력 있게 주장되고 있다<sup>23-28</sup>. ARDSnet의 지침에 근거하여 급성 폐 손상에서 ASV 적용 시 일회호흡량이 ARDSnet 권장량보다 높아 폐 손상을 초래하므로 부적절하다는 평가가 있었으나<sup>12</sup>, 다른 보고에서는 ASV를 시행할 때 일회호흡량이 높아질 수 있지만 고평부압을 안정적

으로 유지하는데 있어서는 일회호흡량을 6 mL/kg로 고정된 기계환기보다 더 우월하다고 발표한 바 있다<sup>10</sup>. 본 연구에서도 일회호흡량은 ARDSnet 권장량보다 높았으나 고평부압이 30 cm H<sub>2</sub>O를 초과하는 예가 없이 전반적으로 비교적 낮은 수준을 잘 유지하는 것으로 나타났다. 상관성 분석에 있어서는 일회호흡량이 다른 호흡지표들과 관련성이 적었는데 이는 Otis 공식에 의해 직접 설정되는 주요 지표는 분당호흡수이며, 일회호흡량은 그에 따라 2차적으로 산출되어 설정되고 또한 호흡구동은 산출된 일회호흡량을 참조하여 압력조절 환기방식으로 하기 때문에 다른 지표들과 긴밀한 관련성이 나타나지 않은 것으로 생각된다.

급성 폐 손상에서 ASV를 적용 시 낮은 일회호흡량을 지향한다는 기본 개념에 있어서는 ARDSnet의 지침과 같은 취지를 가진다고 할 수 있겠으며, 그 동안 보고된 ARDS의 일회호흡량에 대한 대규모의 비교 연구는 대부분 6 mL/kg 대 12 mL/kg와 같이 큰 차이를 보이는 극단적인 비교가 주류를 이루었기 때문에 7~8 mL/kg 정도의 수준으로 나타나는 ASV시의 일회호흡량에 대한 임상적 평가에는 좀 더 많은 연구가 필요할 것이라고 생각된다<sup>11,22,29</sup>.

원활한 호흡을 보장하기 위해, 특히 내인성 호기말 양압(intrinsic PEEP)을 방지하도록 충분한 호기시간을 확보하기 위해 호기시간은 RCe의 3배 이상이 되도록 권장하고 있으며, ASV적용 호흡기는 이러한 기준을 유지하도록 조절되는 것으로 알려져 있다<sup>30</sup>. 본 연구의 결과 급성 폐손상 환자군에서 호기시간/RCe 비가 3.2±1.1로 비교적 적정수준을 유지하였으며, 1 cm H<sub>2</sub>O 이상의 내인성 호기말 양압은 1예에서만 관찰되었다. 전술한 바와 같이 RCe와 분당호흡수 및 흡기유속 간의 유의한 상관성을 보인 점에서 호흡수의 증가에 대처하여 흡기 유속 등을 자동적으로 상향 조정하여 적정 호기시간을 확보할 수 있도록 하는 제어기능이 효율적으로 작동한다는 사실을 알 수 있었다. 특히 급성 폐 손상 환자군에서 더 높고 유의한 상관성이 나타났다. 본 연구에서 급성 폐 손상 환자와 정상 폐보다 흡기 유속이 높았으나 통계적인 유의성은 없었다. 만약 급성 폐 손상 환자의 중증도가 높고 심한 폐 손상이 동반되거나 호흡역학적 지표들이 더 악화되는 경우에는 이러한 차이가 더 현저할 것이라고 예측된다. 한편 폐쇄성 환기 장애의 경우에는 호기말 양압이 더 호발하며, 단순히 호흡수와 시간뿐만 아니라 호기 기류감소 및 조기 기도폐쇄 여부 등이 반영이 되어야 하므로 좀 더 정교한 조절이 요구될 것이다. 실제로 폐쇄성 폐질환 환자에서 ASV를 적

용한 이전의 한 연구에서 평균 2.2 cm H<sub>2</sub>O 정도의 내인성 호기말 양압이 발생한 것으로 보고된 바 있다<sup>6</sup>. 본 연구의 대상군은 주로 제한성 환기장애를 가지는 급성 폐 손상 환자이므로 ASV의 흡기, 호기 시간 및 비율에 대한 적절한 조절 기능을 총체적으로 평가하기 위해서는 향후 폐쇄성 환기 장애가 있는 환자들을 포함한 더 많은 대상군에서 연구가 뒤따라야 할 것이다.

본 연구의 급성 폐 손상 환자에서 흡기유속은 평균 43.6 L/min으로 나타났는데 급성호흡곤란증후군의 기계 환기 치료 시 초기에 이보다 높은 흡기유속이 요구되는 경우가 있겠으나 이러한 경우 유속과 같은 단일 변수를 개별적으로 조절할 수 없다는 점이 ASV의 적용 시 단점이 될 수 있다. 이와 같이 개별적 환기변수의 조절에 개입할 수 없다는 점은 ASV와 같은 자동 조절 환기방식에서 사용의 편리성과는 이율배반적으로 발생할 수밖에 없는 근원적 제한점이라고 할 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 대상 환자수가 적기 때문에 다양한 세부적인 통계분석을 하기에는 유의성이 부족하였고, 둘째, 기계환기 초기에 비교적 단시간 내에 지표를 측정하였기 때문에 시간의 경과에 따른 이후의 변화 여부를 반영하지 못하였다는 점이며, 셋째, 정상 폐 환자에서 폐의 상태가 완전한 정상이라고 단언할 수는 없다는 점으로서, 예를 들면 정도의 폐부종이나 폐의 염증 반응 등이 존재할 수 있다는 점이며, 또한 환자군에서 임상적으로 진단되지는 않은 만성폐쇄성 폐질환 등의 기저 호흡기 질환이 있을 가능성이 있어 호흡 역학 등의 결과에 영향을 미칠 수 있었다는 점이다. 넷째는 ASV 고유의 역학적 특성을 보기 위하여 가능한 자발호흡을 배제하려고 노력하였지만 연구목적만으로 전 환자에서 근이완을 유도하지는 않았기 때문에 미세한 자발호흡이 환기 지표들에 영향을 미쳤을 가능성을 완전히 배제할 수는 없다는 점이다.

결론적으로 급성 폐손상 환자에서 ASV 방식을 적용했을 때 역학적 변화를 반영하여 적절한 방향으로 호흡지표들이 조절되어 유효한 기계환기 방식으로 나타났으며, ARDSnet의 권장치와는 약간의 차이를 보인 점 등에 대해서는 향후 더 많은 환자를 대상으로 검증이 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- Otis AB, Fenn WO, Rahn H. Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol* 1950;2:592-607.
- Brunner JX, Iotti GA. Adaptive support ventilation (ASV). *Minerva Anesthesiol* 2002;68:365-8.
- Campbell RS, Branson RD, Johannigman JA. Adaptive support ventilation. *Respir Care Clin N Am* 2001;7:425-40.
- Laubscher TP, Frutiger A, Fanconi S, Jutzi H, Brunner JX. Automatic selection of tidal volume, respiratory frequency and minute ventilation in intubated ICU patients as start up procedure for closed-loop controlled ventilation. *Int J Clin Monit Comput* 1994;11:19-30.
- Arnal JM, Wysocki M, Nafati C, Donati S, Granier I, Corno G, et al. Automatic selection of breathing pattern using adaptive support ventilation. *Intensive Care Med* 2008;34:75-81.
- Iotti GA, Polito A, Belliato M, Pasero D, Beduneau G, Wysocki M, et al. Adaptive support ventilation versus conventional ventilation for total ventilatory support in acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2010;36:1371-9.
- Petter AH, Chioleró RL, Cassina T, Chassot PG, Müller XM, Revelly JP. Automatic "respirator/weaning" with adaptive support ventilation: the effect on duration of endotracheal intubation and patient management. *Anesth Analg* 2003;97:1743-50.
- Burns KE, Lellouche F, Lessard MR. Automating the weaning process with advanced closed-loop systems. *Intensive Care Med* 2008;34:1757-65.
- Linton DM, Potgieter PD, Davis S, Fourie AT, Brunner JX, Laubscher TP. Automatic weaning from mechanical ventilation using an adaptive lung ventilation controller. *Chest* 1994;106:1843-50.
- Sulemanji D, Marchese A, Garbarini P, Wysocki M, Kacmarek RM. Adaptive support ventilation: an appropriate mechanical ventilation strategy for acute respiratory distress syndrome? *Anesthesiology* 2009;111:863-70.
- The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000;342:1301-8.
- Dongelmans DA, Schultz MJ. Adaptive support ventilation: an inappropriate mechanical ventilation strategy for acute respiratory distress syndrome? *Anesthesiology* 2010;112:1295; author reply 1295-6.
- Choi IS, Koh YS, Leem CM, Choi JE, Hong SB. A comparison of adaptive support ventilation (ASV) and conventional volume-controlled ventilation on respiratory mechanics in acute lung injury/ARDS. *Korean J Crit Care Med* 2009;24:59-63.

14. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet J, Falke K, Hudson L, et al. Report of the American-European Consensus conference on acute respiratory distress syndrome: definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. Consensus Committee. *J Crit Care* 1994;9:72-81.
15. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985;13:818-29.
16. Ferreira FL, Bota DP, Bross A, Mélot C, Vincent JL. Serial evaluation of the SOFA score to predict outcome in critically ill patients. *JAMA* 2001;286:1754-8.
17. Devine BJ. Gentamicin therapy. *Drug Intell Clin Pharm* 1974;8:650-5.
18. Slutsky AS. Consensus conference on mechanical ventilation--January 28-30, 1993 at Northbrook, Illinois, USA. Part 2. *Intensive Care Med* 1994;20:150-62.
19. Ramsay MA, Savege TM, Simpson BR, Goodwin R. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J* 1974;2:656-9.
20. Iotti GA, Braschi A, Brunner JX, Smits T, Olivei M, Palo A, et al. Respiratory mechanics by least squares fitting in mechanically ventilated patients: applications during paralysis and during pressure support ventilation. *Intensive Care Med* 1995;21:406-13.
21. Kallet RH, Jasmer RM, Pittet JF, Tang JF, Campbell AR, Dicker R, et al. Clinical implementation of the ARDS network protocol is associated with reduced hospital mortality compared with historical controls. *Crit Care Med* 2005;33:925-9.
22. Hager DN, Krishnan JA, Hayden DL, Brower RG; ARDS Clinical Trials Network. Tidal volume reduction in patients with acute lung injury when plateau pressures are not high. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:1241-5.
23. Gattinoni L, Vagginelli F, Chiumello D, Taccone P, Carlesso E. Physiologic rationale for ventilator setting in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. *Crit Care Med* 2003;31:S300-4.
24. Marini JJ, Gattinoni L. Ventilatory management of acute respiratory distress syndrome: a consensus of two. *Crit Care Med* 2004;32:250-5.
25. Gattinoni L, Pesenti A. The concept of "baby lung". *Intensive Care Med* 2005;31:776-84.
26. Kacmarek RM. Lung protection: the cost in some is increased work of breathing. Is it too high? *Respir Care* 2005;50:1614-6.
27. Deans KJ, Minneci PC, Cui X, Banks SM, Natanson C, Eichacker PQ. Mechanical ventilation in ARDS: one size does not fit all. *Crit Care Med* 2005;33:1141-3.
28. Jardin F. Tidal volume reduction in patients with acute lung injury when plateau pressures are not high. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:685-6; author reply 687.
29. Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, Schettino Gde P, Lorenzi Filho G, Kairalla RA, et al. Beneficial effects of the "open lung approach" with low distending pressures in acute respiratory distress syndrome. A prospective randomized study on mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1835-46.
30. Weiler N, Eberle B, Heinrichs W. Adaptive lung ventilation (ALV) during anesthesia for pulmonary surgery: automatic response to transitions to and from one-lung ventilation. *J Clin Monit Comput* 1998;14:245-52.