

□ 원 저 □

Auto-PEEP이 존재하는 환자에서 호흡 일에 대한 External PEEP의 효과

울산대학교 의과대학 내과학교실, 마취과학교실*

진 재 용 · 임 채 만 · 고 윤 석 · 박 평 환 · 최 종 무
이 상 도 · 김 우 성 · 김 동 순 · 김 원 동

= Abstract =

The Effect of External PEEP on Work of Breathing in Patients with Auto-PEEP

Jae Yong Chin, M.D., Chae Man Lim, M.D., Younsuck Koh, M.D.,
Pyung Whan Park, M.D.*, Jong Moo Choi, M.D.*, Sang Do Lee, M.D.,
Woo Sung Kim, M.D., Dong Soon Kim, M.D. and Won Dong Kim, M.D.

Department of Internal Medicine, Anesthesiology,
College of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea*

Background : Auto-PEEP which develops when expiratory lung emptying is not finished until the beginning of next inspiration is frequently found in patients on mechanical ventilation. Its presence imposes increased risk of barotrauma and hypotension, as well as increased work of breathing (WOB) by adding inspiratory threshold load and/or adversely affecting to inspiratory trigger sensitivity. The aim of this study is to evaluate the relationship of auto-PEEP with WOB and to evaluate the effect of PEEP applied by ventilator (external PEEP) on WOB in patients with auto-PEEP.

Method : 15 patients, who required mechanical ventilation for management of acute respiratory failure, were studied. First, the differences in WOB and other indices of respiratory mechanics were examined between 7 patients with auto-PEEP and 8 patients without auto-PEEP. Then, we applied the 3 cm H₂O of external PEEP to patients with auto-PEEP and evaluated its effects on lung mechanics as well as WOB. Indices of respiratory mechanics including tidal volume (V_T), respiratory rate, minute ventilation (V_E), peak inspiratory flow rate (PIFR), peak expiratory flow rate (PEFR), peak inspiratory pressure (PIP), T_I/T_{TOT}, auto-PEEP, dynamic compliance of lung (C_{dyn}), expiratory airway resistance (RAW_e), mean airway resistance (RAW_m), P_{0.1}, work of breathing performed by patient (WOB), and pressure-time product (PTP) were obtained by CP-100 Pulmonary Monitor (Bicore, USA). The values were expressed as mean ± SEM (standard error of mean).

Results :

1) Comparison of WOB and other indices of respiratory mechanics in patients with and without auto-PEEP :

There was significant increase in WOB (1.71 ± 0.24 vs 0.50 ± 0.19 J/L, $p=0.007$), PTP (317 ± 70 vs 98 ± 36 cm H₂O · sec/min, $p=0.023$), RAWe (35.6 ± 5.7 vs 18.2 ± 2.3 cm H₂O/L/sec, $p=0.023$), RAWm (28.8 ± 2.5 vs 11.9 ± 2.0 cm H₂O/L/sec, $p=0.001$) and P_{0.1} (6.2 ± 1.0 vs 2.9 ± 0.6 cm H₂O, $p=0.021$) in patients with auto-PEEP compared to patients without auto-PEEP. The differences of other indices including V_T, PEFR, V_E and T_I/T_{TOT} showed no significance.

2) Effect of 3 cm H₂O external PEEP on respiratory mechanics in patients with auto-PEEP :

When 3 cm H₂O of external PEEP was applied, there were significant decrease in WOB (1.71 ± 0.24 vs 1.20 ± 0.21 J/L, $p=0.021$) and PTP (317 ± 70 vs 231 ± 55 cm H₂O · sec/min, $p=0.038$). RAWm showed a tendency to decrease (28.8 ± 2.5 vs 23.9 ± 2.1 cm H₂O, $p=0.051$). But PIP was increased with application of 3 cm H₂O of external PEEP (16 ± 2 vs 22 ± 3 cm H₂O, $p=0.008$). V_T, V_E, PEFR, T_I/T_{TOT} and C_{dyn} did not change significantly.

Conclusion : The presence of auto-PEEP in mechanically ventilated patients was accompanied with increased WOB performed by patient, and this WOB was decreased by 3 cm H₂O of externally applied PEEP. But, with 3 cm H₂O of external PEEP, increased PIP was noted, implying the importance of close monitoring of the airway pressure during application of external PEEP.

Key Words : auto-PEEP, intrinsic PEEP, work of breathing, positive end-expiratory pressures

서 론

정상 호흡시 호기말에 폐포압은 대기압과 같아 지나 기도폐쇄가 있거나 호기시간이 부적절하여 다음번 흡기를 할 때까지 완전히 호기를 이루지 못할 경우 폐포압이 호기말에 대기압보다 높은 상태를 보일 수 있으며, 이를 자생적 호기말 양압(auto-PEEP) 또는 내인성 호기말 양압(intrinsic positive end-expiratory pressure, intrinsic PEEP)이라 한다. Auto-PEEP은 특히 기계호흡을 받고 있는 환자에서 흔히 나타나며¹⁾, auto-PEEP의 존재는 혈액학적 장애를 일으킬 뿐만 아니라²⁾, 호흡 일(work of breathing)을 증가시켜 호흡근의 피로를 초래하고 기계호흡 이탈 실패의 중요한 원인이 되는 것으로 알려져 있다³⁻⁵⁾.

한편, 만성폐쇄성폐질환 환자에서 auto-PEEP이 존재할 경우 external PEEP (이하 PEEP_e)을 적용하면, PEEP_e이 auto-PEEP에 의해 증가된 호흡 일을 줄일 수 있어서, 폐쇄성 기도질환의 급성악화시 혹은 기계호흡으로부터의 이탈시 환자의 자발 호흡을 보조하기 위한 요법으로 제시되고 있다⁶⁻⁸⁾.

이에 저자 등은 기계호흡중인 환자에서 auto-PEEP의 존재가 호흡 일에 미치는 영향을 알아보고, PEEP_e의 사용이 auto-PEEP에 의해 증가된 호흡 일을 줄이는지 여부와 혈액학적 상태에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

방 법

대상은 1994년 8월부터 1995년 4월까지 서울 중앙병원 중환자실에 입원하여 호흡부전으로 기계 호흡 중 활력지수 및 동맥혈가스 검사가 안정상태를 유지하고 있는 총 15명의 환자들이며, 이들의 임상적 특성과 기계호흡 양식은 Table 1과 같다. 15명 중 7명은 1분간 측정되는 동안 계속적으로 3cm H₂O 이상의 auto-PEEP을 보인 환자들이었으며 (auto-PEEP군), 8명은 auto-PEEP이 존재하지 않은 환자들이었다 (무auto-PEEP군). Auto-PEEP군과 무auto-PEEP군의 연령(각각, 70.2 ± 4.3 , 69.0 ± 4.2 세, $p=0.844$), 성별(각각, 남:여=5:2, 남:여=4:4, $p=0.131$), 기계호흡양식(각각, CPAP: SIMV=5:4, CPAP:SIMV=3:5, $p=1.000$) 및 압력

Table 1. Patient Characteristics and Mode of Mechanical Ventilation

Patient	No.	Name	Age(yr)	Sex	Underlying disease	Mode	PS	auto-PEEP(cmH ₂ O)
1		SDS	80	M	COPD, pneumonia	CPAP	15	-
2		YCS	68	M	peritonitis, sepsis	SIMV	0	-
3		CGS	75	F	COPD, pneumonia	CPAP	0	-
4		CSS	77	F	COPD, pneumonia	SIMV	15	-
5		YOS	64	F	peritonitis, sepsis	SIMV	15	-
6		KYJ	43	F	pneumonia	SIMV	15	-
7		SEC	67	M	pyogenic spondylitis, sepsis	CPAP	15	-
8		LHS	78	M	lung ca., pneumonia	SIMV	0	-
9		OHS1	87	F	pulmonary infarction	SIMV	0	7.8
		OHS2				CPAP	0	12.7
10		KPS	81	F	COPD	SIMV	0	5.3
11		LSD1	65	M	COPD	SIMV	20	4.8
12		LSD2				SIMV	30	3.0
		KSH	61	M	lung ca., pneumonia	SIMV	15	6.7
13		JWB	54	M	pneumonia	CPAP	15	5.9
14		KYI	55	M	lung ca.	CPAP	20	7.0
15		CSW	77	M	COPD	CPAP	15	10.0

COPD : chronic obstructive pulmonary disease, ca. : cancer

CPAP : continuous positive airway pressure, SIMV : synchronized intermittent mechanical ventilation,

PS : pressure support(cm H₂O), PEEP : positive end-expiratory pressure(cm H₂O)

Table 2. Basic Ventilatory Pattern in Patients with and without auto-PEEP

	auto-PEEP		P value
	present	absent	
auto-PEEP(cmH ₂ O)	7.0±1.0	0.0±0.0	0.0003
PS (cmH ₂ O)	12.8±3.5	9.4±2.7	0.489
V _T (L)	0.36±0.05	0.35±0.05	0.464
RR	24±2	27±2	0.36
V _E (L/min)	8.2±1.3	9.6±0.8	0.136
PIFR (L/sec)	0.74±0.04	0.85±0.10	0.500
PEFR (L/sec)	0.51±0.04	0.48±0.03	0.596
PIP (cmH ₂ O)	16±2	14±2	0.248
T _I /T _{TOT}	0.33±0.03	0.37±0.02	0.335

PEEP : positive end-expiratory pressure,

PS: pressure support,

V_T: tidal volume, RR: respiratory rate,

V_E: minute ventilation,

PIFR: peak inspiratory flow rate,

PEFR: peak expiratory flow rate,

PIP: peak inspiratory pressure,

T_I/T_{TOT}: fractional inspiratory time

보조수준(pressure support level)(각각, 12.8±3.5, 9.4±2.7 cm H₂O, p=0.489) 등은 유의한 차이가 없었다(Table 2).

모든 대상에서 늑막강 압(pleural pressure)의 변동을 측정하기 위해 식도 카테타(SmartCath catheter, Bicore, USA)를 식도의 하부 1/3위치에 두도록 삽입하고, 기도압과 유량의 측정을 위해 flow transducer(VarFlex flow transducer, Bicore, USA)를 기관내 관의 끝과 인공호흡기의 Y-connector 사이에 위치시킨 뒤, 이들을 Bicore사의 CP-100 Pulmonary Monitor에 연결하였다. 호흡 역학적 지표들은 동 monitor에 내장된 software에 의해 구하여졌으며⁹⁾, 각각의 지표는 1분간 측정된 값의 평균값으로 하였다.

호흡역학적 지표로는 상시호흡량(tidal volume, 이하 V_T), 분당호흡수, 분당환기량(minute ventilation, 이하 V_E), 최대흡기유량(peak inspiratory flow rate, 이하 PIFR), 최대호기유량(peak expiratory flow rate, 이하 PEFR), 최고흡기압(peak

inspiratory pressure, 이하 PIP), T_i/T_{TOT} (fractional inspiratory time), auto-PEEP, 동적탄성 (dynamic compliance, 이하 Cdyn), 호기 기도저항 (expiratory airway resistance, 이하 RAWe), 평균 기도저항 (mean airway resistance, 이하 RAWm), $P_{0.1}$ (airway occlusion pressure at 0.1 sec), 환자에 의해 수행된 호흡 일 (work of breathing performed by patient, 이하 호흡 일), pressure-time product (이하 PTP) 등이었다.

Auto-PEEP의 존재가 확인된 환자들에 대해 혈압과 심박수를 측정하고, PEEP을 일반적으로 최초 설정시 선택되는 값인 3 cm H₂O로 일률적으로 적용하고 5 분의 안정기 후 호흡역학적 지표들을 역시 1 분간 측정하고 혈압과 심박수를 측정하였다.

통계적 분석 : 측정치들은 평균치±표준오차로 표시하였으며, auto-PEEP이 존재하는 군과 없는 군 간의 각종 측정치의 차이는 Mann-Whitney u test로 검정하였고, external PEEP을 적용한 후의 변화에 대해서는 Wilcoxon test for matched pairs로 검정하였다. two-tailed p값이 0.05미만인 경우 통계적 유의성을 인정하였다.

결 과

1. Auto-PEEP군과 무auto-PEEP군에서의 호흡 일 및 기타 호흡역학적 지표의 비교

호흡 일은 auto-PEEP군이 무auto-PEEP군에 비해 유의하게 높았으며(각각, 1.71 ± 0.73 , 0.50 ± 0.19 J/L, $p=0.007$), PTP도 auto-PEEP군이 무auto-PEEP군에 비해 유의하게 높았다(각각, 317 ± 70 , 98 ± 36 cm H₂O · sec/min, $p=0.023$)(Table 3). RAWe, RAWm 및 $P_{0.1}$ 은 모두 auto-PEEP군이 무auto-PEEP군에 비해 유의하게 높았고, Cdyn은 양군 간에 유의한 차이가 없었다(Table 3).

Table 3. Indices of Respiratory Mechanics in Patients with and without Auto-PEEP

	auto-PEEP		P value
	present	absent	
Cdyn(mL/cmH ₂ O)	36.4 ± 3.2	56.3 ± 11.8	0.268
RAWm(cmH ₂ O/L/sec)	35.6 ± 5.7	18.2 ± 2.3	0.023
RAWm(cmH ₂ O/L/sec)	28.8 ± 2.5	11.9 ± 2.0	0.001
$P_{0.1}$ (cmH ₂ O)	6.2 ± 1.0	2.9 ± 0.6	0.021
WOB(J/L)	0.71 ± 0.24	0.50 ± 0.19	0.007
PTP(cmH ₂ O·sec/min)	317 ± 70	98 ± 36	0.023

PEEP : positive end-expiratory pressure,
Cdyn : dynamic compliance of lung,
RAWe : expiratory airway resistance,
RAWm : mean airway resistance,
 $P_{0.1}$: airway occlusion pressure at 0.1sec,
WOB: work of breathing,
PTP: pressure-time product

2. Auto-PEEP이 존재하는 환자에서 PEEP (3 cm H₂O)의 효과

1) Auto-PEEP군에서 3 cm H₂O의 PEEP을 적용하였을 때 pulmonary monitor 상에 측정된 호기말 기도압(end-expiratory airway pressure)은 3.4 ± 0.3 cm H₂O였다. PEEP을 적용하기 전후의 분당 호흡수, V_T , V_E , PIFR, PEFR 및 Cdyn은 유의한 차이를 보이지 않았으나, PEEP을 가하였을 때 호흡 일(각각, 1.71 ± 0.24 , 1.20 ± 0.21 J/L, $p=0.021$)과 PTP(각각, 317 ± 70 , 231 ± 55 cm H₂O · sec/min, $p=0.038$)는 기지치로부터 각각 30%와 27%의 유의한 감소를 보였다(Table 4). RAWm은 external PEEP의 적용 전후 각각 28.8 ± 2.5 및 23.9 ± 2.1 cm H₂O/L/sec로 감소되는 경향을 보였으며($p=0.051$), $P_{0.1}$ 은 각각 6.1 ± 1.0 및 4.7 ± 0.6 cm H₂O로 유의한 감소를 보였다($p=0.036$)(Table 4). 한편, PIP는 external PEEP의 적용 전후 각각 16 ± 2 및 22 ± 3 cm H₂O로 유의한 증가를 보였다 ($p=0.008$)(Table 4).

2) Auto-PEEP군에서 PEEPtotal (PEEP + auto-PEEP)은 3 cm H₂O의 PEEP 적용 전 7.0

± 1.0 cm H₂O과 적용 후 7.0 ± 0.9 cm H₂O로 유의한 차이가 없었다. 이중 3 예에서 PEEPe 적용 후의 PEEPtotal이 적용 전 auto-PEEP값보다 적었으며, 이러한 환자에서는 그렇지 않은 환자에 비해 PEEPe를 적용하였을 경우 호흡 일(각각, -51 ± 1.8 , -19.5 ± 9.6 %, $p=0.071$) 과 RAWm(각각, -36.3 ± 8.8 , -7.9 ± 12.0 %, $p=0.121$)의 감소율이 더 큰 경향을 보였다.

Table 4. Changes of Indices of Respiratory Mechanics after application of 3cm H₂O of External PEEP in Patients with Auto-PEEP.

	external-PEEP		P value
	before	after	
V _T (L)	0.36 ± 0.05	0.41 ± 0.03	0.161
RR	24 ± 2	22 ± 2	0.094
V _E (L/min)	8.2 ± 1.3	7.7 ± 1.2	0.124
PIFR(L/sec)	0.74 ± 0.04	0.75 ± 0.05	0.735
PEFR(L/sec)	0.51 ± 0.04	0.50 ± 0.04	0.673
T _I /T _{TOT}	0.33 ± 0.03	0.33 ± 0.02	0.515
PEEPtotal(cmH ₂ O)	7.0 ± 1.0	7.0 ± 0.9	0.953
PIP(cmH ₂ O)	16 ± 2	22 ± 3	0.008
P _{0.1} (cmH ₂ O)	6.2 ± 1.0	4.7 ± 0.6	0.036
RAWm(cmH ₂ O/L/sec)	28.8 ± 2.5	23.9 ± 2.1	0.051
WOB(J/L)	1.71 ± 0.24	1.20 ± 0.2	0.021
PTP(cmH ₂ O-sec/min)	317 ± 70	231 ± 55	0.038

PEEP: positive end-expiratory pressure,

V_T: tidal volume, RR: respiratory rate,

V_E: minute ventilation,

PIFR: peak inspiratory flow rate,

PEFR: peak expiratory flow rate,

T_I/T_{TOT}: fractional inspiratory time,

PIP: peak inspiratory pressure,

P_{0.1}: airway occlusion pressure at 0.1 sec,

RAWm: mean airway resistance,

WOB: work of breathing,

PTP: pressure-time product

고 찰

본 연구는 기계호흡 중인 환자에서 auto-PEEP의 존재가 환자에 의해 수행되는 호흡 일을 증가

시키고 중추성 호흡추진력(central respiratory drive)을 상승시키며, 또한 PEEPe (3 cm H₂O)이 이러한 부정적인 영향을 감소시킬 수 있음을 보여 주었다.

Auto-PEEP 혹은 intrinsic PEEP은 호기말에 폐용적이 전체 호흡기계의 이완용적(relaxation volume of total respiratory system)으로 돌아오지 않음으로써, 호흡기계의 탄성반동압(elastic recoil pressure of respiratory system)이 0으로 되지 않고, 호기말 폐포압(alveolar pressure)도 호흡기계의 탄성반동압 수치만큼 양의 값을 보이는 것을 말한다. Auto-PEEP이 발생하는 원인은 폐과도팽창(pulmonary hyperinflation) 혹은 공기폐색(air trapping)을 일으키는 요인들로서 크게 정적 조건과 동적 조건으로 대별될 수 있다⁸⁾. 전자에는 폐의 탄성반동의 감소와 폐용적과 상관없이 항상 존재하는 기도폐쇄 등이 있으며, 후자는 동적 폐과도팽창(dynamic pulmonary hyperinflation)을 일으키는 요인들로서 1) 증가된 유량저항(flow resistance) 특히 호기시 기류제한(expiratory flow limitation)이 있는 경우, 2) 호기 지속시간이 짧은 경우, 3) 심한 천식의 예처럼 흡기 후 흡식근의 활동성이 증가되어 호기가 저해되는 경우 등을 들 수 있다. 일반적으로 급성호흡부전으로 인공호흡을 하고 있는 환자에서 동적 폐과도팽창을 일으키는 가장 중요한 기전은 호기시 기류제한을 동반하는 유량저항의 증가이다⁸⁾. 본 연구에서도 auto-PEEP이 있는 환자군에서 증가된 기도저항을 보여 기도저항의 증가와 auto-PEEP 발생과의 관련성을 시사하였다.

Auto-PEEP의 생리적 의미는 이것이 밖에서 인위적으로 주어지는 PEEP과 같이 심박출량을 감소시켜 저혈압을 유발할 수 있으며²⁾, 호흡역학상 흡기유발역치부하(inspiratory threshold load)로 작용하여 흡기시 호흡 일을 증가시킨다는 것이다. Auto-PEEP이 흡기시 호흡 일을 증가시키는 이유는 호기말에 흡기를 유발하기 위해서는 흡식근이 흉곽내에 음압을 발생시켜 자발호흡시에는 중심기도압(central airway pressure)이 대기압보다 낮아

지고 기계호흡시에는 중심기도압이 인공호흡기의 유발민감도의 설정값(set value of trigger sensitivity)보다 낮게 되어야 하는데, auto-PEEP이 존재하는 경우 흡식근의 수축에 의한 음압생성이 auto-PEEP값 만큼 더 증가하여야만 흡기가 유발되기 때문이다. 이미 폐의 과도팽창으로 흡식근의 능력이 저하된 만성폐쇄성폐질환 환자에게 이는 더욱 큰 부담이 되며, 기계호흡시 이탈 실패의 요인이 된다³⁻⁵⁾.

Auto-PEEP이 존재하는 환자에게 PEEP을 적용한다면 auto-PEEP으로 인해 증가된 흉곽내 음압생성의 요구가 PEEP값만큼 감소되어 환자의 흡기시 호흡 일을 줄일 수 있음이 제시되고 있는데, 보조호흡(assisted ventilation)^{6,10)}이나 압력보조호흡(pressure support ventilation)¹¹⁾을 하고 있는 상태에서, 기계호흡으로부터의 이탈시에¹²⁾, 그리고 mask를 사용한 보조호흡시¹³⁾ 등에서 PEEP 사용의 유용성이 보고되었다. 최근 Rossi 등¹⁴⁾은 만성폐쇄성폐질환 환자에서 auto-PEEP의 50%에 해당하는 PEEP을 사용시 환기관류분포를 호전시켰으므로써, 호흡역학이나 혈역학적인 변동없이 PaO₂ 호전시키고 PaCO₂를 감소시킨다고 보고하였다. 이러한 보고들은 만성폐쇄성폐질환 환자에서 PEEP의 사용은 폐의 과도팽창을 조장하므로 사용하지 않는 것이 좋다는 기존의 전통적 관점^{15,16)}과 대조된다. 최근에도 PEEP의 유용성에 대한 부정적인 견해로서, Georgopoulos 등¹⁷⁾은 PEEP의 효과는 환자의 호흡역학적 특성에 따라 다르기 때문에 예측 불허라고 하였고, Tuxen 등¹⁸⁾은 PEEP값을 증가시키에 따라 공기폐색이 감소하는 정도에 비해 PEEP에 의한 FRC의 증가효과가 커서 흡기말 폐용적의 증가와 최고폐포압의 상승 및 혈역학적 장애를 초래할 수 있다고 하였다. 이러한 PEEP의 효과에 대한 논란과 관련하여, 호기시 기류제한이 PEEP의 효과의 향방을 결정하는 중요한 요소로 제시되었다¹⁰⁾.

호기시 기류제한은 호기시 동적으로 기도가 압박(dynamic airway compression)되어 호기 노력에도 불구하고 더이상 유량이 증가되지 않는 것을

말하는데, 보통 노력성 호기시 관찰되나, 폐실질의 손상으로 소기도를 지탱하는 폐포중격이 소실되어 탄성반동압이 감소되고 폐의 과도팽창으로 호기시 흉막강 압이 항상 양의 값을 유지하는 만성폐쇄성폐질환 환자에서는 상시호흡(tidal respiration)에서도 발생할 수 있다¹⁹⁾. PEEP의 적용시 가장 문제가 되는 부가적인 폐과도팽창은 PEEP이 호기 유량에 대해 역압(back pressure)으로 작용할 때 발생된다. 그런데 동적 기도압박이 없을 때에는 호기 추진압력(expiratory driving pressure)은 폐포압과 기도개구부압력(airway opening pressure)의 차이값이므로 PEEP의 적용시 호기 추진압력이 감소되어 동일한 상시호흡량을 유지하기 위해서는 그만큼 폐포압이 증가되어야 하고 따라서 부가적인 폐의 과도팽창이 초래된다. 동적 기도압박이 있을 때에는 호기 추진압력은 폐포와 임계폐쇄지점(site of critical closure)의 압력 차이이며 PEEP의 적용은 폐포압, 호기유량 및 폐과도팽창에 영향을 미치지 못한다^{10,20,21)}. 동적 기도압박이 있는 경우라 하더라도 PEEP값이 임계폐쇄압력(critical closing pressure)보다 커진다면 기도압박이 없는 경우처럼 부가적인 폐의 과도팽창이 초래된다. 이것은 폭포의 비유 (analogy of waterfall)^{22,20)}로 잘 설명되는데, 임계폐쇄지점보다 하류측으로부터의 압력(PEEP)을 증가시킬때, 하류측의 압력이 임계폐쇄압력(height of the waterfall)에 도달될 때까지는 임계폐쇄지점보다 상류의 유량과 압력 (auto-PEEP)은 일정하게 유지된다. 그러나 하류측의 압력이 임계폐쇄압력보다 크게 될 때 상류측의 압력은 즉각적으로 상승하게 되고 폐의 과도팽창이 유발된다. 실험적으로도 auto-PEEP이 존재하는 만성폐쇄성폐질환 환자에서 PEEP을 작은 값에서 큰 값으로 차츰 증가시킬 때 호기시 기류제한이 있는 환자는 어떤 임계 PEEP값을 초과했을 시에 호기말 폐용적의 증가를 보이기 시작한 반면, 호기시 기류제한이 없는 경우에는 처음부터 호기말 폐용적의 증가를 보이기 시작한다^{23,24)}. 또한 호기시 기류제한을 시사하는 특징적인 유량-용적 관계(flow-volume relationship)를 보

는 환자에서 위와 같이 PEEP을 사용하였을 경우, 작은 값의 PEEP에서는 유량용적곡선(flow-volume curve)의 모양이 PEEP을 사용하지 않았을 때와 같이 유지되다가 어떤 과도한 값의 PEEP에 의해서 변형되는 것이 관찰된다²⁴⁾.

결국 Tuxen등이 제기한 PEEP의 위험한 요소는 기류제한이 없는 환자에게 PEEP을 적용하였거나 기류제한이 있더라도 임계폐쇄압력이(따라서 auto-PEEP이) 작은 환자에게 과도한 PEEP을 사용함으로써 비롯된다고 할 수 있다²¹⁾. Ranieri 등²⁴⁾은 호기시 기류제한이 있는 환자에서 PEEP의 적용시 폐의 부가적인 과도팽창 및 혈액학적 장애는 PEEP값이 auto-PEEP값의 85% 이상될 때 발생함을 관찰하였다.

본 연구에서는 대상환자의 기저질환이 매우 다양하며 호기시 기류제한의 존재 여부를 확인해 보지 못했다. 3 cm H₂O의 PEEP을 가했을 때 최고흡기압이 증가된 것이 관찰되었는데, 이는 Rossi 등¹⁴⁾과 Ranieri 등²²⁾의 연구에서 각각 평균 5.0 cm H₂O와 10 cm H₂O의 PEEP을 가했을 때까지 최고흡기압의 유의한 변화가 없었던 것과는 대조되며, Georgopoulos 등¹⁷⁾이나 Tuxen 등¹⁸⁾의 결과에 가깝다. 이는, Marini²¹⁾가 PEEP은 무분별하게 사용되어서는 안되며 호기시 기류제한에 의한 호흡 일의 증가와 호흡곤란이 문제가 되는 경우에 한하여 사용되어야 한다고 강조한 것을 상기하게 하는 소견이다. P_{0.1}의 감소를 보인 것은 Smith 등¹⁰⁾의 연구와 부합되는 것으로서 호흡 일의 감소로 인해 중추성 호흡추진력의 요구도 감소되었음을 시사한다. 3 cm H₂O의 PEEP을 적용하였을 때 일부 환자들에서 PEEP-total이 오히려 감소되었으며, 이런 환자에서는 PEEP-total이 작아지지 않은 환자보다 호흡 일과 RAWm이 더 많이 감소되는 경향을 보였다. 이는 auto-PEEP이 있는 환자의 일부에서 적절한 PEEP의 사용이 폐의 과도팽창 자체를 완화시킬 가능성을 보여주는 소견이며, 이에 대해서 앞으로 좀더 연구되어야 할 것이다.

결론적으로, 기계호흡을 하고 있는 환자에서

auto-PEEP의 존재는 환자에 의해 수행되는 호흡 일의 증가와 중추성 호흡추진력의 증가를 동반하며 이는 인공호흡기에 의해 주어지는 PEEP (3 cm H₂O)에 의해 감소되었다. 그러나 PEEP을 사용하였을 때 최고흡기압의 증가를 보여 폐의 과도팽창이 심화될 가능성을 보여 주었다. 따라서 기계호흡시 auto-PEEP이 있는 환자에게 호흡 일을 줄이기 위해 PEEP을 사용할 때 환자 선별의 중요성이 강조되며 사용 중 기도압등에 대한 주의깊은 감시가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

연구배경 : Auto-PEEP 혹은 intrinsic PEEP은 호기말에 폐용적이 전체 호흡기계의 이완 용적으로 돌아오지 않음으로써, 증가된 호흡기계의 탄성 반도압만큼 호기말 폐포내압(alveolar pressure)이 양의 값을 보이는 것을 말한다. Auto-PEEP이 존재하는 만성폐쇄성폐질환 환자에게 external PEEP을 적용하면 환자의 호흡 일을 줄일 수 있어서, 질환의 급성악화시 혹은 기계호흡으로부터 이탈시 환자의 자발호흡을 보조하기 위한 요법으로 제시되고 있다. 이에 기계호흡중인 환자에서 auto-PEEP의 존재가 호흡 일에 미치는 영향을 알아보고, external PEEP의 사용이 auto-PEEP에 의해 증가된 호흡 일을 줄이는지를 알아보기 위해 본 연구를 시행하였다.

방법 : 호흡부전으로 기계호흡을 하고 있는 환자 15명을 대상으로 연구가 이루어 졌으며, 이들 중 7명에서 auto-PEEP이 관찰되었고(auto-PPEP 군), 8명에서 auto-PEEP이 존재하지 않았다(무 auto-PEEP 군). 양군 간의 환자의 호흡역학적 지표의 차이를 조사하였으며, auto-PEEP이 존재하는 환자들에 대해 3 cm H₂O의 external PEEP을 적용한 뒤 호흡역학적 지표들의 변화를 조사하였다. 호흡역학적 지표는 상시호흡량(tidal volume, 이하 V_T), 분당 호흡수, 분당환기량 (minute ventilation 이하 V_E), 최고흡기유량(peak inspiratory flow rate, 이하 PIFR), 최고호기유량(peak expira-

tory flow rate, 이하 PEFR), 최고흡기압(peak inspiratory pressure, 이하 PIP), T_i/T_{TOT} , auto-PEEP, 폐 동적탄성 (dynamic compliance of lung, 이하 Cdyn), 호기 기도저항(expiratory airway resistance, 이하 RAWe), 평균 기도저항(mean airway resistance, 이하 RAWm), $P_{0.1}$, 환자에 의해 수행되는 호흡 일 (work of breathing performed by patient, 이하 호흡 일), pressure-time product(이하 PTP)등이었다.

결 과

1) Auto-PEEP군과 무auto-PEEP군에서의 호흡 일 및 기타 호흡역학적 지표의 비교 호흡 일, PTP, RAWe, RAWm 및 $P_{0.1}$ 은 무auto-PEEP군보다 auto-PEEP군에서 유의하게 높았다. V_T , V_E , PEFR, T_i/T_{TOT} , Cdyn 등은 양군 사이에 유의한 차이가 없었다.

2) Auto-PEEP이 존재하는 환자에서 external PEEP(3 cm H₂O)의 효과 3cm H₂O의 external PEEP을 적용하였을 때 분당 호흡수, V_T , V_E , PIFR, PEFR, Cdyn 및 PEEPtotal(external PEEP + auto-PEEP)은 유의한 차이를 보이지 않았으나, 호흡 일(-30%), PTP(-27%) 및 $P_{0.1}$ 이 유의하게 감소하였다. RAWm 는 감소하는 경향을 보였다 ($p=0.051$). 한편, PIP가 3 cm H₂O의 external PEEP을 가하였을 때 기저치에 비해 유의한 증가를 보였다 ($p=0.008$).

결론 : 기계호흡을 하고 있는 환자에서 auto-PEEP의 존재는 환자에 의해 수행되는 호흡 일의 증가와 중추성 호흡추진력의 증가를 동반하며, 이는 인공호흡기에 의해 주어지는 external PEEP(3 cm H₂O)에 의해 감소되었다. 그러나, external PEEP을 사용하였을 때 최고흡기압의 증가를 보여 폐의 과도팽창이 심화될 가능성을 보여 주었다. 따라서, 기계호흡시 auto-PEEP이 있는 환자에게 호흡 일을 줄이기 위해 external PEEP을 사용할 때 환자 선별의 중요성이 강조되며 사용중 기도압 등에 대한 주의깊은 감시가 필요할 것으로 사료된

다.

중심어 : 자생적 호기말양압, 내인성 호기말양압, 호흡 일, 호기말양압

참 고 문 헌

- 1) Bernasconi M, Ploysongsang Y, Gottfried SB, Milic-Emili J, Rossi A: Respiratory compliance and resistance in mechanically ventilated patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 14:547,1988
- 2) Pepe PE, Marini JJ: Occult positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated patients with airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 126:166,1982
- 3) Marini JJ, Rodriguez RM, Lamb VJ: The inspiratory workload of patient-initiated mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 134:902,1986
- 4) Marini JJ, Smith TC, Lamb VJ: External work output and force generation during synchronized intermittent mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 138:1169,1988
- 5) Benito S, Vallverdu E, Mancebo J: Which patients need a weaning technique?, In Marini JJ, Roussos C(Eds) *Ventilatory failure*, p410, Berlin Heidelberg New York, Springer, 1991
- 6) Rossi A, Brandolese R, Milic-Emili J, Gottfried SB: The role of PEEP in patients with chronic obstructive pulmonary disease during assisted ventilation. *Eur Respir J* 3:318,1990
- 7) Gottfried SB: The role of PEEP in mechanically ventilated COPD patients, In Marini JJ, Roussos CH(Eds) *Ventilatory failure:update in intensive care and emergency medicine* 15,p392, Berlin, Springer-Verlag, 1991
- 8) Rossi A, Polese G, Brandi G, Conti G: The intrinsic positive end expiratory pressure (PEEPi): Physiology, implications, measurement, and treatment. *Intensive Care Med* 21:522,1995
- 9) Blanch P, Banner M: A new respiratory monitor that enables accurate measurement of work of

- breathing: a validation study. *Respir Care* **39**:897,1994
- 10) Smith TC, Marini JJ: Impact of PEEP on lung mechanics and work of breathing in severe airflow obstruction. *J Appl Physiol* **65**:1488,1988
 - 11) Calderini E, Petroff BJ, Gottfried SB: Continuous positive airway pressure(CPAP) improves the efficacy of pressure support(PS) ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Am Rev Respir Dis* **139**:A155,1989
 - 12) Petrof BJ, Legare M, Goldberg P, Milic-Emili J, Gottfried SB: Continuous positive airway pressure reduces work of breathing and dyspnea during weaning from mechanical ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* **141**:281,1990
 - 13) Appendini L, Patessio A, Zanaboni S, Carone M, Gukov B, Donner CF, Rossi A: Physiologic effect of positive end-expiratory pressure and mask pressure support during exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* **149**:1069,1994
 - 14) Rossi A, Santos C, Roca J, Torres A, Felez MA, Rodriguez-Roisin R: Effect of PEEP on VA/Q in ventilated patients with chronic airflow obstruction. *Am J Respir Crit Care Med* **149**:1077,1994
 - 15) Ashbaugh DG, Petty TL: Positive end-expiratory pressure;physiology, indications and contraindications. *J Thorac Cardivasc Surg* **65**:165,1973
 - 16) Petty TL: The use, abuse and mystique of positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis* **138**:475,1988
 - 17) Georgopoulos D, Giannouli E, Patakas D: Effect of extrinsic positive end-expiratory pressure on mechanically ventilated patients with chronic obstructive pulmonary disease and dynamic hyperinflation. *Intensive Care Med* **19**:197,1993
 - 18) Tuxen DV: Detrimental effect of positive end-expiratory pressure during controlled mechanical ventilation of patients with severe airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* **96**:449,1989
 - 19) Haluszka J, Chartrand DA, Grassino AE, Milic-Emili J: intrinsic PEEP and arterial CO₂ in stable patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* **141**:1194,1990
 - 20) Pride NB, Permutt S, Riley RL, Bromberger Barnea B: Determinants of maximal expiratory flow from the lungs. *J Appl Physiol* **123**:646,1967
 - 21) Marini JJ: Editorial; Should PEEP be used in airflow obstruction? *Am Rev Respir Dis* **140**:1, 1989
 - 22) Tobin MJ, Lodato RF: Editorial;PEEP, auto-PEEP, and waterfalls. *Chest* **196**:49,1989
 - 23) Gay PC, Rodarte JR, Hubmayr RD: The Effects of positive expiratory pressure on isovolume flow and dynamic hyperinflation in patients receiving mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* **139**:621,1989
 - 24) Ranieri M, Giuliani R, Cinnella G, Pesce C, Brienza N, Ippolito EL, Pomo V, Fiore T, Stewart B, Gottfried SB, Brieza A: Physiologic effects of positive end-expiratory pressure in patients with chronic obstructive pulmonary disease during acute ventilatory failure and controlled mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* **147**:5,1993