

자가 호기말 양압(auto-PEEP)을 보인 환자에서 원인질환에 따른 PEEP적용 효과의 차이

한양대학교 의과대학 내과학교실, ¹울산대학교 의과대학, 서울아산병원 호흡기내과학교실
손장원, 고윤석¹

Different PEEP Effects on Lung Volume According to Underlying Lung Disease in Patients with Auto-PEEP

Jang Won Sohn, M.D., Younsuck Koh, M.D.¹

Department of Internal Medicine, Hanyang University College of Medicine, ¹Division of Pulmonary and Critical Care Medicine, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine

Background : The effect of PEEP(ed note: Define PEEP.) on the lung volume in patients with auto-PEEP during mechanical ventilation is not even. In patients with an expiratory limitation such as COPD, a PEEP of 85% from an auto-PEEP can be used with minimal increase in the lung volume. However, the application of PEEP to patients without an expiratory flow limitation can result in progressive lung. This study was carried out to evaluate the different PEEP effects on the lung volume according to the different pulmonary diseases.

Methods : Sixteen patients who presented with auto-PEEP during mechanical ventilation were enrolled in this study. These patients were divided into 3 groups: asthma, COPD and tuberculosis sequela (patients with severe cicatricial fibrosis as a result of previous tuberculosis and compensatory emphysema). A PEEP of 25, 50, 75 and 100% of the auto-PEEP was applied, and the lung volume increments were estimated using the trapped lung volume.

Results : In the asthma group, the trapped lung volume was not increased at a PEEP of 25 and 50% of the auto-PEEP. This group showed a significant lung volume increment from a 75% PEEP. In the COPD group, the lung volume was increased only at 100% PEEP. In the tuberculosis sequela group, the lung volume was increased progressively from low PEEP levels. However, a significant increment of the lung volume was noted only at 100% PEEP.

Conclusion : The effects of the applied PEEP on the lung volume were different depending on the underlying lung pathology. The level of the applied PEEP >50% of the auto-PEEP might increase the trapped lung volume in patients with asthma. (*Tuberc Respir Dis* 2004; 57:567-572)

Key words : Auto-PEEP, Applied PEEP, Trapped lung volume, Asthma, COPD

서 론

인공 호흡기 치료 중 자가 호기말 양압 (auto-positive end-expiratory pressure, auto-PEEP)을 보이는 환자에게 PEEP(positive end-expiratory pressure)을 적용할 경우에 폐 용적에 미치는 영향은 호흡역학 상태에 따라 다양하여 예측이 쉽지않다^{1,2}. 과거에는 auto-

PEEP보다 낮은 수준의 PEEP을 적용하면 auto-PEEP이 일종의 압력 장벽으로 작용하여 폐 용적에 영향을 미치지 않는다고 알려져 있었다³. 그러나 auto-PEEP의 발생 기전에 따라 폐 용적의 변화에 미치는 영향이 달라짐이 밝혀졌는데, 동적 호기류 제한(dynamic expiratory flow limitation)이 있는 경우에는 auto-PEEP 수준에 근접하는 PEEP을 적용하여도 추가적인 폐 과팽창이 초래되지 않으나, 동적 호기류 제한이 없이 auto-PEEP이 발생한 경우(기도의 고정적인 폐쇄, 인공환기방식의 잘못된 설정, 인공기도의 저항증가 등)에는 낮은 수준의 PEEP 적용에도 폐 용적이 증가한다고 알려져 있다⁴⁻⁶.

인공호흡기 치료 중 auto-PEEP을 보이는 환자는 COPD(만성 폐쇄성 폐질환, chronic obstructive pulmo-

Address for correspondence : Younsuck Koh M.D.
Division of Pulmonary and Critical Care Medicine,
Asan Medical Center, University of Ulsan College
of Medicine, 388-1 Poongnap-dong, Songpa-gu,
Seoul, 138-736, Korea
Phone : 02-3010-3134 Fax : 02-3010-4709
E-mail : yskoh@amc.seoul.kr
Received : Oct. 13, 2004.
Accepted : Nov. 23, 2004.

nary disease)나 천식과 같이 기도 폐쇄를 가진 환자가 대부분이며, 폐 용적의 변화에 대한 이들 기저 질환에 따른 PEEP의 영향이 다르다는 것이 많이 알려져 있다. 호기 시에 소기도가 동적 압박을 받아 동적 기류제한이 발생하는 COPD 환자에서는 auto-PEEP 수치의 85%에 달하는 PEEP을 적용해도 폐 용적의 변화가 없으나, 천식환자에서는 낮은 PEEP 적용에도 폐 용적이 증가 할 수 있다^{1,2,7}.

그러나, 실제 임상에서는 COPD의 급성 악화 시에 동적 기류 제한 이외의 다른 폐쇄 인자가 동시에 있을 수 있으며, COPD나 천식으로 진단이 되어도 급성 악화로 인공호흡기 치료 중에는 전형적인 질병 형태와 다를 수도 있다. 이에 저자들은 인공호흡기 치료 중 auto-PEEP을 보인 환자를 대상으로 임상 진단에 따라 질환을 분류하고 PEEP적용에 따른 폐 용적 변화에 차이가 있는지 보고자 하였다.

대상 및 방법

호흡 부진으로 서울 아산병원 내과계 중환자실에 입원하여 인공호흡기 치료를 받는 환자 중, 5 cmH₂O 이상의 auto-PEEP을 보인 환자 16명을 대상으로 하였다. 환자는 모두 양와위 자세를 유지하였고, 용적 조절환기(volume controlled ventilation)를 받았으며, 근 이완제(vecuronium, 0.1 - 0.2 mg/Kg/hr)와 안정제(midazolam, 0.1 - 0.2 mg/Kg)를 투여하여 자발 호흡이 없었다. 인공호흡기 설정에 의한 auto-PEEP 발생을 배제하기 위해 1회 호흡량(상시량, tidal volume)과 분당 호흡수를 허용 가능한 수준에서 최소로 유지하였고, I:E 비율도 1:3 이상으로 설정하였다. 인공호흡기는 Servo 900C(Siemense Elema AB, Sweden)과 PB-7200(Mallinckrodt Inc., USA)을 사용하였다. Auto-PEEP의 측정은 인공호흡기에 부착된 측정 장비를 이용하여 호기말 호기관 폐쇄법(end-expiratory port occlusion method)으로 3회 측정치의 평균으로 구하였다. 환자의 호흡역학과 폐 용적의 변화는 CP-100 pulmonary monitor(BiCor, Irvine, USA)를 이용하여 측정하였다. 폐 용적의 변화를 보는 지표는 포획 가스 용적(trapped lung volume)으로 비교하였다. 자

발호흡이 없는 상태로 30초 동안의 호기를 지속하여 측정된 총 호기 용적에서 흡기 된 상시량을 뺀 값을 포획 가스 용적, 즉 과 팽창된 폐 용적으로 정의하고 3회 측정치의 평균을 구하였다². 환자는 과거의 병력과 임상 증상, 과거에 시행 한 폐기능 검사 소견 및 흉부 방사선 소견을 기준으로 천식 환자군, COPD 군, 결핵성 변화(tuberculous destroyed lung group)군 등 3개의 환자 군으로 분류하였다. 대상 환자 16명 중 14명은 외래에서 장기 치료를 받아왔던 환자들이고 2명은 응급실을 통해 처음 입원한 환자였다. 외래 환자 중 만성적인 호흡곤란과 폐기능 검사에서 폐쇄성 폐 질환 소견을 보이고 기관지 확장 효과 (bronchodilator response) 음성인 환자는 COPD로 분류하였다. 천식 환자는 증상과 신체검진상 변화가 심하고 폐기능 검사에서 기관지 확장 효과가 양성이거나 반복 검사한 폐기능 검사에서 1초 강제 호기량(FEV1)의 변화가 15% 이상인 경우로 하였다. 결핵성 변화 군은 과거에 결핵의 후유증으로 폐야의 3분의 1이상에서 광범위한 폐 섬유화 및 폐 실질의 파괴와 남은 폐의 보상성 폐 기종 변화를 보인 환자로 정의하였다. 외래 치료를 받아오던 환자는 분류에 문제가 없었다. 응급실을 통해 입원한 환자 중 1명은 평소에 호흡곤란이 없어 치료 없이 지냈으며 수년 전 천식발작 병력이 있었고 여행 중 갑자기 발생한 호흡곤란 및 천명음이 있어 천식으로 분류하였고, 다른 1명은 40갑년의 흡연력과 평소의 호흡곤란, 상기도 감염 후 악화된 증상 및 흉부 방사선 소견으로 COPD로 분류하였다.

각 환자에게 auto-PEEP 수준의 25%, 50%, 75%, 100%에 해당하는 PEEP을 적용한 뒤(applied PEEP), 각 단계마다 포획가스 용적을 측정하였다.

각 환자 군의 PEEP 수준에 따른 폐 용적의 변화는 paired-t test와 ANOVA (analysis of variance) test를 이용하였고, 각 환자 군간의 비교는 unpaired t-test를 이용하였다. P 값이 0.05 미만일 경우에 통계적 유의성이 있다고 판정하였다.

결 과

대상환자는 남자 9명, 여자 7명 이었고, 연령은 63.2

Table 1. Clinical characteristics and respiratory mechanics of asthma, Tb destroyed lung and COPD group.

Asthma group					
Patinet No.	Age/sex (year)	Auto-PEEP (cmH ₂ O)	Trapped vol. (ml)	Compliance (ml/cmH ₂ O)	Resistance (cmH ₂ O/L/sec)
1	74 / F	10	229	66.7	45.3
2	60 / F	11	370	30	26.7
3	80 / F	6.5	211	27	28.5
4	74 / F	11	396	35.8	38.3
5	76 / F	6.5	182	25.8	22.9
Mean ± SD		9.0 ± 2.32	277.6 ± 98.10	37.1 ± 17.01	32.34 ± 9.21
Tb destroyed lung group					
Patinet No.	Age/sex (year)	Auto-PEEP (cmH ₂ O)	Trapped vol. (ml)	Compliance (ml/cmH ₂ O)	Resistance (cmH ₂ O/L/sec)
1	74 / F	8	300	30	19.1
2	60 / F	6	220	48.2	40
3	80 / F	11	165	15.4	46.7
4	74 / F	10	429	33.3	35.7
5	76 / F	12	150	20	16.5
Mean ± SD		9.4 ± 2.41	252.8 ± 114.7	29.4 ± 12.78	27.6 ± 10.19
T COPD group					
Patinet No.	Age/sex (year)	Auto-PEEP (cmH ₂ O)	Trapped vol. (ml)	Compliance (ml/cmH ₂ O)	Resistance (cmH ₂ O/L/sec)
1	64 / M	10	397	33.3	15.6
2	71 / M	8	390	55	9.7
3	74 / M	8	505	65.8	15
4	61 / M	8	610	68	16.3
5	71 / M	11	572	51.7	10
6	57 / M	17	650	40.8	20
Mean ± SD		10.3 ± 3.50	520.7 ± 109.5*	52.4 ± 13.64**	14.4 ± 3.96**

* : p<0.01 compared to other group

** : p<0.05 compared to other group

± 13.1세 였다. 천식 환자군 5명, COPD 군 6명, 결핵성 변화군 5명이었다.(Table 1)

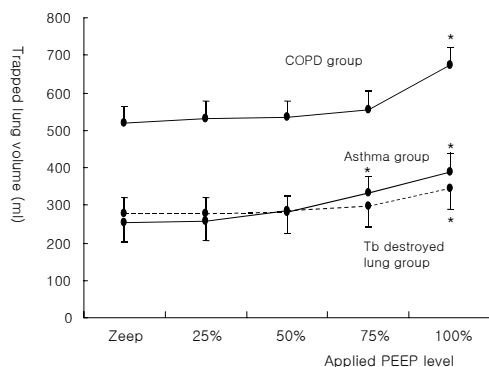
포획가스 용적은 천식 환자군 277.6 ± 98.10 ml, COPD군 520.8 ± 109.50 ml, 결핵성 변화군 252.8 ± 114.79 ml로 COPD 군의 포획가스 용적이 높았다 (p<0.01).

auto-PEEP 수치의 25%, 50%, 75%, 100%의 PEEP을 각각 적용한 후 측정한 포획가스 용적은 천식 환자군에서 277.0 ± 100.97 ml, 280.0 ± 103.26 ml, 331.2 ± 103.65 ml (p<0.001), 390.8 ± 112.79 ml (p<0.001)로 75% PEEP 적용부터 폐 용적이 증가하였다. COPD 군은 531.2 ± 114.93 ml, 533.7 ± 115.80 ml, 556.2 ± 116.97 ml, 672.2 ± 130.04 ml (p<0.001)로 100% PEEP 적용 시에 폐 용적이 증가하였다. 결핵성 변화군에

서는 256.2 ± 111.31 ml, 285.2 ± 131.59 ml, 298.4 ± 125.31 ml, 344.8 ± 123.04 ml (p<0.001)로 PEEP 적용 초기부터 폐 용적이 서서히 증가 하였으나 증가 폭이 크지 않아, 100% PEEP 적용 시에만 통계적으로 의미 있는 변화를 나타내었다(Fig. 1,2). 각 환자군 간의 정적 탄성(static compliance)은 COPD 군에서 높았으며, 흡기 기도저항도 COPD 군에서 낮았다.(Table 2)

고 찰

본 연구에서는 COPD 환자에서 PEEP을 적용할 경우에 auto-PEEP 수치의 75%에 해당하는 PEEP 까지는 폐 용적에 변화가 없었고 천식 환자 군에서는 50%



*: $p < 0.001$ compared to zEEP

Figure 1. Changes in the trapped lung volume by PEEP increment. In the asthma group, a significant lung volume increment was recognized from 75 and 100% PEEP. In the COPD and Tb destroyed lung group, the lung volume was increased only at 100% PEEP.

ZEEP: zero end-expiratory pressure

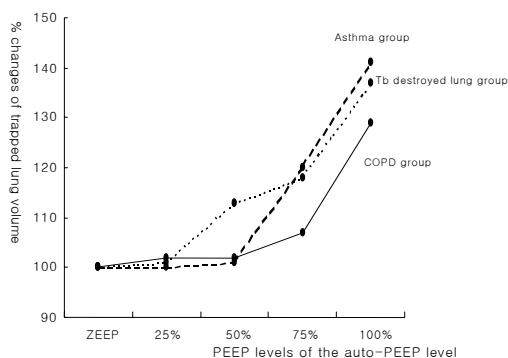


Figure 2. Percentage changes in the trapped lung volume compared with the lung volume at ZEEP.

PEEP까지는 변화가 없었으나 75% PEEP부터 폐 용적의 증가를 보였다. 결핵성 변화 군은 PEEP 적용의 초기부터 폐 용적이 서서히 증가하였으나 유의한 폐 용적의 증가는 100% PEEP 적용 시에만 나타났다. Auto-PEEP을 보인 환자에게 PEEP을 적용하는 가장 큰 이유는 auto-PEEP에 의해 부가된 흡기 유발압력을 PEEP을 적용하여 상쇄하는 것이다. 따라서 실제 PEEP을 적용하는 것은 조절환기(control mode ventilation) 단계보다는 이탈기(weaning mode ventilation) 더 유용하다⁸. 그러나 이탈기의 환자는 자발 호흡이 있어 호흡역학이 수시로 변하며, auto-PEEP 측정에 식도

내압 측정을 위한 장비가 추가적으로 필요하여, PEEP 적용의 영향에 대한 연구는 주로 조절환기 상태에서 이루어져 왔다^{1,7,9-12}. Auto-PEEP 현상이 처음 알려졌을 때에는 auto-PEEP을 하나의 폭포와 같은 압력 장벽으로 생각하였으며, auto-PEEP보다 낮은 수준의 PEEP은 이 압력 장벽을 넘지 못하여 장벽의 상류, 즉 폐 실질에 영향을 미치지 못하고 폐 용적에도 변화를 주지 못한다고 생각하였다³. 따라서 auto-PEEP 보다 낮은 수준의 PEEP은 안전하게 적용할 수 있다고 예상하였다. Ranieri 등은 COPD 환자를 대상으로 한 연구에서 auto-PEEP 수치의 85%에 해당하는 PEEP까지는 폐 용적의 변화 없이 적용할 수 있음을 보고하였다¹. 그러나 COPD 이외의 환자를 대상으로 한 연구에서는 다른 결과를 보여주어, 위의 가정을 모든 환자에게 일률적으로 적용할 수 없음이 알려져 있다⁹. Tuxen은 천식환자를 대상으로 한 연구에서, 5 cmH₂O 이상의 PEEP은 폐 용적의 증가를 가져와 안전하지 않다고 하였으며, Georgopoulos 등은 auto-PEEP이 있는 환자에서 PEEP 적용의 효과를 정확히 예측하기 어렵다고 하였다^{2,10}. 본 연구에서도, 기존 연구 결과에 합당하게 COPD 환자에서는 75% PEEP 적용까지는 폐 용적의 증가가 없었고 천식 환자에서는 75% PEEP 적용에도 상당한 폐 용적의 증가를 보였다. 또한 천식 환자의 auto-PEEP 수준을 정할 때 주의해야 할 점은, 천식 환자의 기도 폐쇄는 가역성이 있어 기도 폐쇄의 정도가 수시로 변할 수 있으며, 이에 따라서 auto-PEEP 수치도 수시로 변할 수 있으므로 자주 측정하여야 한다는 점이다.

COPD(emphysema) 환자에서 auto-PEEP이 발생하는 기전은 폐 실질의 염증성 파괴로 인해서 소기도를 방사상으로 지지해 주는 탄성 반동(elastic recoil)이 소실되고 호기 동안에 소기도에 가해지는 압력에 의해 동적 기류 제한(dynamic expiratory flow limitation)이 발생하기 때문이다^{7,13}. COPD 환자에서 흡기 기도 저항보다 호기 기도저항이 더 크다는 사실은 잘 알려져 있다. 동적 기류제한의 의해 발생한 auto-PEEP은 소기도에 가해지는 압력의 변화와 연관이 있으므로, auto-PEEP보다 낮은 압력(PEEP)을 적용하면 동적 기류제한을 일으킨 압력을 상쇄할 때까지 폐 용적에

요 약

영향을 미치지 않으며, 폐 용적의 증가도 일어나지 않는다. 그러나 고정된 기도 저항의 증가나 짧은 호기시간으로 인해 발생한 auto-PEEP에서는 외부에서 적용한 PEEP 이 추가 호기저항으로 작용하여 낮은 PEEP에서도 폐 용적이 점차 증가할 위험이 있다⁴. 결국, PEEP 적용의 안정성은 호기 시에 동적 기류 제한이 존재하는가에 달려있다. 동적 기류제한의 존재를 확인하는 방법이 몇 가지 소개되어 있는데, 기본적인 개념은 동적 폐쇄가 일어나는 부위의 상부나 하부에 압력 변화를 주어 호기류(expiratory flow)의 변화가 있는지 보는 것이다. 동적 기류 제한이 있으면 압력 변화에 맞추어 동적인 폐쇄 정도가 같이 변하고 결과적으로 최종 호기류는 변화가 없다^{14,15}. 동적 기류 제한이 없으면 압력 변화가 기류 변화에 그대로 반영되어 호기류가 변하게 된다. 즉, 상부 기도에 음압을 가하면 호기류 증가가 있고, 양압을 가하면 호기류가 감소하게 된다. 최근에는 인공 호흡기 자체에 기류 용적 곡선을 측정하는 장치가 달려있는 기종이 많으니 이를 이용하여 동적 호기류 제한이 있는지 확인 한 후 PEEP을 적용하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

본 연구에서 하나의 환자 군으로 따로 분류한 결핵성 변화 군 (Tb destroyed lung group)은 과거 결핵에 의해 폐 실질에 광범위한 염증성 파괴와 섬유화를 동반한 보상성 폐기종을 보이는 환자들로, 실제 국내 임상에서는 흔히 접하고, 증상도 만성적인 호흡곤란과 기도 폐쇄 소견이 있어 주로 COPD로 분류했던 환자이다. 그러나 이들 환자는 전형적인 COPD 환자와는 다른 호흡역학을 가지고 있을 것으로 예상되나 외국의 연구에서는 이러한 환자를 대상으로 한 경우가 없어 본 연구에서는 COPD에 포함시키지 않고 따로 분류하였다. 이들은 전형적인 COPD에 비해, 폐 과팽창 정도가 낮았고, 정적 탄성과 흡기 기도 저항도 다른 양상을 보여 주었다. PEEP 적용의 효과도 낮은 PEEP부터 폐 용적이 서서히 증가하여 COPD와는 다른 양상을 보였다. 그러나 이들 환자군의 호흡역학이 일정하지 않고 환자 수도 적어 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

배 경 :

인공 호흡기 치료 중 auto-PEEP을 보이는 환자에게 PEEP을 적용할 경우에 폐 용적에 미치는 영향은 일정하지 않다. COPD와 같이 동적 호기류 제한이 있는 경우에 auto-PEEP 수치의 85%에 해당하는 PEEP까지는 안전하게 적용할 수 있으나, 동적 호기류 제한이 없으면 낮은 PEEP에서도 폐 용적의 증가가 나타난다. 이에 저자들은 auto-PEEP이 있는 환자에서 임상진단에 의한 질환별로 PEEP적용의 효과에 차이가 있는지 보고자 하였다.

대상 및 방법 :

인공 호흡 중 auto-PEEP을 보인 환자 16명을 대상으로 병력, 임상 증상 및 흉부방사선 소견을 기준으로 천식, COPD, 결핵성 변화군 등 3가지 환자 군으로 분류한 뒤 각각 auto-PEEP 수치의 25, 50, 75, 100%에 해당하는 PEEP을 적용하고 포획 가스용적을 측정하여 폐 용적의 증가를 비교하였다.

결 과 :

천식 환자 군에서는 75% PEEP부터 폐 용적의 증가가 의미 있게 나타났다. COPD 군에서는 100% PEEP에서 폐 용적이 증가 하였다. 결핵성 변화 군에서는 낮은 PEEP에서도 폐 용적이 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 의미 있는 증가는 100% PEEP에서만 나타났다.

결 론 :

Auto-PEEP을 보이는 환자에서 폐 용적에 대한 PEEP의 효과는 폐의 병리 상태에 따라 달랐다. 천식 환자 군에서는 auto-PEEP 수치의 50%이상에 해당하는 PEEP 적용은 포획 가스 용적의 증가를 가져올 수 있다.

참 고 문 헌

1. Ranieri VM, Giuliani R, Cinnella G, Pesce C, Brienza N, Ippolito EL, et al. 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* 1993;147:5-13
2. Tuxen DV. Detrimental effects of positive end-expiratory pressure during controlled mechanical ventilation of patients with severe airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1989;140:5-9.
3. Tobin MJ, Lodato RF. PEEP, auto-PEEP and waterfall. *Chest* 1989;96:449-51.
4. Marini JJ. Should PEEP be used in airflow obstruction? *Am Rev Respir Dis* 1989;140:1-3.
5. Armaganidis A, Stavrakaki-Kallergi K, Koutsoukou A, Lymberis A, Milic-Emili J, Roussos C. Intrinsic positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated patients with and without tidal expiratory flow limitation. *Crit Care Med* 2000;28:3837-42.
6. Rossi A, Polese G, Brandi G, Conti G. The intrinsic positive end-expiratory pressure (PEEPi). *Intensive Care Med* 1995;21:522-36.
7. Smith TC, Marini JJ. Impact of PEEP on lung mechanics and work of breathing in severe airflow obstruction. *J Appl Physiol* 1998;65:1488-99.
8. 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* 1990;3:818-22.
9. Fernandez Mondejar E, Vaquez-Mata J, Navarrete Navaro P, Rivera Fernandez R, Torres Ruiz JM, et al. Increase in lung volume originated by extrinsic PEEP in patients with auto-PEEP. The role of static lung compliance. *Intensive Care Med* 1992;18:269-73.
10. Georgopoulos D, Giannouli E, Patakas D. Effects of extrinsic positive end-expiratory pressure on mechanically ventilated patients with chronic obstructive pulmonary disease and dynamic hyperinflation. *Intensive Care Med* 1993;19:197-203.
11. Gay PC, Rodarte JR, Hubmayr RD. The effects of positive expiratory pressure on iso-volume flow and dynamic hyperinflation in patients receiving mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1989;139:621-6.
12. Rossi A, Santos C, Roca J, Torres A, Felez MA, Rodriguez-Roisin R. Effects of intrinsic PEEP on VA/Q mismatching in ventilated patients with chronic airflow obstruction. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:1077-84.
13. Kimball WR, Leith DE, Robins AG. Dynamic hyperinflation and ventilator dependence in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1982;126:991-5.
14. Valta P, Corbeil C, Lavoie A, Campodonico R, Koulouris N, Chasse M, et al. Detection of expiratory flow limitation during mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150:1311-7.
15. Ninane V, Leduc D, Kafi SA, Nasser M, Houa M, Sergysels R. Detection of expiratory flow limitation by manual compression of the abdominal wall. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:1326-30.