

□ 원 저 □

기계 호흡 중 불안정한 호흡역학을
보인 환자에서 압력조절용적조정양식
(Pressure-regulated Volume Control Mode)의 효용

울산대학교 의과대학 서울 중앙병원 내과학 교실, 경상대학교 의과대학** 및 한양대학교 의과대학 내과학 교실*

손장원*, 고윤석, 임채만, 심태선, 이종덕**, 이상도, 김우성, 김동순, 김원동

= Abstract =

The Usefulness of Pressure-regulated Volume Control(PRVC) Mode in
Mechanically Ventilated Patients with Unstable Respiratory Mechanics

Jang Won Sohn, M.D.,* Younsuck Koh, M.D., Chae-Man Lim, M.D.,
Jong Deog Lee, M.D.,** Tae Sun Shim, M.D., Sang Do Lee, M.D., Woo Sung Kim, M.D.,
Dong Soon Kim, M.D., Won Dong Kim, M.D.

*Division of Pulmonary and Critical Care Medicine, Department of Internal Medicine,
Asan Medical Center, School of Medicine, University of Ulsan, Department of Internal Medicine,
Gyeong Sang National University** and Hanyang University*, Seoul, Korea*

Background : Since the late 1960s, mechanical ventilation has been accomplished primarily using volume controlled ventilation(VCV). While VCV allows a set tidal volume to be guaranteed, VCV could bring about excessive airway pressures that may lead to barotrauma in the patients with acute lung injury. With the increment of knowledge related to ventilator-induced lung injury, pressure controlled ventilation(PCV) has been frequently applied to these patients. But, PCV has a disadvantage of variable tidal volume delivery as pulmonary impedance changes. Since the concept of combining the positive attributes of VCV and PCV(dual control ventilation, DCV) was described firstly in 1992, a few DCV modes were introduced. Pressure-regulated volume control(PRVC) mode, a kind of DCV, is pressure-limited, time-cycled ventilation that uses tidal volume as a feedback control for continuously adjusting the pressure limit. However, no clinical studies were published on the efficacy of PRVC until now. This investigation studied the efficacy of PRVC in the patients with unstable respiratory mechanics.

Methods : The subjects were 8 mechanically ventilated patients(M : F=6 : 2, 56±26 years) who showed unstable respiratory mechanics, which was defined by the coefficients of variation of peak inspiratory pressure for

15 minutes greater than 10% under VCV, or the coefficients of variation of tidal volume greater than 10% under PCV. The study was consisted of 3 modes application with VCV, PCV and PRVC for 15 minutes by random order. To obtain same tidal volume, inspiratory pressure setting was adjusted in PCV. Respiratory parameters were measured by pulmonary monitor(CP-100 pulmonary monitor, Bicore, Irvine, CA, USA).

Results : 1) Mean tidal volumes(V_T) in each mode were not different(VCV, $431 \pm 102\text{ml}$; PCV, $417 \pm 99\text{ml}$; PRVC, $414 \pm 97\text{ml}$)

2) The coefficient of variation(CV) of V_T were $5.2 \pm 3.9\%$ in VCV, $15.2 \pm 7.5\%$ in PCV and $19.3 \pm 10.0\%$ in PRVC. The CV of V_T in PCV and PRVC were significantly greater than that in VCV($p < 0.01$).

3) Mean peak inspiratory pressure(PIP) in VCV($31.0 \pm 6.9\text{cm H}_2\text{O}$) was higher than PIP in PCV($26.0 \pm 6.5\text{cm H}_2\text{O}$) or PRVC($27.0 \pm 6.4\text{cm H}_2\text{O}$)($p < 0.05$).

4) The CV of PIP were $13.9 \pm 3.7\%$ in VCV, $4.9 \pm 2.6\%$ in PVC and $12.2 \pm 7.0\%$ in PRVC. The CV of PIP in VCV and PRVC were greater than that in PCV($p < 0.01$).

Conclusions : Because of wide fluctuations of V_T and PIP, PRVC mode did not seem to have advantages compared to VCV or PCV in the patients with unstable respiratory mechanics.

Key words : Dual control ventilation, Pressure-regulated volume control(PRVC), Pressure Controlled Ventilation(PCV)

서 론

기계 호흡의 환기 양식은 양압 환기 양식이 도입된 1960년대 말부터 최근까지 용적조절환기(volume control ventilation, VCV)가 주로 적용되어 왔다. 최근에 과다한 양압 환기에 의한 이차적인 폐 손상이 생기는 것이 알려지고, 특히 급성 폐손상 환자들에서 인공 환기에 의한 폐 손상이 증가됨이 밝혀져 압력조절환기(pressure control ventilation, PCV)양식의 적용이 증가되는 추세이다. 그러나 일정한 압력을 유지하는 압력조절환기 양식하에서는 기도 저항이나 폐 탄성이 변하면 흡기량(inspiratory tidal volume)과 분시 환기량(minute ventilation)이 변화하여 동맥혈 이산화탄소 분압의 변동이 초래되는 단점이 있다. 최근 압력조절환기와 용적조절환기를 혼합한 이중조절환기(dual control ventilation, DCV)양식의 임상적 유용성이 보고되었고¹⁾ 현재 임상적으로 가용한 이중조절환기 양식은 용적보장압력보조양식(volume-assured pressure support modes)과 압력증강양식

(pressure augmentation mode) 그리고 압력조절용적조절양식(pressure regulated volume control, PRVC mode) 등이 소개되어 있다. PRVC양식은 압력조절환기 양식과 같은 감속유량(decelerating flow)으로 환기가 이루어지나 사전에 설정된 일호흡량(tidal volume)을 유지할 수 있도록 허용된 범위내에서 흡기압이 변화하는 환기 양식이다. 그러므로 호흡 역학이 안정된 환자에서는 기존의 압력조절환기 양식과 비슷한 유용성을 보일 것으로 판단되나 이 양식의 임상적 유용성에 대한 보고는 현재까지 없었다. 본 연구는 호흡 역학이 불안정한 환자들에서 PRVC양식의 개발 목적대로 VCV에 비해 흡기압은 낮게 유지하면서 PCV에 비해 상시량을 일정하게 유지할 것이라는 가설 하에 PRVC양식의 임상적 유용성을 조사하였다.

대상 및 방법

대상은 1996년 7월부터 1996년 11월까지 서울중앙

Table 1. Clinical characteristics of study populations

Patient No.	Age	Sex	Underlying Disease
1	16	M	Sepsis
2	14	M	Near-drowning
3	71	M	Pneumonia
4	72	F	Pneumonia
5	79	F	Asthma
6	65	M	Pneumonia
7	57	M	Pneumonia
8	70	M	Pul. hemorrhage

병원 중환자실에 호흡 부전으로 입원하여 용적조절환기나 압력조절환기로 기계 호흡 중 활력징후 및 동맥혈 가스 검사상 안정을 보이고, 15분간의 관찰 결과 용적조절환기 양식에서 최고 흡기압의 변화가 심하거나(최고흡기압의 변이 계수가 10% 이상) 압력조절환기 양식에서 일호흡량의 변화가 심한(상시 호흡량의 변이 계수가 10% 이상)환자를 대상으로 하였다. 대상 환자는 8명 이었고 남:녀 비는 6:2였으며 평균 연령은 56(±26)세 였다(Table 1).

인공 호흡기는 PRVC 양식이 채택되어 있는 Servo 300(Siemens-Eléma AB, Sweden)기종을 이용하였고 인공 호흡기의 설정 중 분당 호흡수, 호기 말 양압(PEEP), 흡기 대 호기(I:E)비, 흡입산소분압(FiO₂)은 변화시키지 않았다. 일호흡용적은 6~8ml/kg가 되도록 VCV 및 PRVC에서 설정하였고 PCV에서는 VCV에서 일정한 일호흡량과 비슷하게 유지되도록 흡기압을 조절하였다. 각 환기 양식에서 15분씩 호흡 역학의 지표를 측정하였다, 호흡 역학의 지표는 flow transducer(VarFlex flow transducer, Bicore, Irvine, CA, USA)를 기관 내관의 끝과 인공 호흡기의 Y-connector 사이에 위치시키고 이를 pulmonary monitor(CP-100 pulmonary monitor, Bicore, Irvine, CA, USA)에 연결하여 측정하였고 측정치는 ANADAT program(RHT-infodat, Mo-

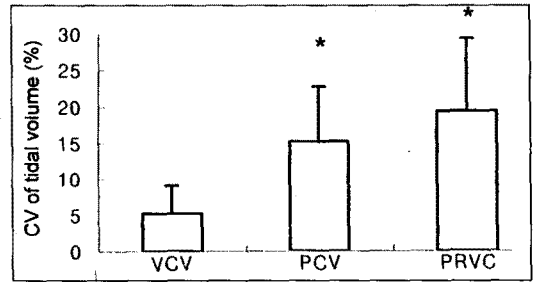


Fig. 1. Comparison of CV of tidal volume among VCV, PCV and PRVC mode.

*p<0.01 compare to VCV

ntreol, Canada)을 이용하여 휴대용 컴퓨터로 직접 전송하여 분석하였다. 각 측정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였으며 변이계수(coefficient of variation)는 표준편차 ÷ 평균 × 100(%)로 구하였다. 각 측정치들의 차이는 paired t-test로 검정하였고 2-tailed p 값이 0.05 미만인 경우 통계적 유의성을 인정하였다.

결 과

VCV, PCV 및 PRVC 양식에서 분당 호흡수는 각각 23.0 ± 6.3회, 23.8 ± 7.4회 및 23.9 ± 8.3회로 비슷한 수준을 보였다. 15분간의 평균 일호흡량은 VCV에서 431 ± 102ml, PCV에서 417 ± 99ml, PRVC에서 414 ± 97ml로 각 환기 양식에서 비슷한 수준을 유지하였다. 각 환기 양식에서 15분간 관찰한 상시 호흡량의 변이계수(coefficient of variation)는 VCV에서 5.2 ± 3.9%, PCV에 15.2 ± 7.5%, PRVC에서 19.3 ± 10.0%로 PCV과 PRVC양식에서 상시 호흡량의 변동이 심했다(p<0.01)(Fig. 1, Table 2). 평균 최고 흡기압은 VCV에서 31.0 ± 6.0 cm H₂O, PCV에서 26.0 ± 6.5 cm H₂O, PRVC에서 27.0 ± 6.4 cm H₂O로 VCV에서의 최고 흡기압이 다른 두 양식에 비해 유의하게 높았으며(p<0.01), PCV와 PRVC간에는 최고 흡기압의 차이가 없었다(Fig. 2, Table 3). 그러나 최고 흡기압의 변이계수는 VCV에서 13.9 ± 3.7%, PCV에서 4.9 ± 2.6%, PRVC에서

Table 2. Tidal volume(V_T , ml) at the mode of VCV, PCV and PRVC

Patient No.	VCV		PCV		PRVC	
	V_T (ml)	CV(%)	V_T (ml)	CV(%)	V_T (ml)	CV(%)
1	495	7.5	506	15.0	479	30.0
2	363	1.3	348	10.1	364	14.0
3	583	10.0	557	10.0	556	25.7
4	363	1.4	349	7.0	320	12.8
5	316	2.8	323	9.4	311	11.0
6	558	2.7	514	25.6	514	26.5
7	423	11.2	435	26.2	437	30.7
8	345	4.9	304	18.6	322	4.3
Mean±SD	431±102	5.2±3.9	417±99	15.2±7.5*	414±97	19.3±10.0*

CV : coefficient of variation

* : $p < 0.01$ compare to CV of VCV

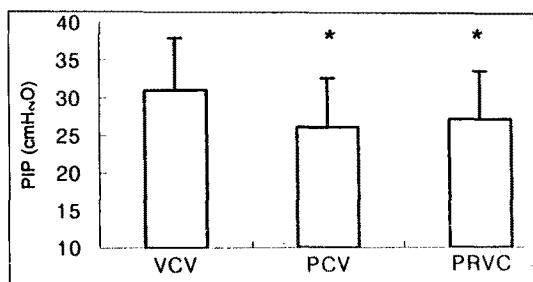


Fig. 2. Comparison of PIP among VCV, PCV and PRVC.

* $p < 0.01$ compare to VCV

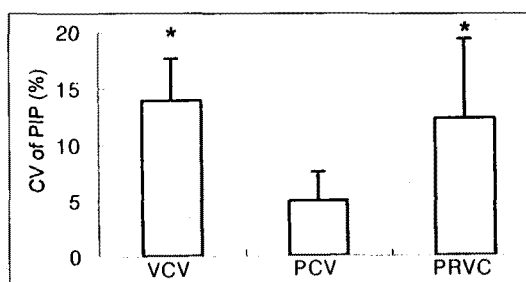


Fig. 3. Comparison of CV of PIP among VCV, PCV and PRVC mode.

* $p < 0.01$ compare to VCV

12.2±7.0%로 VCV와 PRVC에서 PCV에 비해 최고 흡기압의 변동이 심하였고($p < 0.01$), VCV와 PRVC간의 최고 흡기압의 변이계수는 유의한 차가 없었다(Fig. 3, Table 3).

고 찰

본 연구에서 압력조절용적조정양식(pressure-regulated volume control, PRVC) 환기법은 호흡역학이 불안정한 환자에서 용적조절환기양식(VCV)보다는

일호흡량의 변동이, 압력조절환기법(PCV)보다는 최고 흡기압의 변동이 심하여 각각의 경우에서 VCV나 PCV보다 나은 점이 없었다. PRVC는 PCV에서 적용되는 감속유량(deceleration flow)을 이용하여 일정한 기도압을 유지하면서 흡기가 이루어지며 사전에 설정한 일호흡량이 유지되도록 되먹임 제어에 의해 흡기압이 일정한 범위내에서 매 흡기시마다 변화되는 환기양식이다. 일정한 흡기압으로 1회 환기가 이루어진 후 사전에 설정된 일호흡량보다 실제 호흡량이 적을 경우 다음 흡기시에 흡기압이 일정 비율 만큼 자동적

Table 3. Peak inspiratory pressure(PIP, cm H₂O) at the mode of VCV, PCV and PRVC

Patient No.	VCV		PCV		PRVC	
	PIP	CV(%)	PIP	CV(%)	PIP	CV(%)
1	40	18.0	32	6.1	35	11.6
2	18	10.2	17	2.5	16	12.5
3	26	11.2	21	8.9	20	26.1
4	30	10.4	21	5.5	25	10.8
5	29	12.4	27	3.4	25	7.4
6	31	17.7	26	7.8	27	12.7
7	36	19.0	35	2.9	33	14.8
8	38	12.0	32	1.9	32	1.4
Mean±SD	31.0±6.9	139.±3.7**	26.0±6.5*	4.9±2.6	27.0±6.4*	12.2±7.0**

* : p<0.01 compare to PIP of VCV

** : p<0.01 compare to CV of PCV

으로 상승하고, 반대로 일호흡량이 설정치보다 많을 경우는 흡기압이 감소하여 일정한 호흡량을 유지할 수 있도록 고안되어 있다. PRVC법은 유량 형태가 압력 조절 환기양식에서 사용되는 것과 동일하므로 호흡 역학이 안정되어 있는 경우 흡기압의 변동이 거의 없을 것으로 추정되며, 따라서 PRVC법과 압력조절환기법은 비슷한 작용과 임상적 유용성을 보일 것으로 예상된다. 본 연구에서 호흡역학이 불안정한 환자를 연구 대상으로 한 것은 PRVC법이 내포한 장점을 부각시키기 위해서 였다. 본 연구의 결과에서 PRVC법은 되먹임 조절에 의해 흡기압이 자동 변동하여 일호흡량을 비교적 일정한 수준으로 유지할것으로 예상되었으나 실제로는 반대의 결과를 나타내었는데, 이는 흡기압이 환자의 호흡역학이나 유량 요구량을 사전에 예상하여 결정되는 것이 아니고 이전 환기에서 나타난 일호흡량에 따라 결정되기 때문에 일호흡량의 변동이 심했다고 판단된다. 즉, 낮은 흡기압으로 일호흡량이 적을 경우 다음 번 흡기시에는 기계적으로 흡기압이 높게 설정되는데 환자의 유량 요구량도 또한 커져 일호흡량이 기대 이상으로 많아지고 그 다음 흡기에는 반대의 결과가 초래되어 일호흡량과 호흡 양상에 변화가 일어난 것으로 추정된다.

성인에서 기계호흡 환기양식은 개발 초창기의 음압 환기를 거쳐 압력조절 환기양식이 잠시 사용되었으나, 1960년대 말부터 최근까지 일정한 일호흡량(V_T)과 분시 환기량(V_E)을 보장할 수 있는 용적조절환기양식이 주로 사용되어 왔다. 용적조절환기양식은 외상 환자를 대상으로 한 연구에서 압력조절환기양식에 비하여 폐허탈을 방지하고 산소화에 유리하다고 알려져 있으나²⁾ 환자의 유량 요구량을 충족시키지 못할 경우 환자와 인공호흡기 사이에 비동조(dyssynchronization)를 초래하여 호흡일을 증가시킬 수 있다³⁻⁶⁾. 또한 기도 저항이 증가되어 있거나 폐탄성이 감소되어 있는 환자에서 일정한 일호흡량을 유지하기 위해서는 기도압의 과도한 상승이 초래되므로 폐손상이 유발될 수 있고 혈액학적 장애도 초래할 수 있다. 과도한 기도압의 상승으로 기계환기를 받은 환자의 0.5~18%에서 기흉이나 중격동 및 피하 기종 등이 발생한다고 알려져 있다⁷⁾. 인공호흡기로 유도되는 폐손상은 폐포의 파열에 의한 상기 손상 이외에도 과팽창된 폐포막과 혈관 내피세포의 투과성이 증가하여 혈관으로부터 수액의 여과가 증가하여 폐부종과 폐손상이 초래된다. Webb과 Tierney는 쥐를 이용한 실험에서 과도한 기도압의 상승으로 폐출혈과 폐부종이 유발된다고 하였

고⁸⁾ Tsuno 등도 동물 실험에서 최고 흡기압을 40cm H₂O로 유지했을 때 초기 급성 호흡곤란 증후군 (ARDS)에서 나타나는 것과 동일한 폐손상 소견이 나타남을 관찰하였다⁹⁾. 반면 Hernandez는 토끼를 이용한 실험에서 단순한 기도압의 높고 낮음보다 과도한 환기량에 의한 폐포의 과팽창이 폐손상의 원인임을 관찰하여, 압력손상(barotrauma)이란 표현 대신 용적손상(volutrauma)이란 용어가 인공호흡기 사용으로 인한 폐손상의 적절한 표현으로 여겨지고 있다^{10,11)}. ARDS환자들은 양와위에서 등쪽이 복부보다 더 심한 폐포 폐쇄를 나타내어 폐포 폐쇄의 정도가 매우 불균질한데¹²⁾ ARDS환자의 인공환기 시에 통상적으로 설정하는 일호흡량인 10~15ml/kg를 적용할 경우 기능성 폐포들은 과팽창에 의한 폐손상을 받을 가능성이 높아 ARDS환자의 인공호흡기 사용 중 폐손상을 최소화하기 위하여 최고 흡기압을 35cm H₂O 미만으로 유지하고 일호흡량은 5~8ml/kg로 설정할 것이 권고되고 있다. 이러한 VCV에 반해 압력조절환기양식은 일정한 최고 흡기압 혹은 고팽부압을 유지시키는 환기양식으로 기계환기로 인한 폐손상을 줄일 수 있고 흡기 초반의 유량이 높아 폐포간 가스 분포의 호전 및 환자와 인공호흡기간의 동조도 VCV에 비해 더 나은 장점을 가지고 있어 급성 폐손상 환자의 인공호흡기 구동 양식으로 최근에 그 적용이 증가되고 있는 추세이다^{13~17)}. 그러나 압력조절환기양식은 기도저항이나 폐탄성의 변화에 따라 일호흡량이 변화하고 따라서 분시 환기량도 일정하게 유지할 수 없는 단점이 있다.

용적조절환기양식이나 압력조절환기양식은 이와 같이 각각 장점과 단점을 가지고 있어 두 환기양식의 장점만을 즉, 일정한 분시 환기량을 유지하면서도 과도한 기도압의 상승은 막을 수 있는 기능을 혼합한 이중조절환기법의 개념이 도입되었다¹⁾. 이는 최근의 인공호흡기들이 기계 전자기술의 발달로 되먹임 조절에 의한 환자-인공호흡기 상호작용의 조절이 다양해져 복합된 환기 양식의 적용도 가능해졌기 때문이다. 현재 인공호흡기에 채택되어 임상적으로 사용 가능한 이중조절환기양식은 크게 나누어 볼때 2가지 양식이 있

다. 첫째는, 용적보장압력보조양식(volume-assured pressure support mode, VAPSV)으로 일정유량(constant flow)을 유지하는 가스 공급원과 일정한 기도압을 유지하는 감속유량의 가스 공급원의 2가지 유량 공급원이 작동한다. 흡기 초반에는 감속유량이 작동하여 일정한 기도압을 유지하면서 흡기가 일어나고 사전에 설정된 일호흡량이 충족되면 일정유량은 작동하지 않는다. 감속유량으로 일호흡량이 충족되지 않으면 흡기 후반부에 일정유량공급원(constant flow source)이 작동되면서 최소 일호흡량을 보충한다. 이 VAPSV법은 폐 모형과 임상 연구에서 그 유용성이 보고되어 있는데^{18,19)}. Amato 등은 8명의 환자를 대상으로 용적조절환기법과 VAPSV법을 비교하여 일호흡량, 평균 유량비, 호흡일 등에서 VAPSV법이 우수하다고 보고하였고¹⁾, Haas 등도 VAPSV법이 용적조절환기법에 비해 호흡일 감소의 장점이 있음을 보고하였다¹⁹⁾. 또 다른 이중조절환기법이 PRVC법으로 Servo 300(Siemens-Elcoma AB, Sweden)기종에 채택되어 있으나 지금까지 그 임상적 유용성에 대한 보고가 없었다. 호흡역학이 불안정한 환자를 연구대상한 본 연구에서 PRVC양식은 VCV에 비해 평균 최고 흡기압은 낮게 유지하였으나 최고 흡기압의 변동이 심하였고, PCV에 비해 상시 호흡량이 변동이 심하여 이중조절환기양식 본래의 목적을 달성치 못한 것으로 사료된다.

요 약

연구배경 :

일정한 분시 환기량을 유지하면서도 과도한 기도압의 상승은 막을 수 있는 기능을 혼합한 이중조절기법 중의 하나인 압력조절용적조정양식(PRVC)의 임상적 유용성에 대한 보고는 없었다. 본 연구는 호흡역학이 불안정한 환자에서 PRVC 양식이 원래의 개발 목적대로 압력 조절 양식에 비해 일호흡량을 일정하게 유지하면서 용적조절양식에 비해 기도압을 낮게 유지하는지를 관찰하였다.

연구방법 :

기계 호흡 중이며 활력징후의 안정을 보이는 환자 중 15분간 관찰 결과 VCV에서 최고 흡기압의 변이계수가 10이상으로 최고 흡기압의 변화가 심하거나, PCV에서 상시 호흡량의 변이계수가 10이상으로 일 호흡량의 변화가 심한 환자 8명(남:녀=6:2, 56 ± 26세)를 대상으로 하여 일 호흡량을 비슷한 수준을 유지하도록 VCV, PCV, PRVC 양식을 설정한 후 각 환기양식에서 15분간 일 호흡량과 최고 흡기압을 관찰하였다.

결 과 :

1) 평균 일 호흡량은 VCV에서 431 ± 102ml, PCV에서 417 ± 99ml, PRVC에서 414 ± 97ml였으며 각 환기양식 간에 차이가 없었다.

2) 상시 호흡량의 변이계수는 VCV에서 5.2 ± 3.9%, PCV에서 15.2 ± 7.5%, PRVC에서 19.3 ± 10.0%로 PCV와 PRVC에서 상시 호흡량의 변화가 심하였다(p < 0.01).

3) 평균 최고 흡기압은 VCV에서 31.0 ± 6.9cm H₂O, PCV에서 26.0 ± 6.5cm H₂O, PRVC에서 27.0 ± 6.4cm H₂O로 PCV와 PRVC의 최고 흡기압의 VCV의 경우보다 낮게 유지되었다(p < 0.01).

4) 최고 흡기압의 변이계수는 VCV에서 13.9 ± 3.7%, PCV에서 4.9 ± 2.6%, PRVC에서 12.2 ± 7.0%로 VCV와 PRVC에서 최고 흡기압의 변동이 심하였다(p < 0.01).

결 론 :

PRVC양식은 호흡역학이 불안정한 환자에서는 VCV에 비해 평균 최고 흡기압은 낮게 유지하였으나 최고 흡기압의 변동이 심하였고, PCV에 비해 상시 호흡량의 변동이 심하여 이중조절환기양식 본래의 목적을 달성하기 어려울 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Amato MB, Barbas CS, Bonassa J, Saldiva PH, Zin WA, de Carvalho CR. Volume-assured pres-

sure support ventilation. A new approach for reducing muscle workload during acute respiratory failure. *Chest* 102(4) : 1225-1234, 1992

2. Fleming WH, Bowen JC. A comparative evaluation of pressure-limited and volume-limited respirators for prolonged postoperative ventilatory support in combat casualties. *Ann Surg* 176(1) : 49-53, 1972

3. Marini JJ, Rodriguez RM, Lamb V. The inspiratory workload of patient-initiated mechanical ventilation. *Am Rev Resp Dis* 134(5) : 902-909, 1986

4. Marini JJ, Capps JS, Culver BH. The inspiratory work of breathing during assisted mechanical ventilation. *Chest* 87(5) : 612-618, 1985

5. Sassoon CHS, Mahutte CK, Te TT, Simons DH, Light RW. Work of breathing and airway occlusion pressure during assist-mode mechanical ventilation. *Chest* 93(3) : 571-576, 1988

6. Ward ME, Corbeil C, Gibbons W, Newman S, Macklem PT. Optimization of respiratory muscle relaxation during mechanical ventilation. *Anesthesiology* 69(1) : 29-35, 1988

7. Nelson LD. High-inflation pressure and PEEP. *Crit Care Clin* 12(3) : 603-626, 1996

8. Webb HH, Tierney DF. Experimental pulmonary edema due to intermittent positive pressure ventilation with high inflation pressure: protection by positive end expiratory pressure. *Am Rev Resp Dis* 110 : 556-565, 1974

9. Tsuno K, Prato P, Kolobow T. Acute lung injury from mechanical ventilation at moderately high airway pressure. *J Appl Physiol* 69 : 956-961, 1990

10. Hernandez LA, Peevy K, Moise A. Chest wall restriction limits high airway pressure-induced lung injury in young rabbits. *J Appl Physiol* 66 : 2364-2368, 1989

11. Dreyfuss D, Saumon G. Role of tidal volume, FRC and end-inspiratory volume in the development of pulmonary edema following mechanical ventilation. *Am Rev Resp Dis* 148 : 1194-1203, 1993
12. Gattinoni L, Presenti A, Bombino M. Relationships between lung computed tomographic density, gas exchange and PEEP in acute respiratory failure. *Anesthesiology* 69 : 824-832, 1988
13. Tharratt RS, Allen RP, Albertson TE. Pressure controlled inverse ratio ventilation in severe adult respiratory failure. *Chest* 94(4) : 755-762, 1988
14. Lain DC, DiBenedetto R, Morris SL, Van Nguyen A, Saulters R, Causey D. Pressure control inverse ratio ventilation as a method to reduce peak inspiratory pressure and provide adequate ventilation and oxygenation. *Chest* 95(5) : 1081-1088, 1989
15. Papadakos PJ, Halloran W, Hessney JI, Lund N, Feliciano DV. The use of pressure-controlled inverse ratio ventilation in the surgical intensive care unit. *J Trauma* 31(9) : 1211-1215, 1991
16. Gurevitch MJ, Van Dyke J, Young ES, Jackson K. Improved oxygenation and lower peak airway pressure in severe adult respiratory distress syndrome. *Chest* 89(2) : 211-213, 1986
17. Abraham E, Yoshihara G. Cardiorespiratory effects of pressure controlled inverse ratio ventilation in severe respiratory failure. *Chest* 96(6) : 1356-1359, 1989
18. MacIntyre NR, Gropper C, Westfall T. Combining pressure-limiting and volume-cycling features in a patient-interactive mechanical breath. *Crit Care Med* 22(2) : 353-357, 1994
19. Haas CF, Branson RD, Folk LM, Campbell RS, Wise CR, Davis K Jr, Dechert RE, Weg JG. Patient-determined inspiratory flow during assisted mechanical ventilation. *Respir Care* 40(7) : 716-721, 1995