Review article

<http://dx.doi.org/10.5385/jksn.2012.19.4.165>
pISSN 1226-1513 • eISSN 2093-7849

신생아 환기의 새로운 양식들

가천대학교 의학전문대학원 소아과학교실
손동우

New Modes of Ventilation for Neonates

Dong Woo Son, M.D.

Department of Pediatrics, Graduate School of Medicine, Gachon University, Incheon, Korea

Many premature infants require mechanical ventilatory support and oxygen supply. Because they have immature lungs, these ventilator supports contribute to the development of ventilator induced lung injury, which causes the development of bronchopulmonary dysplasia (BPD) in large portion. Recent meta-analysis reported that the volume-targeted ventilation reduced the development of BPD and death. Non-invasive ventilator support also can reduce the adverse effects associated with intubation and mechanical ventilatory support. The technological advancements, including microprocessors, enhance the development of new devices with new modes of ventilatory support. A lot of limits and demerits of conventional ventilatory support obviously inspired the thoughts of new modes of ventilatory support. In this article, new modes of ventilatory support for neonates, as well as conventional modes, are introduced in the hope of adopting strategies with evidences efficiently.

Key Words: Bronchopulmonary dysplasia, Continuous positive airway pressure/methods, Neonatal intensive care units, Mechanical ventilators/methods, Neonatal respiratory distress syndrome/therapy, Premature infants, Tidal volume, Ventilator-induced lung injury/etiology/prevention & control

서론

신생아집중치료는 생명을 위협하는 중증의 질환들이 주 대상이 되며, 높은 비용이 요구되는 고가의 장비와 인력 등의 자원이 다량 투입된다. 기계환기는 신생아집중치료실(neonatal intensive care unit, NICU)에서 가장 흔히 사용되는 치료방법으로 고도로 특화된 분야인데, 기계환기 장비와 기술, 환기 양식의 종류가 점점 다양해짐에 따라 더욱 복잡해지고 있다. 기계환기 제조사는 다양한 환기 양식을 이름 붙이는 데에 제각각의 용어를 사용하여 혼란을 가중시키고 있다. 이런 혼란 때문에 숙련된 신생아 의사도 전에 사용하던

종류가 아닌 새로운 장비를 마주칠 때엔 쉽게 익숙해지지 못하는 경우가 종종 나타난다. 현재 국내에 여섯 종류 이상의 고빈도 기계환기와 약 15종류의 통상적 기계환기(conventional mechanical ventilators)가 사용되고 있다.

폐 표면활성제의 예방요법 투여 등의 초기 치료로 신생아호흡곤란 증후군으로 인한 초기 사망률은 감소하였다. 그러나 여전히 감염, 괴사성장염 등의 초극소 저출생 체중아의 합병증에 의한 사망은 계속되고 있다. 이런 사망원인의 해결도 지속되는 관심부분이기도 하지만 또 하나의 해결이 필요한 문제로, 특히 기계환기에 의한 폐손상(ventilator-induced lung injury, VILI)이 주요 원인으로 피력되는, 미

Received: 5 November 2012, Accepted: 15 November 2012

Correspondence to: Dong Woo Son, M.D.

Department of Pediatrics, Gil Hospital, Graduate School of Medicine, Gachon University, 1198 Guwol-dong, Namdong-gu, Incheon 405-760, Korea
Tel: +82-1577-2299, Fax: +82-32-460-3224, Email: sondw@gilhospital.com

숙아 만성폐질환(기관지 폐이형성증: bronchopulmonary dysplasia, BPD)은 신생아의사 모두의 관심 질환일 것이다. 2005년의 Cochrane Database 메타분석¹⁾에서는 용량지향 환기법(volume target ventilation, VTV)과 압력제한 환기법(pressure limited ventilation, PLV)은 사망률이나 미숙아 만성폐질환 발생률에 차이가 없었다고 정리하였으나, 2010년 동일한 지표에 대하여 새롭게 시행한 메타분석에서는 VTV가 PLV보다 사망을 줄이고 BPD의 발생을 줄이는 것으로 나타났다²⁾. 이처럼 신생아 집중치료실에서의 호흡 관리는 빠르게 변하고 있는데, 현재에는 기계환기에 의한 폐손상의 위험을 줄이는 목적으로 비침습적 호흡관리의 사용이 증가하고 있다. 아직 대규모의 연구나 명확한 무작위 비교연구 결과는 보고되지 않았으나, 후향적인 방법의 한 연구는 동조된 경비적 간헐적 양압환기(synchronized nasal intermittent positive pressure ventilation, SNIPPV)가 경비적 지속적 양압환기(nasal continuous positive pressure ventilation, NCPAP) 보다 사망과 BPD 발생을 줄이는 것으로 보고하였다³⁾. 새로운 양식의 호흡관리는 이와 같이 기계환기에 의한 폐손상을 줄이고 BPD 및 사망을 줄이는 방향으로 개발되고 사용되고 있는데, 이런 개선은 과거의 방법에서 나타난 문제를 해결하기 위한 고민과 연구의 결과일 것이다. 옛 것을 얹으로 새것을 알게 되는 온고지신(溫故知新)이 새로운 기계환기 양식을 이해하고 보다 적절히 사용하고 더 나은 방법을 개발하는 데에 필요하다.

기계환기의 일반적 원칙

기계환기의 목적은 저산소 상태의 해소, 진행하는 호흡산증의 해소, 호흡작업량 경감, 그리고 기계환기에 의한 폐손상의 발생을 막는 것으로 요약할 수 있다⁴⁾. 실질적인 목표로는 폐의 유순도(compliance)를 개선하고, 산소요구량을 줄이며, 폐 표면활성제의 비활성화를 방지하고, 폐허탈(폐포가 짜부라짐)을 방지하고 적절한 폐용량을 확보하여 일회 호흡량이 골고루 분포할 수 있게 하는 것이다⁵⁾. 미숙아에서는 특히 용량손상(volutrauma)을 최소화하고 뇌손상을 유발할 수 있는 저탄산증을 방지하는 전략으로 과도한 일회 호흡량을 피하는 노력이 필요하다. 용인할 정도의 경도 고이산화탄소증(permissive hypercapnea)과 산소포화도 88-93% 정도를 유지할 수 있는 최소량의 산소 분압이 일반적으 적정요구량이다⁶⁾. 정지적인 기도흡인도 피하는 것이 좋은데, 기도흡인에 의하여 폐포가 허탈되며, 일시적인 저산소혈증을 일으킬 수 있고 뇌혈류가 요동치게 되는 등의 문제를 일으킬 수 있으므로, 청진으로 기도 내 분비물이 확인되거나 그래픽에서 기류곡선이 찌글찌글해지는 등의 변화를 보일

때에만 부드럽고 짧게 흡인해내는 것이 필요하다. 생리식염수로 기도를 씻어내는 것은 좋지 않다.

신생아에게만 볼 수 있는 기계환기의 특이한 문제점들

1. 폐의 메카닉스

유순도가 낮은(딱딱한) 폐를 가지고 있는 신생아에서는 시간상수(time constant, TC)가 짧아지고 호흡근의 힘도 약하고 정상적으로도 흡기시간이 짧은, 빠른 호흡을 보이게 된다. 이는 기계환기기를 설계하는데 큰 기술적 한계로 작용하여, 흡기유발이나 흡기 종료, 일회 환기량을 측정하는 기술 등에 어려움을 끼친다. 이러한 이유로 성인에서보다 신생아에서 동조호흡 양식의 개발이 어려웠던 것이다.

2. Cuff 없는 기관내관(endotracheal tube, ETT)

신생아에서는 기관 내 점막의 압력괴사를 일으킬 우려가 있고 튜브 자체의 크기가 작아 제조에 어려움이 있는 문제로 cuff 없는 기관내관을 사용하여 왔다. 때문에 대부분의 신생아-영아에서 기관내관 주위로의 리크(leak)는 피할 수 없는 문제가 되었고, 일 분에도 수십 번씩 양압 환기에 의한 주기적 확장을 당하는 후두와 기관 조직들은 구조적으로도 확장되어 장기치료를 갈수록 리크는 더욱 늘어나게 된다⁷⁾. 리크는 흡기 중의 압력이 더 높고, 흡기 시에 기도가 더 확대되기 때문에 흡기 중에 리크가 호기 시보다 더 크다. 그러므로 일회 환기량은 흡기 시와 호기 시에 모두 측정하여야 하며, 호기시의 일회 환기량이 실제 폐를 드나든 용량에 더 가깝다. 리크의 정도는 매 호흡마다 변할 수 있다. 신생아에서 기관내관은 성대를 조금 지나가 있게 위치시키기 때문에 아기의 머리 위치나 기관내관이 당겨지거나 하는 등의 작은 위치변화에도 리크의 정도가 변하게 된다. 이런 리크는 충분한 일회 환기량이 공급되지 않게 하거나, 흡기를 유발하는 데에 지장을 주거나, 자동시발(auto-trigger)을 일으키고 흡기 종료를 지연시키는 등 미숙아 호흡관리에 지속적인 문제를 일으키게 된다.

3. 일회 환기량의 측정

종량식 또는 용량지향식 환기에서 일회 환기량을 정확하게 측정하는 것은 당연히 매우 중요하다. 기류와 용량은 호흡회로와 기계환기기의 연결부분에서 측정하는 것이 보통이었다. 그 장점은 기구에 의한 사강(dead space)이 생기지 않으며, 측정을 위한 추가 연결전선도 필요 없다는 것이다. 그러나 신생아에서 이를 하기 가까이

가 아닌 호흡회로의 끝에서 측정한다는 것은 부정확한 결과 밖에 얻을 수 없다. 호흡회로의 끝(호기쪽 말단)에서 일회 환기량을 측정하면, 호흡회로와 가슴통(chamber of humidifier)에서 압축되고 완충되어 측정 할 수 없는 용량과, 기관내관 주위로 새어 나가는 용량은 측정할 수 없기 때문이다. 호흡회로의 유순도, 회로 및 가슴통의 용량과 환아의 폐의 유순도 및 용량 사이의 상관 관계로 이런 압축되고 완충되는 용량이 정해진다. 리크가 없는 큰 환자에서는 계산에 의해서 보정할 수 있는 방법이 있지만 작은 영아에서 특히 리크가 있는 경우는 보정이 더욱 어려워진다.

기본적인 기계환기 용어 및 기계환기 양식의 분류

기계환기 관련 기술이 급격히 발전함에 따라 기본적인 방법에서 여러 가지 복잡한 방법의 환기양식이 출현하였고, 각기 다른 제 조사에서 같은 양식에 대하여 다른 용어를 사용하는 혼잡이 나타나 사용자는 더욱 어려움을 느낄 수 밖에 없게 되었다. 현재 신생아에게 쓰이는 많은 기계환기기는 미숙아에서 성인에까지 사용할 수 있는 장비로 개발되었기 때문에 신생아에서 사용되지 않는 환기양식도 탑재되어있는 경우가 많다. 여기에서는 신생아에게 쓰이는 환기양식의 용어에 대하여 정리한다.

기본적인 환기양식에 대하여는 다음 세가지 요소로 구분할 수 있다.

- 각 환기는 어떠한 방법으로 시작되는지?
- 환기가 공급되는 동안 기류는 어떻게 조절되는지?
- 흡기는 어떻게 마무리되는지?

흡기는 환자의 흡기 노력과 관계없이 정해진 시점(timing)에 시작될 수 있다. 이를 조절호흡(controlled ventilation)이라 부른다. 다른 방법으로 환자의 흡기 노력에 의하여 환기가 시작되는 경우 이를 보조호흡(assisted ventilation)이라 부르며, 동조된(synchronized) 또

는 환자유발 호흡(patient-triggered ventilation, PTV)이라 칭한다.

환기 중의 기류조절은 압력에 맞추어 하거나(종압식, pressure-controlled/pressure-limited ventilation), 일회 환기량의 공급에 맞추도록(종량식, volume-controlled ventilation) 이루어진다.

흡기의 마무리는 시간이 경과하여(시간주기, time-cycled) 마무리되거나, 흡기류가 멈추는 것으로(기류 또는 용량주기, flow or volume cycled) 결정된다.

이런 기본적인 요소들을 결합하여 다양한 종류의 혼합 양식(hybrid modes)이 개발되어왔다.

동조 방법의 선택

보조/조절(assist/control, AC) 또는 압력지지환기(pressure support ventilation, PSV)가 동조된 간헐적 양압환기(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV)보다 미숙아에서는 더 유리하다. 신생아에서 사용되는 기관내관은 가늘어서 기도저항이 증가되며 이탈과정(weaning process) 동안 호흡일량(work of breath, WOB)이 증가되는 문제를 일으키기 때문이다. 보조/조절 호흡은 SIMV와 비교하여 보았을 때, 일회 환기량을 균일하게 공급할 수 있고, 호흡일량을 감소시켜 이탈이 빨라지는 장점이 있다. PSV는 기류주기(flow-cycled)로 동작하기 때문에 흡기와 호기 사이에 흡기의 멈춤이 없어져 더욱 수월하게 동조를 이룰 수 있으나 흡기시간이 매우 짧게 걸릴 수 있고, 초 미숙아에서는 시간상수가 짧은 생후 첫 며칠간에는 빈호흡을 유발할 수도 있다. 흡기시간이 짧게 걸리다 보면 평균기도내압(mean airway pressure, MAP)이 기대보다 낮게 걸리는 문제가 생길 수 있으므로 폐탈출을 방지하기 위하여는 호기말양압(positive end-expiratory pressure, PEEP)을 적절히 높여줄 필요가 있다⁷⁾.

흡기유발을 감지하는 장치는 미숙아의 특징상 예민하여야 하나

Table 1. Triggering Methods

Types	Detecting method	Merits	Demerits
Impedance	Impedance of chest wall	No added dead space, noninvasive, leak tolerant	Poor sensitivity, artifacts
Pneumatic capsule	Movement of the abdominal wall	Rapid response, no extra dead space, leak tolerant	Positioning is critical
Pressure	Pressure changes in ETT	Leak tolerant	Poor sensitivity, long trigger delay, high WOB
Airflow	Changes of the direction of the airflow in ETT	Very sensitive, rapid response, capable of defining intensity	Added dead space, leak sensitive
Diaphragm EMG	Electrical activity of diaphragm	Sensitive, most rapid response, leak tolerant, capable of defining intensity	Require careful positioning of probe

Abbreviations: EMG, electromyography; ETT, endotracheal tube; WOB, work of breathing.

자동시발을 일으키지는 않아야 하고 미숙아의 짧은 흡기시간과 빠른 호흡회수에 대응할 수 있어야 한다. Cuff 없는 기관내관을 사용하기 때문에 문제는 더욱 복잡하다. 기존에 개발되어 사용하고 있는 유발감지 장치를 Table 1에 나열하였다. 현재까지는 기관 개구부(기관내관 말단)에서 기류를 측정하는 것이 가장 유용한 것으로 보고되었다⁸⁾. 새로이 등장한 기술로 횡경막의 전기신호(electrical activity of the diaphragm, EAdi)를 비위관(nasogastric tube)의 형태를 띤 전극을 삽관, 식도를 통하여 근전도를 측정하여 흡기유발을 감지하는 장치가 상용화되었다. 미숙아를 대상으로 하여서는 최근의 연구 하나⁹⁾ 밖에 발표되지 않은 정도로 아직 많이 연구되지 않았으나 리크의 영향을 받지 않는 점에서 유용성이 보인다.

기류유발이 현재까지의 방법 중 최상의 것이지만 기류센서를 사용하여야 하기 때문에 아주 작은 미숙아에서는 약 1 mL의 사강(dead space)도 일회 환기량의 많은 부분을 차지하게 되어 문제가 된다. 또한 기관내관 주위로의 리크가 있는 경우 호기 중에도 흡기류가 지속되며 기류센서는 이 리크에 의한 흡기류가 아기의 자발 흡기류로 오인하고 자동시발을 일으키게 되는 문제가 있다. 이런 문제가 발생할 경우 유발감도(trigger sensitivity)를 조절하여 자동시발을 막을 수는 있으나 리크의 정도는 수시로 변하기 때문에 이에 맞춘 유발감도의 수시변경에는 어려움이 있다. 유발감도를 덜 예민하게 설정하면 흡기유발을 위하여 아기의 과도한 노력이 필요하게 되고, 유발지연(trigger delay)이 나타나는 문제가 생긴다. 기류유발 센서는 미세한 압력차이를 측정하여 기류속도를 계산해내는 방식과 미세한 온도차이 발생을 측정하여 기류속도를 측정하는 방식이 있는데 특히 온도차이를 이용한 방식의 경우 센서주위의 결로(dew, raining)는 기류측정을 방해하므로 주의가 필요하다.

아래에 나열하는 각 양식의 환기 설정에 따른 차이를 Table 2에 정리하였다.

1. 동조된 간헐적 양압환기(SIMV)

SIMV는 일반적 양압환기와 마찬가지로 정해진 횟수의 강제환기

를 공급하나 환자의 흡기노력이 흡기 포착 보조창(assist window, trigger window) 동안에 출현하는 경우에만 동조하는 방법이다(Fig. 1). 설정 횟수 이상의 호흡은 보조해주지 않는다. 이 때문에 일회 환기량이 일정하지 않게 되며, 이탈 과정 중에서 호흡일량이 증가하게 되고 특히 가는 기관내관을 가지고 있는 초미숙아인 경우는 문제가 더 크다. 초미숙아는 가는 기관내관에 의한 높은 기도저항과 약한 근육 힘, 그리고 잘 짜부라지는 흉곽 때문에 일회 환기량이 크게 줄어들게 된다. 회로나 기관내의 사강의 용량은 정해져 있기 때문에 적은 일회 환기량으로 호흡하는 것은 사강 내의 공기를 다시 호흡하는 문제를 일으키고 효율적인 폐포 환기를 하지 못하게 된다. 적합한 폐포 환기를 위해서는 더 많은 일회 환기량을 공급해 줘야 한다.

2. 보조/조절 환기(assist control ventilation, AC)

보조/조절 환기는 모든 호흡을 도와주기 때문에(Fig. 2) 균일한 일회 환기량을 공급할 수 있으며 호흡일량을 낮춘다. 설정하는 호흡횟

Fig. 1. Graphic monitoring of synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) shows asynchrony. White round dots on flow curve mark spontaneous respiratory efforts of the patient which were not assisted. One spontaneous inspiratory effort (arrow) which happened during the assist-window provoked ventilatory assist. The letter “C” and “A” on pressure curve means “controlled” and “assisted”, respectively. This image was captured from the Stephanie ventilator.

Table 2. Comparison of Ventilator Modes according to the Ventilator Parameters

Mode	PEEP	PIP	Ti	RR	Timing of inspiration	During apneic episode
IMV	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	No change
SIMV	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Variable	IMV
AC	Fixed	Fixed	Fixed	Variable	Variable	Backup ventilation
PSV	Fixed	Support pressure	Variable	Variable	Variable	Backup ventilation
PAV	Fixed	Variable	Variable	Variable	Variable	Backup ventilation

Abbreviations: AC, assist-control; IMV, intermittent mandatory ventilation; PAV, proportional assist ventilation; PEEP, positive end-expiratory pressure; PIP, peak inspiratory pressure; PSV, pressure support ventilation; RR, respiratory rate; SIMV, synchronized intermittent mandatory ventilation; Ti, inspiratory time.

수는 환자가 무호흡을 보이는 경우 투여되는 대체환기(backup ventilation) 횟수이다. 이 횟수는 환자의 평상시 호흡수보다는 낮게 설정하여 환자가 자발호흡으로 흡기유발을 할 수 있게 도와준다. 이 양식의 목표는 환아와 기계가 함께 동작하여 흡기압력을 낮추어 가는 것이다. 환아가 스스로 필요한 호흡수를 조절하기 때문에, 이탈은 호흡수가 아닌 흡기압을 낮추어서 이루어진다. 기계의 보조량이 줄어들며 아기가 호흡일량을 스스로 처리할 수 있는 능력을 키우는 것이다. 이와 같은 이탈의 개념은 SIMV 등에서 일반적으로 행하던 호흡수를 줄이는 이탈과정과 차이가 있어 쉽게 받아들이기 어려운 점도 있으나 앞으로 언급하게 될 용량지향 환기 등은 모두 흡기압을 낮추어 이탈해가는 과정이기 때문에 현재로는 더 권장하여야 할 개념이다.

Fig. 2. Graphic monitoring of assist-control (AC) mode of mechanical ventilation shows optimal synchrony. Every spontaneous inspiration is assisted with decided peak inspiratory pressure during set inspiratory time. The letter “C” and “A” on pressure curve means “controlled” and “assisted”, respectively.

Fig. 3. Schematic comparison among controlled ventilation, controlled ventilation with prolonged inspiratory time, and pressure support ventilation (PSV). PSV terminates each breath when inspiratory flow declines to a preset threshold [(③) in this figure, the termination sensitivity (TS) is set as 30%]. This feature eliminates the inspiratory hold [prolonged inspiration time that keeps the lung at peak inflation (②) without any inflow (①)] and thus provides more optimal synchrony.

3. 압력지지환기(pressure support ventilation, PSV)

PSV는 중압식 환기의 보조/조절 환기처럼 모든 호흡을 도와주는 방법이지만 기류주기(flow-cycle)를 채택하고 있기 때문에 흡기류가 설정된 수준으로(보통 10-20%) 줄어들면 호기로 전환되는 방식이다(Fig. 3). 환자의 흡기 정도에 따라 흡기시간이 변하기 때문에 흡기와 호기의 변환이 부드러워 더 원활한 동조를 기대할 수 있는 환기 방식이다. 고정된 흡기시간으로 호흡하는 경우는 흡기시간이 끝나기 전에 환아가 호기를 하고 싶은 경우 높은 압력을 거슬러서 공기를 내보내야 하기 때문에 흉곽 내의 압력이나 폐로는 두개 내의 압력이 과도하게 증가할 우려가 있다. PSV는 이런 염려를 줄여준다. 그러나 전술한 바와 같이 흡기시간이 짧게 걸리다 보면 평균기도내압(mean airway pressure, MAP)이 기대보다 낮게 걸리다 보면 문제가 생길 수 있으므로 폐허탈을 방지하기 위하여는 호기말양압(positive end-expiratory pressure, PEEP)을 적절히 높여줄 필요도 있다⁷⁾.

4. 비례보조환기(proportional assist ventilation, PAV)

압력지지환기(PSV)는 들이쉬고 싶을 때 들이쉬고, 내쉬고 싶을 때 내쉬게 하며 지지해주는 환기방법이라면 PAV는 더 나아가서 들이쉬고 싶은 만큼 들이쉬길 수 있도록 보조하는 환기 양식이다(Fig. 4). 이 양식에서 기계환기기는 환자의 매 호흡을 감지하여 들이쉬려는 노력에 걸맞는 만큼의 압력으로 보조해준다. 이 양식으로 환아와 기계의 완벽한 동조를 이루며 병 때문에 증가된 호흡일량을 덜어줄 수 있다. 기계는 환아로부터 흡기 노력의 정도를 지속적으로 입력 받아 그 세기에 맞는 정도로 흡기압을 시간차 없이 공급해 준다. 이런 환아의 흡기 노력 정도는 호흡 중추로부터의 요구량을 반영한다¹⁰⁾. 그렇게 함으로써

- ① 흡기노력 정도에 비례하여 자발 흡기 때마다 증폭된 환기를 공

Fig. 4. Graphic monitoring of proportional assist ventilation (PAV) shows more optimal synchrony and variable pressure support and inspiration time according to the patient's needs.

급하고

② 기계는 환자의 절대적인 지배를 받아 흡기/호기 시간이나 깊이, 일회 환기량, 기류의 모양까지도 환자에 맞추어 공급되며

③ 의사는 증폭 정도를 설정한다. 이 증폭 정도는 단위 호흡 노력당 보조하는 흡기압을 뜻하는데 증폭 정도가 클수록 환아는 덜 힘들어 환기할 수 있다.

④ 이 양식은 환자의 호흡 조절에 전적으로 의존하기 때문에 기계 자체가 흡기를 시작하지는 않으므로 환자의 흡기 노력이 사그러드는 것을 되살리지는 못한다. 환자의 저호흡이나 무호흡 시에는 대체 환기(backup ventilation)이 필요하다¹¹⁾. 환자의 자발호흡이 되살아나면 기계는 자동적으로 대체환기에서 벗어나도록 동작하여야 한다¹²⁾.

PAV에서 증폭 정도(gain)는 일회 환기량 1 mL 당 보조하는 기계 흡기압으로 설정하게 된다($\text{cmH}_2\text{O/mL}$). 이로써 흡기압은 흡기 일회 환기량에 맞추어 상승하게 되고 호기시에는 호기말양압(PEEP)에 위치하게 된다. 식으로 표시하면 호흡근이 발생하는 압력(P_{mus})과 인공호흡기가 발생하는 압력(P_{res})이 함께 흡기량(V)과 흡기유속(F)을 발생시킨다. 이들에게 저항하는 것이 유순도(compliance)의 역수인 탄성도(elastance, E)와 기도저항(resistance, R)이며, 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\textcircled{1} P_{\text{mus}} + P_{\text{res}} = E \times V + R \times F$$

PAV는 자발호흡에 대한 보조를 “탄성도의 완화(unloading)”인 용량보조(volume assist, VA)와 “기도저항의 완화”인 기류보조(flow assist, FA)로 나누어 설정한다.

$$\textcircled{2} P_{\text{res}} = VA \times V + FA \times F$$

두 식을 함께 고려하면

$$\textcircled{3} P_{\text{mus}} = (E - VA) \times V + (R - FA) \times F \text{가 되는데}$$

미리 측정된 E 와 R 에 대해 보조비율인 VA와 FA를 설정하면 측정된 V 와 F 에 따라 환자 자신이 발생시킬 필요가 있는 P_{mus} 가 결정된다. 비례보조환기는 실시간으로 V 와 F 를 측정하여 설정된 VA와 FA에 따라 P_{res} 를 발생시킨다(식 ②).

체중 0.8 kg이고 폐 유순도가 $0.5 \text{ mL/cmH}_2\text{O/kg}$ 이라면, $E=1/(0.8 \times 0.5)=2.5 \text{ cmH}_2\text{O/mL}$ 라고 계산된다. 정상 폐의 유순도를 $1.5 \text{ mL/cmH}_2\text{O/kg}$ 이라고 하면, 그 E 는 $0.8 \text{ cmH}_2\text{O/mL}$ 가 되기 때문에 VA를 $2.5-0.8=1.7$ 로 설정하면, 폐질환에 의한 E 가 완화되게 된다¹³⁾. 마찬가지로 FA를 $20 \text{ cmH}_2\text{O/L/sec}$ 라고 설정하면, 내경 2.5 mm인 기관내관에 상당하는 R 을 완화하게 된다. 이렇게 하므로 폐 질환이 없는 아기가 기관 튜브 없이 호흡하는 상태에 가까워질 수 있다. 보통의 경우 기도저항은 기관내관의 굵기에 따라 결정되므로 $20 \text{ cmH}_2\text{O/L/sec}$ 으로 기도저항 완화 정도는 설정하여 쓰게 되고, 탄성

도 완화의 정도는 계산에 의할 수도 있으나, 그래픽 화면의 시간축을 4초로 설정한 그래픽에서 흡기 시 압력곡선의 상승이 뾰족한 모양을 띄지 않고 완만한 언덕을 이루는 정도로 설정하는 것이 일반적으로 통용된다.

PAV에 대한 연구는 출생체중 600 g에서 1,200 g 이하이고 경도 또는 중등도의 급성 호흡기질환을 가지고 있는 36명의 신생아를 대상으로 하여 PAV와 AC (보조/조절 환기), 그리고 IMV (재래식 간헐적 양압환기) 세가지 방법을 교차실험 하였다⁴⁾. 동일한 정도의 산소 요구, 산소화, 이산화탄소 제거를 보이는 범위 내에서 비례보조환기에서는 기도내압과 흉곽내압의 감소를 볼 수 있었다. 22명의 기계환기 의존적인 BPD를 가지고 있는 미숙아(평균출생체중 705 g)를 대상으로 하여 PAV와 일반적인 환자 유발환기(patient-triggered ventilation, SIMV 또는 AC) 간의 교차연구에서 비례보조환기는 일반적인 환자 유발환기보다 낮은 평균기도내압으로 효율적인 가스교환을 보였다. 간헐적 무호흡이나 산소포화도 저하 현상 때문에 비례보조환기에서는 대체환기(backup ventilation)의 중요성이 지적되었다(Table 3).

5. 횡경막 전기활성에 따른 비례보조환기

신경보조 환기보조(neutrally adjusted ventilator assist, NAVA)도 비례보조환기의 일종으로 흡기유발의 신호를 횡경막의 전기적인 변화에서 받아들이는 것이다. 횡경막의 전기 활성의 변화가 호흡시의 전체적인 호흡근의 활성을 대표한다는 가정에서 시작하였다¹⁵⁾. 횡경막의 전기신호(electrical activity of the diaphragm, EAdi)는 비위관에 부착하여 식도 내로 삽관한 전극에서 측정하여 심장의 전기적 영향과 움직임, 식도의 연동 등에 의한 잡음을 제거하는 알고리즘을 거쳐 위상이 있는 전기신호를 생성한다. 흡기노력이 있을 때 이런 횡경막 전기신호의 위상차가 변하는 것으로 환기기는 흡기압력을 공급하기 시작하며, 그 정도도 전기적 위상이 변화하는 것에 비례하여 상승하고, 흡기 종말의 위상으로 흡기압 공급을 종료하는 방식으로

Table 3. Demonstrated Benefits of Proportional Assist Ventilation

Author	Population/mode	Benefit
Schulze et al. <i>J Pediatr</i> 1999	36 NB 600-1,200 g with RDS; PAV, AC, IMV crossover	Decreased airway and transpulmonic pressure
Schulze et al. <i>Neonatology</i> 2007	22 NB ventilator dependent with CLD; PAV vs standard PTV	Decreased mean airway pressure

Abbreviations: AC, assist/control; CLD, chronic lung disease; IMV, intermittent mandatory ventilation; NB, newborn; PAV, proportional assist ventilation; PTV, patient trigger ventilation; RDS, respiratory distress syndrome.

Fig. 5. A sample of EAdi tracing that illustrates the differences between SIMV with PS and NAVA. (A) Under the SIMV with PS mode, the sample PIP was delivered by the flow trigger, but each delivered pressure was not synchronized with the EAdi signal. (B) Under the NAVA mode, respiratory assistance was triggered by the EAdi, each delivered pressure assistance was synchronized with the EAdi, and the level of peak pressure was constantly altered according to the level of EAdi detected. These representative images were captured from the Servo-I ventilator [Reprinted from ref. 9] Copyright 2012, with permission from Elsevier].

동작한다(Fig. 5). 흡기 보조를 증폭하는 방법은 사용자가 NAVA 증폭량(gain) 또는 NAVA 수준(level)이라고 부르는 지표를 조절해서 설정한다. 이 지표는 단위 횡경막 전기신호(EAdi) 당 흡기압 증폭의 정도를 의미한다.

일반적인 설정방법은 통상의 환아 유발환기 상태에서 보이는 그 래픽의 압력곡선에 NAVA 시연화면을 펼쳐놓고 NAVA를 시행하였을 때의 압력이 현재 걸려있는 양식의 압력곡선과 비슷하거나 약간 낮은 정도의 압력이 걸리도록 NAVA 수준을 설정하여 시작하며 실제 NAVA 양식을 환아에게 시행한 경우는 각 호흡에서 나타나는 횡경막 전기신호(EAdi)의 수준을 보며 어느 정도로 EAdi 완화를 시켜 줄 것인지 감안하며 NAVA 수준을 설정한다. NAVA 수준을 높이면 EAdi가 줄어드는 것을 기대할 수 있다.

NAVA에 대하여도 연구가 많이 진행되지는 않았다. 건강한 성인을 대상으로 한 연구에서는 NAVA 수준에 따라서 안전하게 호흡근의 일을 덜어주는 것이 확인되었고, 단계적으로 NAVA 수준을 증가 시킨 결과 단계적으로 EAdi가 저하되는 것도 발견하였다⁶⁾. 휴식 중에는 NAVA 수준을 변화시켜도 일회 환기량이나 분시 환기량(minute ventilation)에 변화는 없었다. 흡기 중 식도내압이 없어질 정도의 아주 높은 정도로 NAVA 수준을 설정하더라도 횡경막 전기신호는 남아있어서 흡기보조환기가 비례적으로 동작하도록 작용하였다. 흡기 종료도 원만하게 나타났다. 신생아를 대상으로 한 연구는 2012년에 발표되었는데⁹⁾, 자발호흡이 가능하나 기계환기를 받고 있는 신생아 19명을 대상으로 NAVA와 PSV를 동반한 SIMV를 교차시험으로 연구 하였고 NAVA에서 최고 흡기압(peak inspiratory pressure, PIP)이 저하되었으며, 호흡일량이 줄어들었고, 최고 EAdi도 낮았다고 보고하였다. 일회 환기량과 최고 EAdi의 비율도 NAVA에서 더 높게 나타났

는데 향후 용량지향 환기법의 양식과 NAVA를 비교해 보는 것은 좋은 연구 주제가 될 것으로 생각한다.

기계환기 중 용량 조절

종압식 환기(pressure-limited ventilation)는 그 동안 신생아 기계환기의 표준 방식이었다. 기존의 종량식 환기(volume-controlled ventilation)는 일회 환기량의 공기를 환자에게가 아닌 호흡회로의 선단에 불어 넣어주는 방식이었다. 호흡회로와 가슴통에서 압축되어 손실되는 용량과, 기관내관 주위로 리크되어 버리는 문제 때문에 종량식 환기는 신생아의 환기요법으로 사용되기 어려웠다. 반면에 종압식 환기는 사용하기 간단하고, 많은 양의 리크가 있더라도 환기가 가능하며, 흡기 중 기류의 흐름이 초반에는 빠르게 들어왔다가 서서히 줄어드는 방식이기 때문에 폐내의 공기 분포를 골고루 분포시키는 데에 더 효과적이며, 최고 흡기압을 직접 조절할 수 있는 장점이 있다. 그러나 종압식 환기의 큰 단점은 일회 환기량이 폐의 유순도 변화에 따라 달라진다는 점이다. 이런 상황은 출생 직후에 폐액(lung fluid)이 제거되고 폐의 용적이 확보되고, 폐 표면활성제가 투여되면서 바로 나타난다. 이 같은 유순도의 급격한 호전으로 폐에는 과잉 용량의 공기가 한번에 들어갈 수 있게 되고 폐손상을 유발할 수 있게 되는 것이다. 이런 변화에 재빨리 대처하지 못하는 경우도 생기며, 과호흡에 의하여 동맥혈 이산화탄소 분압(PaCO₂)이 25 mmHg 미만으로 내려가는 경우가 기계환기가 필요하였던 재태기간 32주 이하의 아기를 중 생후 첫날에 30% 이상인 것으로 보고되어¹⁷⁾ 과용량 호흡의 위험성이 계속되며 흔히 나타난다는 것을 보여주었다.

최고 흡입압을 직접 조절할 수 있다는 것은 종압식 환기의 큰 장점이다. 기계환기 유발 폐손상(VILI)의 주요 발생 기전은 압력이 아니라 용량이라는 수많은 증거가 있음에도 아직도 압력이 VILI를 일으키고 폐외공기누출을 일으킨다고 많은 사람들이 착각하고 있다. 동물실험에서 흉곽과 횡격막의 움직임을 제한하고 높은 흡기압을 공급한 군에서 흉곽의 움직임에 제한을 하지 않은 군보다 급성 폐손상이 적게 나타났다는 연구와 다른 여러 연구들에서¹⁸⁾ 폐손상의 원인은 과도한 환기량이지 압력 자체의 문제는 아니라는 것이 명확해졌다. 이처럼 용량손상과 부적절한 과환기의 문제점이 알려지며 신생아 호흡관리에서도 일회 환기량을 직접 관리하는 것에 대한 관심이 늘어났다.

부적절하게 적은 일회 환기량도 중요한 문제를 일으킨다. 폐유순도의 감소, 기도저항의 증가, 기도폐쇄, 공기잡이(air-trapping), 자발호흡의 감소 등은 모두 흡기압에 상관없이 일회 환기량이 충분히 공급되지 못하는 상황을 일으킬 수 있다. 일회 환기량이 모자라게 되면 고탄산증, WOB 증가, 산소소비 증가, 흥분, 피로, 폐허탈을 일으킬 수 있고 뇌출혈의 위험도 증가한다. 낮은 일회 환기량 때문에 사강이 일회 환기량에서 차지하는 분포가 커져서 공기교환이 불충분하게 된다. 이와 같은 이유로 호흡관리 중에는 일회 환기량을 철저히 관리하는 것이 크게 요구되는 것이다. 성인에서는 이러한 이유로 종량식 환기가 표준 환기요법으로 자리잡고 있는 것이라고 볼 수 있다.

과도한 일회 환기량이 폐손상을 일으키기 때문에 적절한 일회 환기량을 공급하거나 적어도 일회 환기량을 모니터링하는 것이 권장된다. 여기에 덧붙일 중요한 사항은 이런 일회 환기량은 폐 속에서 균일하게 분포해야 한다는 것이다. 허탈된 폐 부분이 있는 경우에 열려있는 폐포에만 일회 환기량이 분포하게 되어 어쩔 수 없이 과팽창이 발생하여 결과적으로 용량손상, 생물학적 손상을 입게 된다(Fig. 6). 폐 허탈에서 나오는 단백질 삼출액은 폐 표면활성물질을 비활성화시키며 염증매개체를 분비하여 허탈손상(atelectotrauma)를 일으킨다. 폐 허탈과 과팽창이 상존하는 부위에서는 불균일 장력과 비틀림 현상으로 손상이 가중된다. 이런 상황을 피하기 위해 폐 개방 정책(open-lung concept)을 도입한 용량지향 환기를 시행해야 하는 것이다. 실제 임상에서 폐 개방의 적용은 적절한 호기말 양압을 걸어주는 것으로 이루어진다. 안전한 호기말 양압의 범위는 따로 없다. 건강한 폐를 가진 영아에서는 3 cmH₂O의 호기말 양압은 적당하고 6 cmH₂O의 호기말 양압은 폐의 과팽창과 뇌정맥출혈을 일으킬 수도 있을 것이다. 반면에 허탈되고 유순도가 낮은 폐는 폐포를 펼치기 위하여 8-10 cmH₂O 또는 그 이상의 호기말 양압이 적당할 수도 있는 것이다. 건강하지 않은 폐를 치료하는 신생아의사 입장에서는 5 cmH₂O 미만의 호기말 양압은 일상이 아니라 예외가 되어야 할 것이다⁷⁾.

Fig. 6. Nonhomogeneous aeration in respiratory distress syndrome (RDS). Atelectasis in dependent portion of the lungs is present in surfactant-deficient lungs as illustrated on the computer tomography view in lower left corner (preterm ship, courtesy of Anastasia Pellicano). This situation is schematically represented in the middle panel. The corresponding pressure-volume loop is shown in the lower right portion of the figure. If this situation is allowed to persist, even a normal physiological tidal volume, when it enters only the small portion of open alveoli will inevitably lead to overexpansion and lung injury [Adapted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Journal of Perinatology from ref. 7), copyright 2009].

용량지향 환기(volume-targeted ventilation)

여러 가지 정의가 있을 수 있겠으나 여기서는 종압식 환기에서 목표하는 일회 환기량을 얻기 위하여 흡기압과 때로는 흡기시간까지 조절하는 방식으로 정의한다. 비슷한 양식을 각 제조사에서 다르게 명명하여 혼란이 생기고 있는데 몇 가지 명칭을 살펴보려 한다.

1. 압력규제 용량조절(pressure-regulated volume control, PRVC)

압력규제 용량조절(pressure-regulated volume control, PRVC)이라는 양식은 Servo-I (Maquet Inc., Bridgewater, NJ, USA)에 탑재된 방식인데, 최초에 네 번의 시험 흡기를 폐 속으로 공급하고, 기도내압의 변화를 측정하여 유순도를 계산하여 목표 일회 환기량을 공급하기에 적당한 최고 기도내압(plateau pressure)을 산출한다. 매 호흡마다 새로 산출한 최고 기도내압을 공급하여 일회 환기량을 유지하도록 조절한다. 흡기 기류는 점감류(decelerating)이고 흡기시간은 사용자의 설정에 따른다. 이 기기는 환기량을 기도 입구가 아닌 회로 말단에서 측정하기 때문에 측정치에 오차가 생기고 리크의 경우 더욱 부정확해지는 문제가 있다. 회로 및 가슴통에서 압축되는 용량을 보정해주는 기능이 있으나 초미숙아로 아주 작은 아기의 경우와 리크가 있는 경우 측정된 환기량의 신빙도가 떨어지며, 회로 말단의 초음파 기류계(flow meter)는 너무 예민하여 약간의 리크에 지속적인 경고음을 발생시켜 결국 PRVC 양식을 꺼버리게 되는 단점이 있다⁷⁾.

2. 용량 보장(volume guarantee)

용량 보장(volume guarantee)이라는 양식은 Babylog® VN500 (Dräger Medical GmbH, Lübeck, Germany)에 탑재된 방식으로, 호기말 양압보다 5 cmH₂O 높은 압력으로 환기를 시작하여 매 호흡마다 적용된 환기량을 측정하고 목표 환기량에 대한 최초 목표압력을 계산하여 그 75%에 해당하는 압력으로 다음 강제환기를 진행한다. 이 같이 몇 번에 걸쳐 평균적으로 목표 환기량에 도달하게 한다 (Fig. 7). 이 기종은 조절호흡(controlled ventilation)과 보조호흡(assisted ventilation)의 제어를 따로 하는데, 같은 최고 흡기압을 통해 얻은 환기량이라 해도 자발흡기에 동조된 보조호흡에서는 일회 환기량(synchronized tidal volume, TVs)은 조절호흡에 의한 일회 환기량(mandatory tidal volume, TVm)보다 큰 경우가 많다. 이 기종의 용량보장 양식은 TVs와 TVm을 분리하여 제어하도록 되어 있다 (Fig. 8). 즉 이번 환기에서 측정된 환기량과 목표 최고압을 다음 번 같은 종류(보조 또는 조절)의 환기에 적용하는 것이다. 허용하는 최고 흡기압의 한계는 경보설정에 수준에 맞추어 결정되며, 설정된 최고 압력 정보 설정의 5 cmH₂O 이하가 허용되는 최고 흡기압이다. AVEA (CareFusion, Yorba Linda, CA, USA)도 VN500과 같은 방법으로 동작하며 시간주기 환기와 환자유발 환기를 따로 제어하며 용량보장 환기를 할 때에는 열선방식의 기도선단 기류센서를 사용하여 한다.

Fig. 7. Volume guarantee is an option of patient trigger ventilation. The machine measures expiratory tidal volume of each breath. The peak inspiratory pressure (PIP) correlates with tidal volume (Vt). If PIP₀ results in Vt₀, which is larger than the target Vt (Vts), the machine decreases the PIP of next breath (PIP₁) to deduct 25% of (Vt₀-Vts) from Vt₀ on next breath. About 8 cycles of modifying PIP, Vts can be achieved.

3. 용량 제한(volume limit)

용량 제한(volume limit)은 Stephanie (Stephan GmbH, Gackebach, Germany)와 Sophie (Stephan GmbH, Gackebach, Germany) 기계환기기에 장착된 양식으로 기도선단에 연결되는 기류센서에서 실시간으로 측정되는 호기 환기량에 따라 설정 목표 용량에 맞도록 다음 호흡의 최고 흡기압을 조절하는 방식이다(Fig. 9). 이때 기계에 설정한 최고 흡기압은 허용되는 최고압력 한계를 의미한다. 유순도가 낮아져 설정한 최고압력 한계로도 목표 환기량이 공급되지 않을 때에는 경보음이 울리며, 너무 활발한 자발호흡을 보이는 경우 기계의 보조가 들어가지 않아 지속적 양압환기(continuous

Fig. 8. TVt is the target tidal volume. If initial mandatory breath (M) with pressure P1 resulted in tidal volume V1 which was less than TVt, the inspiratory pressure (P2) of next mandatory breath would be increased to reach to TVt. If synchronized breath (S, P3) results in bigger tidal volume (V3) than TVt, then the ventilator reduces the pressure (P5) on next synchronized ventilation (V5). This type of machines controls the inspiratory pressure of mandatory and synchronized ventilation separately to achieve the same target tidal volume.

positive pressure, CPAP)에서 호흡하는 상태로 나타날 수 있다. Sophie에서는 최저 흡기압(Pmin)을 설정할 수 있어 WOB을 떨어준다. 50%까지의 리크는 보정하여 용량지향 환기를 할 수 있다.

4. 환기량 지향(targeted tidal volume)

환기량 지향(targeted tidal volume)은 SLE 5000 (Specialised Laboratory Equipment Ltd., South Croydon, UK)에 탑재된 양식으로 흡기시간의 상승시간(rise time)을 길게 하여(기류가 천천히 늘어나도록) 환기량을 목표 용량으로 제한하는 방식이다. 용량제한(volume limit) 기능을 해제하면 높은 설정 흡기압으로 생길 수 있는 손상을 방지하기 위하여, 호기말 압력보다 5 mbar 높은 압력으로 흡기압이 고정되므로 사용자는 설정압력을 다시 조정할 필요가 있다. 흡기 환기량을 측정하기 때문에 리크가 있는 경우 부정확한 환기량 측정이 될 수 있고, 흡기압을 조절하는 방법이 아니라서 유순도나 호흡노력이 저하하였을 때에 목표 환기량이 들어가지도록 흡기압을 늘려줄 방법이 없다는 단점이 있다⁷⁾.

5. 분시 환기량 지향(targeted minute ventilation, TMV)

분시 환기량 지향(targeted minute ventilation)은 각 호흡의 일회 환기량을 조절하는 것이 아니라 일분 동안의 환기량의 목표 값을 정해놓고 이 분시 환기량에 맞추도록 호흡횟수를 관리하는 방법으로 일분간의 호기 환기량이 목표 값보다 많으면 기계가 강제환기 횟수를 줄여서 환기시키고, 일분간의 호기 환기량이 목표 값보다 모자라면 기계환기를 늘려서 목표 분시 환기량에 맞추는 방법이다¹⁹⁾(Fig. 10). 컴퓨터를 이용하여 실험적으로 행했던 연구만 있었고²⁰⁾ 환아에게 사용하도록 상용화 되지는 않았다.

Fig. 9. Graphic monitoring of volume limit during assist-control ventilation. The height of inspiratory pressure is changing for each breath to achieve the target tidal volume.

Fig. 10. Synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) and targeted minute ventilation. Representative recording of air flow and airway pressure in an individual infant during SIMV and targeted minute ventilation. During targeted minute ventilation, ventilator rate is lower than during SIMV. Ventilator rate is automatically increased during transient periods when spontaneous breathing is not sufficient [Reprinted from Ref. 19), Copyright 2009, with permission from Elsevier].

6. 분시 환기량 보상(mandatory minute ventilation, MMV)

MMV는 Babylog VN500 (Dräger Medical GmbH, Lübeck, Germany)에 탑재된 방식으로 SIMV를 하고 있을 때, 용량보장(VG)를 사용하여 일회 환기량을 안정화시켜도 흡기노력이 잦을 때와 적은 때는 분시 환기량이 다른데, 자발호흡이 적은 상태에서도 분시 환기량이 확보되도록 호흡 횟수를 높게 설정하면, 자발호흡이 많아졌을 때 분시 환기량 과잉이 되어버린다. 반대로, 자발호흡이 많더라도 분시 환기량 과잉이 되지 않도록 설정 환기수를 적게 설정하면, 자발호흡이 적어졌을 때 저환기가 되어버린다. 이 문제에 대응한 모드가 바로 분시 환기량 보상(mandatory minute ventilation, MMV)이다. 흡기유발로 시작한 환기가 설정 횟수를 웃돌면 강제환기 횟수가 자동적으로 감소한다²¹⁾. 실제 임상적용의 면에서는 환아가 무호흡을 보일 때에 대체환기가 투여되는 것이 아니라 측정된 분시 환기량이 일정량 이하로 줄어들어야 강제환기가 시작 되기 때문에 무호흡 기간이 길어져 기계환기 중에 저산소증이 나타날 수 있는 우려가 있다. 신생아에서 연구 발표된 자료는 아직 없다.

7. 순응지지환기(adaptive support ventilation, ASV)

ASV는 목표 분시 환기량을 정해 놓고 환기 횟수를 조절하여 환기시키는 것은 TMV나 MMV와 같지만 매 환기의 일회 환기량도 최고 흡기압 조절을 통하여 시행하는 방식이다. 동물실험에서 급성 저산소증에 유용하다는 연구가 있었고²²⁾, 성인이나 소아용으로는

Galileo (Hamilton Medical, Rhazuns, Switzerland), G5 ventilator (Hamilton Medical, Rhazuns, Switzerland)에 탑재되어 있고 성인을 대상으로 한 연구는 있으나²³⁾, 아직 신생아용 장비가 개발되지는 않았다.

8. 용량 지향 환기의 연구 결과들

용량 지향 환기의 유용성에 대한 근거는 2010년 Cochrane Review에서 정리되었다. 1966년부터 2010년 사이에 생후 28일 미만의 신생아를 대상으로 용량지향환기와 압력제한환기를 비교한 연구 중, 조건에 맞는 무작위 비교연구 등 12개의 연구를 대상으로 메타 분석을 시행하였는데 이 중 9개의 연구는 동반연구(parallel trial, 629명), 세 연구는 교차시험(crossover trial, 64명)이었다. 결과로 용량지향환기는 압력제한환기에 비하여 사망이나 미숙아만성폐질환의 발생을 줄였다[상대위험도(relative risk, RR) 0.73 (95% CI 0.57-0.93)], 효과를 보기 위해 필요한 치료군수(number needed to treat, NNT) 8 (95% CI 5-33)]. 용량지향 환기는 기흉을 감소시켰으며[RR 0.46 (95% CI 0.25-0.84), NNT 17 (95% CI 10-100)], 기계환기 시행 일 수를 감소시켰다[평균차이(mean difference, MD) -2.36 (95% CI -3.9 - -0.8)]. 저이산화탄소 혈증을 감소시켰으며[RR 0.56 (95% CI 0.33-0.96), NNT 4 (95% CI 2 to 25)], 뇌실주위백질연화증(periventricular leukomalacia, PVL) 또는 3-4도의 뇌실내출혈(intraventricular hemorrhage, IVH)을 감소시켰다[RR 0.48 (95% CI

0.28-0.84), NNT 11 (95% CI 7-50)]²³ (Table 4). 이와 같은 근거를 통해 용량지향 환기가 사망이나 미숙아 만성폐질환의 발생을 줄이는 것은 명확해졌다. 향후로는 용량지향 환기가 신경발달에후에 어떤 영향을 끼쳤는가에 대한 연구와 각 용량지향 환기의 방법간에 효과와 예후의 차이가 있는 지에 대한 연구가 필요할 것이다.

색다른 새로운 환기 양식들(APRV, BiPAP, Bilevel HFO, HFO with VG)

1. 기도압력방출환기(airway pressure release ventilation, APRV)

APRV는 20여년 전에 처음 보고된²⁴⁾ 양식의 기계 환기방법으로

Table 4. Results of Meta-analysis comparing Volume-target Ventilations and Pressure-limit Ventilation²⁾

Outcome	RR (95% CI)	NNT (95% CI)
Death or BPD	0.73 (0.57-0.93)	8 (5-33)
Pneumothorax	0.46 (0.25-0.84)	17 (10-100)
Days of mechanical ventilation	-2.36* (-3.9 - -0.8)	
Hypocapnea	0.56 (0.33-0.96)	4 (2-25)
PVL or Grade 3-4 IVH	0.48 (0.28-0.84)	11 (7-50)

*Mean difference.

Abbreviations: BPD, bronchopulmonary dysplasia; IVH, intraventricular hemorrhage; NNT, number needed to treat; PVL, periventricular leukodystrophy; RR, relative risk.

폐 개방정책에 의거한 부분 환기 지지(partial ventilator support)라는 말로 요약할 수 있다. 우선시 되는 목표는 안전과 편안함이다. 위험할 정도의 높은 압력을 주지 않으므로 환기유발 폐손상을 최소화하고, 순환동태에 영향을 주지 않고 적절한 또는 우월한 환기를 안전하게 공급하는 것이 하나의 목표이고, 자발호흡을 허용하므로 재래의 환기방법에 자주 나타나는 비동조(asynchrony)를 최소화하여 편안하게 호흡할 수 있게 하는 것이 또 하나의 목표이다. 아직까지는 흔히 사용되는 양식은 아닌데, 상용화된 기계환기기의 많은 종류에 탑재되어있다. APRV는 종압식 간헐적 양압환기에 포함되는데, 흡기-호기비(inspiratory-expiratory ratio, IE ratio)가 역전되어 있는 것이다(흔히 IE >2:1 정도로 설정함). 개념적으로는 이상성 지속적 기도양압(bilevel of CPAP, BiPAP)에 해당하기 때문에 최고 흡기압 보다는 고위 압력(P high), 흡기시간 보다는 고위 시간(T high), 반대로 저위 압력(P low), 저위 시간(T low)이라는 용어를 쓰게 된다. 시간유발이나 흡기유발로 상위 압력에 도달하면 흡기가 일어나고, 긴 상위 시간 동안에 폐포가 열려있으면서 자발호흡이 상위 압력에서 상위 시간 동안에 허용되며, 짧은 저위 시간 동안에 저위 압력으로 출구 개방(기도압력방출)이 되며 호기를 일으키게 된다²⁵⁾(Fig. 11). 급성 폐손상 또는 급성 호흡곤란 증후군(acute respiratory distress syndrome, ARDS) 등에 의한 저산소증에 사용된다. 신생아에서는 2010년에 구두발표된 자료가 있다²⁶⁾. 저위 시간이 짧기 때문에(보통 저위 시간이 1.5초 이하) 충분한 호기를 일으키지 못할 위험이 있으므로 시간상수가 길어져 있는 질환에서는 사용하지 않을 것을 권한다.

Fig. 11. Graphic monitoring of airway pressure releasing ventilation (APRV). This representative picture shows three synchronized breath on pressure, flow, and volume curve (upper to lower, respectively). Between the prolonged “Pressure high” period, brief decrease of the airway pressure to “Pressure low” occurs by the releasing of the airway pressure. During the prolonged P high, shallow spontaneous breaths were seen as shallow waves on the curves [Courtesy of Sinichi Watabe from Ref. 26)].

2. 이상성 양압(biphasic positive airway pressure, BiPAP)

BiPAP은 기도압력방출환기에서 설명한 것과 같이 두 가지 크기의 양압을 번갈아 걸어주는 방법은 같으나 기도압력방출환기는 과도하게 흡기-호기 비가 역전되도록 흡기를 길게 주는 것임에 반해, 이상성 양압은 호기를 길게 주어 저위 시간을 충분히 길게 주는 방법이다. 비침습성 환기에서는 종종 쓰이나 기관내관을 가지고 기계 환기하는 신생아에서는 거의 사용된 보고가 없다. 사용 목적은 자발 호흡을 방해하지 않으며 폐 개방을 위해 주기적으로 고위 압력을 걸어주는 것이다.

3. 이중기도양압에서의 고빈도 진동환기(bilevel high-frequency oscillation, bilevel HFO)

Bilevel HFO는 이상성 양압에 고빈도 진동환기(high frequency ventilator, HFO)를 첨가한 것이다. 지속적으로 고빈도 진동환기를 사용하는 환아는 개방된 폐포 내의 산소의 흡수가 진행되며 폐의 잔기량(residual volume, RV)이 줄어드는 경향이 있다. 이 때문에 폐 개방을 위하여 종래에는 HFO 도중에 큰 숨(sigh)을 첨가하여(HFO with sigh) 폐포를 확장시키고 잔기량을 확보하려는 노력을 하여왔다. 보통 큰 숨 동안에는 고빈도 진동이 아닌 상태로 고위 압력을 지나가는 것인데 bilevel HFO에서 고빈도 진동은 고위 압력에서도 고빈도 진동을 하게하는 방법이다(Fig. 12). 동물을 대상으로 실험한 것이 있다고 하나 아직 발표된 자료는 없다.

4. 고빈도 진동환기에서 용량 보장(HFO with VG)

고빈도 진동환기에서 용량 보장(HFO with VG)는 최근에 등장한 양식으로 Babylog VN500 (Dräger Medical GmbH., Lübeck,

Germany)에 탑재되어 있다. 종압식 환기에서의 용량지향 환기처럼 고빈도 진동환기에서도 용량 보장을 한다는 의미이다. 고빈도 진동식 환기의 일회 환기량(tidal volume of high-frequency, VTHf)는 보통 1.5-2.0 mL/kg 정도로 책정하게 되는데, 이 VTHf는 진동수(frequency)와 진폭(amplitude)의 상호작용으로 결정된다. 진동수가 낮아지면 VTHf는 커지고, 진폭을 높이면 VTHf는 증가한다. VN500 이전의 모델인 Babylog 8000 등에서는 흡기를 제어하는 전자 밸브를 통하여 만들어진 진동이 진폭을 변경시켜도 VTHf가 상승하지 않는다는 문제가 있었다. VN500에서는 호기밸브와 흡기밸브가 협조하여 진동하게 되어 진폭과 환기량의 상관관계가 유지되게 되었다. 환아에게 적합한 VTHf를 결정하여 용량 보장 양식을 시작하면 진폭을 변화시켜 VTHf를 지속적으로 유지하게 된다. HFO에서 산소화는 폐 개방에 의하여 이루어지기 때문에 평균기도내압을 적절히 설정하는 것이 중요하고, VTHf는 이산화탄소의 제거와 관계되는데 이 용량 보장의 임상적 의미는 아직 알려진 바 없고 연구 자료도 없다.

비침습성 호흡관리(non-invasive respiratory support)

전술한 바와 같이 용량지향 환기는 BPD의 발생을 줄이는 효과가 있는 것으로 알려졌다. 비침습성 환기는 메타분석 등의 명확한 영향이 밝혀지지는 않았으나 일반적으로 양압 환기를 장기간 시행하는 것은 BPD의 발생 위험을 높이는 것으로 생각된다²⁷⁾. 이런 이유로 출생 초기부터 기관삽관에 양압환기 보다는 비침습적 환기를 시도하

Fig. 12. Graphic monitoring of bilevel high-frequency oscillation (BiHFO) shows HFO continues through the alternating two levels of pressure.

여 미숙아 만성폐질환의 발생을 줄이려는 노력들이 경주되었고 몇몇 연구에서는 비침습적 환기가 사망을 줄이고 BPD의 발생을 줄일 가능성이 있다는 보고도 이어졌다²⁸⁾. 현재 신생아 집중치료실에서 비침습적 환기 사용은 날로 증가하고 있으며, 최신의 기계환기기들에서는 용량과 기류의 측정이 손쉬워져서 경비 지속적 양압환기(nasal continuous airway pressure, NCPAP) 이외의 다양한 비침습적 환기 양식들이 출현하게 되었다(Fig. 13).

1. 균일 기류와 가변 기류 지속양압(CPAP)

지속적 압력을 만들어 내는 장치에서 지속적 양압장치(CPAP) 중에는 균일한 기류를 보내는 종류와 가변성 기류를 보내는 장비로 크게 대별할 수 있다. 균일 기류(constant flow) 방식은 일반 기계환기기의 지속적 양압환기와 동일한 방식인 호기측 밸브를 조절하는 것

Fig. 13. Types of non-invasive ventilator support given to neonates. Abbreviations: CPAP, continuous positive airway pressure; HFNC, high-flow nasal cannula; nBiPAP, nasal bilevel positive airway pressure; nIPPV, nasal intermittent positive airway pressure; nSIPPV, synchronized nasal intermittent positive airway pressure; nHFV, nasal high-frequency ventilation [Reprinted from Ref. 34), Copyright 2011, with permission from Elsevier].

Table 5. Advantages and Disadvantages of High-flow Nasal Cannula

Advantages	Disadvantages
Inexpensive	Unknown or varying pressure
Easy, user friendly setup	High work of breathing
Limits potential facial or nasal skin breakdown	Cannula is the only interface option
Integrated humidification system	No critical alarms
More comfortable, may decrease need for sedation	Potential drying of the airway, mucosa breakdown
Perceived by parents as less critical	Not FDA cleared to deliver CPAP
Nurse doesn't have to worry about seal	
Easy to position patients	

과, bubble CPAP (Fisher and Paykel Healthcare, Auckland, New Zealand) 처럼 호기측 회로를 물통에 담그고 그 깊이를 조절하여 압력을 조절하는 방식이 대표적이다. 가변 기류(variable flow) 방식은 Benveniste의 원리²⁹⁾를 이용하여 아기의 코 직전에 가변성 기류를 뿜어주므로 양압을 생성하는 방식을 사용한다. 흡기나 호기밸브 없이 특수하게 디자인된 코 접속부(nasal adapter)만으로 양압을 생성한다. 흐르는 물체는 곡면을 따라 이동한다는 코안다 효과(Coanda effect)에 기초한 유체역학적 전환(fluidic flip) 기술을 이용하여 흡기 시에는 환아의 기도 쪽으로 기류가 흘러가고, 호기 시에는 환아의 코로부터 호기회로 쪽으로 흘러가게 한다. 이런 제품으로는 지금은 단종된 Infant flow system (CareFusion, Höchberg, Germany)과 현재 국내에서 사용이 늘어나고 있는 Medijet nasal CPAP System (Medin-Medical Innovations GmbH, Puchheim, Germany) 등의 제품이 있다. 이런 가변성 기류 경비 지속 양압환기의 단점은 소음이 난다는 것이다. 기류에 따라 다르기는 하지만 90 dB을 넘는 정도의 소음이 생기며³⁰⁾ 이런 소음에 지속적으로 노출되는 미숙아에게 어떤 영향이 있는지는 아직 연구되지 않았다.

2. 경비 카눌라(nasal cannula)

지속적 압력장치 중에 경비 카눌라(nasal cannula)를 사용하는 양식 중 저속기류 경비 카눌라(low-flow nasal cannula, LFNC)는 이전부터 흔히 사용하던 방법으로 저속(보통 0.5 L/min, 최고 1 L/min)으로 블렌더를 통하여 농도를 조절한 산소를 공급하는 방법이다. NCPAP에서 이탈하는 과정에서 흔히 사용되었으며 착용하고 있는 채로도 아기를 돌보기가 쉬운 이점이 있다. 고속기류 경비 카눌라(high-flow nasal cannula, HFNC)는 2 L/min 이상의 기류를 카눌라를 통하여 공급하는 방법으로 NCPAP에 맞먹는 정도의 양압을 발생시킬 수 있다³¹⁾. 이 방법으로는 경비 카눌라의 구멍크기, 기류속도, 환아의 기도크기, 리크 등의 여러 인자에 의하여 발생하는 양압이 달라지기 때문에 환아에게 전달되는 양압을 명확히 알기 어렵다는 문제가 있다. 또 하나의 문제는 가슴이 덜뮴 고속의 기류 때문에 건조해져

서 점막이 마르고 분비물의 점도가 늘어난다는 점이다. 이 문제는 가슴기의 채움으로 해소되고 있다. HFNC의 장점과 단점은 Table 5에 기술하였다. HFNC에 대하여 임상연구가 많이 시행되지는 않았으나 2011년 Cochrane Database Review의 메타분석 결과는 발관 후에 사용한 HFNC는 NCPAP에 비하여 재삽관 비율이 높았다고 정리하였다³²⁾. 향후 안정성과 효과에 대한 많은 연구가 필요하다.

3. 경비 간헐적 양압환기(nasal intermittent positive pressure ventilation, NIPPV)/동조식 경비 간헐적 양압환기(synchronized NIPPV, SNIPPV)

NIPPV는 최근에 개발된 비침습적 환기 방법으로 NCPAP에 최고 흡기압(PIP)을 부과한 기계환기를 결합한 방식이다. 보고에 의하면 약 46-60%의 신생아 호흡곤란 증후군을 가진 미숙아는 CPAP으로 유지가 안되어 기관삽관과 기계환기를 필요로 하였다. 또한 약 40%의 저체중 출생아는 발관 후 CPAP으로 유지가 안되어 재삽관과 기계환기가 다시 필요하였다³³⁾. 재삽관의 가장 흔한 원인은 무호흡과 동반된 서맥이었다. NIPPV나 동조된 경비 간헐적 양압환기(SNIPPV)는 기계환기에서 CPAP으로 전환하는 사이에 호흡운동이 불충분한 아기의 호흡관리 방법으로 등장하게 된다. NIPPV/SNIPPV는 흉벽의 움직임의 안정화 시키고 폐의 메카닉스를 증진시키고, 흡기압을 걸어줌으로써 기도를 열어주고 상기도에 기류를 효과적으로 보내 흡기를 자극하고 흡기노력량을 줄이고, 허탈해가는 폐포를 동원하여 기능적 잔기량(functional residual capacity, FRC)을 보장하는 효과를 기대할 수 있다³⁴⁾.

NIPPV는 2001년의 Cochrane 메타분석에서 NCPAP의 장점을 더욱 증진시킨 것으로 나타났고, NCPAP과 비교하였을 때 우월하게 발관 실패의 문제를 줄이는 것으로 분석되었다³⁵⁾. 2012년의 RDS를 앓고 있는 환아들을 대상으로 NIPPV와 NCPAP을 무작위 비교 분석한 3개의 연구를 메타 분석한 보고에서는 NIPPV는 생후 72시간 내에 침습적 환기방식 도입을 의미 있게 감소시켰다(RR 0.60; 95% CI 0.43-0.83). 그러나 BPD의 발생 위험을 줄이지는 못한 것으로 나타났다(RR 0.56; 95% CI 0.09-3.49)³⁶⁾. SNIPPV에 대한 연구는 아직 많지 않은데 한 연구에서 SNIPPV는 NCPAP보다 같은 설정에서 일회 환기량과 분시 환기량이 많은 것으로 나타났고 이는 흡기 중의 흉곽 내압의 충분한 감소에 의한 것으로 해석할 수 있었다³⁷⁾. 각기 다른 최고 흡기압을 설정한 SNIPPV와 NCPAP의 비교 연구에서 SNIPPV는 NCPAP에 비하여 의미 있게 WOB을 감소 시켰고, 최고 흡기압 12 또는 14 cmH₂O의 두 압력에서 압력이 높을수록 WOB이 줄어든 것을 관찰하였다³⁸⁾. 발관 성공률을 무작위 비교한 연구에서는 SNIPPV는 94%에서, NCPAP은 61%에서 발관 성공률을 보여 발관 후 관리에

SNIPPV가 더 안전하고 효율적인 방법이 될 수 있다는 것을 보여주었다³⁹⁾. 2009년에 발표된 연구는 전향적으로 SNIPPV를 사용하는 병원의 자료와 NCPAP을 사용하는 병원의 결과를 비교한 것이다³⁾. 이들은 출생체중을 세 군으로 나누어 BPD의 발생을 비교하였는데, 출생체중 500-750 g인 군에서 SNIPPV를 사용한 경우 BPD 발생률이 더 낮았고(43% vs 67%; $P=0.03$), BPD 또는 사망한 환자의 비율도 의미 있게 낮았다(51% vs 76%; $P=0.02$). 다른 체중 군에서는 이러한 차이를 발견할 수 없었다. 다중논리분석으로 SNIPPV는 출생체중 500-750 g 군에서 BPD를 줄였으며(OR 0.29, 95% CI 0.11-0.77), BPD 또는 사망을 줄였다(OR 0.30, 95% CI 0.11-0.79). 신경발달장애도 의미 있게 감소시켰으며(OR 0.29, 95% CI 0.09-0.94), 뇌신경장애 또는 사망은 OR 0.18 (95% CI 0.05-0.62)로 감소시켰다. 그러나 이 연구는 전향적 연구로 무작위 비교연구가 아닌 단점이 있어 향후 대규모의 무작위 비교연구가 필요하다.

NIPPV는 어떤 종류의 기계환기에서도 적용이 가능하다. 그러나 SNIPPV는 특별한 동조 센서가 필요하며 과거에는 Graseby 캡슐(capsule)을 센서로 사용한 Infant Star (Infrasonics Inc., St Louis, USA)에서 사용할 수 있었으나 지금은 단종되었다. 복벽에 부착하여 복벽의 움직임으로 호기를 찾아내는 방식인 Graseby capsule은 다른 기종에서 채택되고 있기도 한데 과거에 제시된 부착 know-how는 다음과 같았다. 캡슐을 너무 늑골연에 가까이 부착하면 호흡곤란이 있는 환자의 경우 늑하 함몰이 동조를 방해 할 수 있고, 복부의 가장 튀어나온 부분에 붙이면 호흡이 크고 움직임이 많은 아기의 경우에는 동조가 깨지기 쉽다. 캡슐을 너무 단단히 붙이면 호흡 움직임을 잘 받아들이지 못할 수 있다³⁴⁾. 최근에 Sophie ventilator (Stephan Biomedical, Gackebach, Germany)에 SNIPPV 모듈이 장착되었으며 Graseby capsule을 센서로 사용하나 초소형 중앙처리장치(microprocessor)와 알고리즘을 이용하여 잡신호와 과도한 움직임을 걸러내기 때문에 과거의 주의점과 큰 상관 없이 안정적인 동조를 제공할 수 있다(Fig. 14). 호흡기류계(pneumothachograph)를 감지장치로 사용하는 장비도 있는데³⁹⁾, 호흡기류계의 기류저항이 있는 내부를 지나가며 기류에 나타난 압력의 변화를 측정해 기류속도와 방향을 측정하는 장치로 예민하다는 장점이 있으나 사강을 늘릴 수 있는 문제도 있다. 최근에 호흡기류계를 흡기감지 장치로 채택한 SNIPPV 환기기도 출시되었다(Medin-CNO, Medin-Medical Innovations GmbH, Puchheim, Germany). NIPPV나 SNIPPV사용 시 주의할 점은 식도의 개방압력이 낮기 때문에 동조가 되지 않는 NIPPV의 경우에는 복부팽만이 유발 될 수 있다. 또한 아기의 구강 개방압력은 통상 9-11 cmH₂O이기 때문에 흡기압이 입으로 빠져나와 환기를 부족하게 할 수도 있다. 가슴통의 물의 양이 환기량에

영향을 줄 수 있으며 0.3초 초과 호흡시간은 부적절한 호기말 양압(inadvertent PEEP)을 일으킬 수 있다.

4. 경비 이상성양압(nasal bilevel positive airway pressure, NBiPAP)

NBiPAP은 전술한 기계환기에서 BiPAP과 같은 양식이나 코를 통하여 압력을 공급하는 것이 차이이다. 압력이 늘 일정한 CPAP과 달리 고위와 저위의 두 가지 압력을 공급한다. 고위의 압력을 비교적 짧게, 저위의 압력은 상대적으로 길게 공급하며 두 가지 수준의 압력에서 자발호흡을 할 수 있도록 해준다. 과도한 압력을 피하고 폐의 과도한 확장을 피하면서 폐를 개방하려는 방법의 하나로(Fig. 15) 폐

포를 열어 호흡에 동원하고, Herring-Breuer 반사를 자극하고 J-수용기를 신장시켜 자극하여 무호흡증 발생을 방지하고 제 2형 폐포세포(pneumocyte)를 신장시켜 폐 표면활성제의 생산을 자극하는 효과를 기대한다. 동조 장치를 이용하여 동조가 가능한 장비가 출시되어 있지만 동조 자체는 만족스럽지 못하다(Infant Flow SiPAP, CareFusion, Höchberg, Germany). NIPPV/SNIPPV와 BiPAP의 다른 점은 이 장비에서처럼 최고 흡기압을 15 cmH₂O 미만으로 발생시키고, 충분한 흡기압을 발생시키려면 0.4-0.5초의 흡기시간이 필요하기 때문에 아주 작은 초미숙아의 짧은 흡기시간에 대응하기 어렵고, 동조에 불리한 것으로, 이런 차이점이 이 장비의 특성을 BiPAP으로 국한시키는 요인이 된다. 신생아를 대상으로 시행한 연구는 드문

Fig. 14. (A) A sample of synchronized nasal intermittent positive pressure ventilation (SNIPPV) tracing shows optimal synchrony. Upper portion of the picture is trace of pressure during SNIPPV. Lower portion is the abdominal wall movement detected by Graseby capsule. (B) Graseby capsule is attached to the center of abdominal wall of the patient loosely.

Fig. 15. Schematic illustration of bilevel positive airway pressure (BiPAP) represents the principle of BiPAP. To keep the alveoli open, two levels of positive airway pressure are given cyclically. The duration of “Pressure low” period is longer than the “Pressure high” period.

데, 신생아 호흡곤란증후군을 앓고 있는 미숙아 20명을 대상으로 NBiPAP과 NCPAP을 교차시험한 연구에서 NCPAP보다 경피 산소분압(transcutaneous partial pressure of oxygen, TcPO₂)과 말초 산소포화도가 더 높았고, 경피 이산화탄소 분압(TcPCO₂)과 호흡수가 더 낮아, 더 효과적인 가스교환에 기여한다고 발표하였다⁴⁰⁾. 40명의 중등도 RDS 미숙아에서 가변기류 CPAP과 BiPAP을 출생 시부터 무작위로 적용한 비교 연구에서는 두 군의 사이토카인 수준은 비슷하였음에도 BiPAP군은 호흡보조가 투여된 날이 짧았고(3.6 vs 6.2일), 산소의존도가 낮았으며(6.5일 vs 13.6일), 퇴원도 빨랐다. 향후 대규모의 무작위 비교연구가 필요하다.

5. 경비 고빈도 환기(nasal high-frequency ventilation, NHFV)

NHFV는 고전적인 방법인 bubble-CPAP에서 물방울이 터지며 만들어내는 압력의 변동이 압력의 변위를 가져오고, 아기의 기도에 전달된 압력변위는 이산화탄소의 제거를 용이하게 한다는 착안에서 발전한 것이다⁴¹⁾. 게다가 NHFV의 장점은 기계환기기를 통하여 균일한 압력을 만들어내며, 동조시킬 필요가 없다는 점이다. 단점은 재래적 CPAP, bubble-CPAP에 비하여 장비가 비싸다는 것이다. 시행된 연구는 거의 없으며 NCPAP 치료 중 악화된 21명의 신생아를 대상으로 NHFV를 시도한 연구에서 투여 2시간 후에 15명에서 이산화탄소 분압이 감소하였고, 77%의 환자에서 36시간까지 특별한 이상 없이 시행할 수 있었으나, 5명에서는 시행 6시간 만에 이산화탄소 누적과 산소요구량 증가로 NHFV를 중단하였다고 보고하였다⁴²⁾. NCPAP 사용 중에 NHFV로 두 시간 동안 교대한 교차연구에서는 NHFV를 하는 동안에 이산화탄소가 저하되었다고 보고하였다⁴³⁾. NHFV의 안정성과 유효성에 대한 많은 연구가 필요하다. 최근에 NHFV가 가능한 장비가 국내에서도 출시되었다(Medin-CNO, Medin-Medical Innovations GmbH, Puchheim, Germany).

맺음말

새로운 양식의 환기법은 초소형 중앙처리장치 등의 기술의 발달과 더불어 발전해 왔고, 임상연구를 바탕으로 환아의 치료 및 예후 개선에 도움이 된다는 근거를 쌓아왔다. 근거에 의존해 새로운 방법을 도입하는 것도 의미 있겠으나 신생아 진료 전반적인 수준의 향상이 동반되지 않고서는 새로운 장비는 무용지물일 수도 있다. 사고 관리와 예방책을 개발하여 아무리 주의를 기울여도 오히려 계획하지 않은 발판이 증가하였다는 보고⁴⁴⁾는 많은 것을 시사한다.

기계환기 중에 발생하는 갑작스런 환아 상태의 악화는 종래에는 흔히 사고로 발판이 되거나, 기관내관이 분비물로 막히거나, 폐외 공기누출이 생겼거나, 환기기의 고장을 먼저 생각하여야 했다. 미숙아 만성폐질환을 흔히 치료하고 있는 현재의 신생아 집중치료실에서는 하루 중에도 수시로 나타나는, 심한 정도는 아니라도 수시로 변동되는 산소포화도의 저하, 이산화탄소의 누적은 신생아의사라면 누구나 경험하는 일일 것이다. 이런 호흡상태 변동의 주된 원인은 환자의 기존 질환 상태의 변화나 폐혈증 등의 합병증 발생이 아닌 경우에서 생각한다면, 가장 흔한 것은 리크이고, 적절하지 못한 동조, 수시로 변할 수 있는 BPD 환자의 유순도 변화를 따라가지 못하는 환기설정, 그리고 잘못된 가슴 설정 등을 들 수 있다.

리크는 영원한 숙제일 것이다. 좀 더 굵은 기관내관을 사용하거나 머리 위치를 조절하여 줄이려는 시도를 해보지만 해결은 쉽지 않다. 오히려 그래픽 등을 활용한 리크의 확인, 발견에 집중하면 리크에 의한 저환기에 뒤따르는, 치료자가 부과하는, 고농도 산소, 압력부하 등의 폐손상을 유발할 상황을 피할 수 있을 것이다.

적절하지 못한 동조는 기계설정으로 극복하여야 한다. SIMV 보다 AC 방식이 동조가 더 좋음에도 AC 양식을 흔히 쓰지 못하는 이유는 과환기에 의한 저이산화탄소증이 염려스럽기 때문일 것인데, 이는 최고 흡기압을 줄이는 것으로 개선이 가능하다. PAV나 NAVA 등의 쾌적한 동조를 통하여 숨쉬는데 쓰이는 에너지(WOB)를 줄일 수 있다면 체중 증가가 원활해 질 수 있을 것이다. 이는 호흡기 질환이 없다 하더라도 미숙아에서 자주 출현하는 무호흡을 방지하는 방향의 치료, 양육을 목적으로 기계환기를 해야 하는 초미숙아 진료에 도움이 되는 부분이다. 또한 더 많은 연구가 필요하지만 SNIPV는 기계환기기 이탈과정에서 부드러운 동조로 유익한 영향을 줄 것이 기대된다.

용량지향 환기는 지금까지의 연구 결과를 종합해보면 BPD를 줄일 수 있는 것으로 나타났다²⁾. 제조사마다 다양한 용어를 사용하여 표현하지만 내용에 큰 차이는 없다. 용량지향 환기를 한다는 것은 환아의 매 호흡이 적절하고 충분한 일회 환기량이 되도록 지지/보조/조절 하는 것인데, 환아의 상태가 좋아지면 저절로 최고 흡기압이 줄어들며 이탈과정에 들어가게 된다. 즉 이탈의 방법은 압력 이탈로 이동하였다는 뜻이다. 재래적인 이탈은 기계환기 수를 먼저 줄이는 방식이 흔히 쓰여왔다. 그러나 환기 횟수를 먼저 줄이면 도움 받지 못하는 환아의 자발호흡이 오히려 호흡일량을 늘이고, 저환기로 폐허탈이 조장되고, 때로는 과환기로 용량손상을 입을 수도 있다. 환기 횟수 이탈에서 압력 우선 이탈로의 변화가 최신 환기방식의 중요 초점이라고 단언할 수 있다.

가슴기 설정은 늘 관심 받지 못하는 부분이다. 본 종설의 범위를

넘기 때문에 짧게 기술하면, 기계환기를 하는 환아의 폐로는 폐내 수분의 손실과 점액의 점성을 줄이기 위하여 습도가 충분한 공기를 공급하여야 하고 이는 37°C에서 상대습도 100%인 44 mg/L의 수분이 포함된 공기이다. 가슴기의 종류에 따라 차이가 있을 수 있지만 현재 쓰이는 대부분의 가슴기는 가슴통(chamber)에서 공급되는 가스에 37°C, 44 mg/L 수분을 첨가한다. 호흡회로를 지나가는 동안 이슬맺힘이 발생하지 않도록 회로에는 열선이 들어가 있으며 이 때 기도선단(회로의 Y-연결부분)의 온도 설정은 39°C로 설정해 놓아야 회로에 이슬이 생기지 않고 환자 측에 도달하며 회로 말단에 열선이 끝나는 부분에서 기관 내관으로 진행되는 동안 2°C의 온도저하가 일어나 아기의 폐에 도착할 때에는 37°C, 상대습도 100%, 44 mg/L의 수분이 폐 내로 공급된다⁴⁵⁾. 온도 설정이 제대로 안되어 있거나, 회로 내에서 이슬맺힘이 생긴 경우, 가슴기의 오동작, 가슴통 내부에 필터지가 안 들어 있거나 하는 등의 여러 가지 이유로 충분한 습기가 폐로 전달이 안 되는 경우 점막 손상이나, 점성이 높아진 기도 분비물에 의한 문제가 생기는 것도 환자의 상태를 수시로 변화게 하는 원인이 되므로 이제는 가슴기에도 많은 관심을 기울일 필요가 있다.

영국에서 신생아외사의 기계환기 설정 행태를 조사한 연구에서⁴⁶⁾ 연구자는 많은 대상 병원에서 무작위 비교연구 등에서 알려진 근거와 상관없는 설정을 하고 있는 것을 발견하고 의학적 근거가 더 잘 받아들여지게 할 방법이 필요하다고 문제 제기하였다. 우리도 같은 상황일 가능성이 높다. 우리에게서 의학적 근거를 잘 받아들여지게 할 방법, 나아가 의학적 근거를 잘 만들어 내게 하는 방법이 필요하다.

References

- McCallion N, Davis PG, Morley CJ. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in the neonate. *Cochrane Database Syst Rev* 2005;(3):CD003666.
- Wheeler K, Klingenberg C, McCallion N, Morley CJ, Davis PG. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in the neonate. *Cochrane Database Syst Rev* 2010;(11):CD003666.
- Bhandari V, Finer NN, Ehrenkranz RA, Saha S, Das A, Walsh MC, et al. Synchronized nasal intermittent positive-pressure ventilation and neonatal outcomes. *Pediatrics* 2009;124:517-26.
- Son DW. Goal of mechanical ventilation. In: Son DW, editor. *Concept of Mechanical Ventilation*. Seoul: Korean Medical Books, 2011:11-5.
- Sant'anna GM, Keszler M. Developing a neonatal unit ventilation protocol for the preterm baby. *Early Hum Dev* 2012.DOI: S0378-3782(12)00231-9 [pii]10.1016/j.earlhumdev.2012.09.010.
- Carlo WA. Gentle ventilation: the new evidence from the SUPPORT, COIN, VON, CURPAP, Colombian Network, and Neocosur Network trials. *Early Hum Dev* 2012;88 Suppl 2:S81-3.
- Keszler M. State of the art in conventional mechanical ventilation. *J Perinatol* 2009;29:262-75.
- Dimitriou G, Greenough A, Cherian S. Comparison of airway pressure and airflow triggering systems using a single type of neonatal ventilator. *Acta Paediatr* 2001;90:445-7.
- Lee J, Kim HS, Sohn JA, Lee JA, Choi CW, Kim EK, et al. Randomized crossover study of neurally adjusted ventilatory assist in preterm infants. *J Pediatr* 2012;161:803-13.e2.
- Hummler H, Schulze A. New and alternative modes of mechanical ventilation in neonates. *Semin Fetal Neonatal Med* 2009;14:42-8.
- Schulze A, Rieger-Fackeldey E, Gerhardt T, Claude N, Everett R, Bancalari E. Randomized crossover comparison of proportional assist ventilation and patient-triggered ventilation in extremely low birth weight infants with evolving chronic lung disease. *Neonatology* 2007;92:1-7.
- Herber-Jonat S, Rieger-Fackeldey E, Hummler H, Schulze A. Adaptive mechanical backup ventilation for preterm infants on respiratory assist modes - a pilot study. *Intensive Care Med* 2006;32:302-8.
- Cho K. The difference between PSV and PAV. In: Cho K, editor. *Respiratory care of the neonate*. Osaka: Medica Shuppan, 2010:114-5.
- Schulze A, Gerhardt T, Musante G, Schaller P, Claude N, Everett R, et al. Proportional assist ventilation in low birth weight infants with acute respiratory disease: A comparison to assist/control and conventional mechanical ventilation. *J Pediatr* 1999;135:339-44.
- Sinderby C, Beck J, Spahija J, Weinberg J, Grassino A. Voluntary activation of the human diaphragm in health and disease. *J Appl Physiol* 1998;85:2146-58.
- Sinderby C, Beck J, Spahija J, de Marchie M, Lacroix J, Navalesi P, et al. Inspiratory muscle unloading by neurally adjusted ventilatory assist during maximal inspiratory efforts in healthy subjects. *Chest* 2007;131:711-7.
- Luyt K, Wright D, Baumer JH. Randomised study comparing extent of hypocarbia in preterm infants during conventional and patient triggered ventilation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2001;84:F14-7.
- Dreyfuss D, Saumon G. Ventilator-induced lung injury: lessons from experimental studies. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:294-323.
- Claude N, Bancalari E. Automated respiratory support in newborn infants. *Semin Fetal Neonatal Med* 2009;14:35-41.
- Claude N, Gerhardt T, Hummler H, Everett R, Bancalari E. Computer-controlled minute ventilation in preterm infants undergoing mechanical ventilation. *J Pediatr* 1997;131:910-3.
- Cho K. New neonatal ventilators. *J Pediatr Pract* 2012;75:1491-6.
- Claude N, Suguihara C, Peng J, Hehre D, D'Ugard C, Bancalari E. Targeted minute ventilation and tidal volume in an animal model of acute changes in lung mechanics and episodes of hypoxemia. *Neonatology* 2009;95:132-40.

- 23) Wu CP, Lin HI, Perng WC, Yang SH, Chen CW, Huang YC, et al. Correlation between the %MinVol setting and work of breathing during adaptive support ventilation in patients with respiratory failure. *Respir Care* 2010;55:334-41.
- 24) Stock MC, Downs JB, Frolicher DA. Airway pressure release ventilation. *Crit Care Med* 1987;15:462-6.
- 25) Daoud EG, Farag HL, Chatburn RL. Airway pressure release ventilation: what do we know? *Respir Care* 2012;57:282-92.
- 26) Watabe S. Is APRV effective for infants with acute respiratory distress syndrome in NICU? Proceedings of the Hot topics in Neonatology Conference; 2010 Dec. 7-9; Washington DC, Washington DC: Hottopics.org, 2010:428-9
- 27) Ramanathan R. Nasal respiratory support through the nares: its time has come. *J Perinatol* 2010;30 Suppl:S67-72.
- 28) Morley CJ, Davis PG, Doyle LW, Brion LP, Hascoet JM, Carlin JB. Nasal CPAP or intubation at birth for very preterm infants. *N Engl J Med* 2008;358:700-8.
- 29) Benveniste D, Pedersen JE. A valve substitute with no moving parts, for artificial ventilation in newborn and small infants. *Br J Anaesth* 1968;40:464-70.
- 30) Karam O, Donatiello C, Van Lancker E, Chritin V, Pfister RE, Rimensberger PC. Noise levels during nCPAP are flow-dependent but not device-dependent. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2008; 93:F132-4.
- 31) Locke RG, Wolfson MR, Shaffer TH, Rubenstein SD, Greenspan JS. Inadvertent administration of positive end-distending pressure during nasal cannula flow. *Pediatrics* 1993;91:135-8.
- 32) Wilkinson D, Andersen C, O'Donnell CP, De Paoli AG. High flow nasal cannula for respiratory support in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2011;(5):CD006405.
- 33) Stefanescu BM, Murphy WP, Hansell BJ, Fuloria M, Morgan TM, Aschner JL. A randomized, controlled trial comparing two different continuous positive airway pressure systems for the successful extubation of extremely low birth weight infants. *Pediatrics* 2003;112: 1031-8.
- 34) Mahmoud RA, Roehr CC, Schmalisch G. Current methods of non-invasive ventilatory support for neonates. *Paediatr Respir Rev* 2011;12:196-205.
- 35) Davis PG, Lemyre B, de Paoli AG. Nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV) versus nasal continuous positive airway pressure (NCPAP) for preterm neonates after extubation. *Cochrane Database Syst Rev* 2001;(3):CD003212.
- 36) Meneses J, Bhandari V, Alves JG. Nasal intermittent positive-pressure ventilation vs nasal continuous positive airway pressure for preterm infants with respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2012;166:372-6.
- 37) Moretti C, Gizzi C, Papoff P, Lampariello S, Capoferri M, Calcagnini G, et al. Comparing the effects of nasal synchronized intermittent positive pressure ventilation (nSIPPV) and nasal continuous positive airway pressure (nCPAP) after extubation in very low birth weight infants. *Early Hum Dev* 1999;56:167-77.
- 38) Aghai ZH, Saslow JG, Nakhla T, Milcarek B, Hart J, Lawrysh-Plunkett R, et al. Synchronized nasal intermittent positive pressure ventilation (SNIPPV) decreases work of breathing (WOB) in premature infants with respiratory distress syndrome (RDS) compared to nasal continuous positive airway pressure (NCPAP). *Pediatr Pulmonol* 2006;41:875-81.
- 39) Moretti C, Giannini L, Fassi C, Gizzi C, Papoff P, Colarizi P. Nasal flow-synchronized intermittent positive pressure ventilation to facilitate weaning in very low-birthweight infants: unmasked randomized controlled trial. *Pediatr Int* 2008;50:85-91.
- 40) Migliori C, Motta M, Angeli A, Chirico G. Nasal bilevel vs. continuous positive airway pressure in preterm infants. *Pediatr Pulmonol* 2005;40:426-30.
- 41) Pillow JJ, Hillman N, Moss TJ, Polglase G, Bold G, Beaumont C, et al. Bubble continuous positive airway pressure enhances lung volume and gas exchange in preterm lambs. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;176:63-9.
- 42) van der Hoeven M, Brouwer E, Blanco CE. Nasal high frequency ventilation in neonates with moderate respiratory insufficiency. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1998;79:F61-3.
- 43) Colaizy TT, Younis UM, Bell EF, Klein JM. Nasal high-frequency ventilation for premature infants. *Acta Paediatr* 2008;97:1518-22.
- 44) Ligi I, Millet V, Sartor C, Jouve E, Tardieu S, Sambuc R, et al. Iatrogenic events in neonates: beneficial effects of prevention strategies and continuous monitoring. *Pediatrics* 2010;126:e1461-8.
- 45) Yamata Y. Temperature and humidity of the ventilating gas. In: Cho K, editor. *Respiratory care of the neonate*. Osaka: Medica Shuppan, 2010:137-47.
- 46) Sharma A, Greenough A. Survey of neonatal respiratory support strategies. *Acta Paediatr* 2007;96:1115-7.