



Review Article

Arch Pediatr Crit Care 2023;1(2):41-45
<https://doi.org/10.32990/apcc.2023.00066>

초보자를 위한 소아 기계환기 초기 설정과 모니터링

김경원

연세대학교 의과대학 세브란스병원 소아과학교실

Easy steps for the initial settings and early monitoring of mechanical ventilation in children

Kyung Won Kim

Department of Pediatrics, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Invasive mechanical ventilation is a crucial strategy for saving the lives of patients with acute or chronic respiratory failure, even in children. Physicians should be capable of establishing the initial settings for mechanical ventilation when faced with a patient in need. This review paper offers practical guidance on the initial settings of pediatric mechanical ventilation, covering indications for mechanical ventilation; initial settings such as basic modes, peak inspiratory pressure or tidal volume, respiratory rate, inspiratory time or ratio, fraction of inspired oxygen, positive end-expiratory pressure, and trigger; and the early monitoring strategy after the initial settings. This information is expected to be beneficial for physicians, particularly residents and early-career pediatric practitioners.

Keywords: Mechanical ventilators; Pediatric intensive care units; Respiratory insufficiency

서론

기계환기(mechanical ventilation) 방법은 크게 비침습적(noninvasive) 방법과 침습적(invasive) 방법으로 나눌 수 있다. 호흡부전(respiratory failure) 환자에서 비침습적 방법을 시도 후 적절하게 유지되지 않는 경우에 침습적 기계환기를 단계적으로 적용하는 경우도 있고, 환자의 호흡부전이 급격하게 진행되는 경우에는 침습적 기계환기를 즉시 적

용하는 것이 필요한 경우도 있다. 침습적 기계환기는 호흡부전 환자들의 생명을 구하는 중재술이다. 그러나 기계환기 적용으로 부작용이 발생할 수 있다는 점을 기억하고 부작용을 최소화하는 전략으로 사용해야 한다.

소아는 키와 몸무게를 포함한 몸의 크기의 환자 간 차이가 크고, 폐의 성숙도 차이도 상당하다. 더욱이 급성 또는 만성 질환 유무에 따라 침습적 기계환기의 적용 전략이 다를 수 있어 임상적인 근거 마련도

Received: December 4, 2023 Revised: December 17, 2023 Accepted: December 19, 2023

Corresponding author: Kyung Won Kim

Department of Pediatrics, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea

Email: kwkim@yuhs.ac

© 2023 by Korean Society of Pediatric Critical Care Medicine

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

어려움이 있다[1]. 본 종설에서는 입문자를 위한 소아 침습적 기계환기의 실제 초기 적용에 대해 다루고자 한다. 기계환기 원리, 모드(mode), 모니터링(monitoring) 및 이탈(weaning)을 포함한 전반적인 내용에 대해서는 다른 문헌을 참고하기 바란다[2-4].

기계환기의 적응증

기계환기는 양압환기(positive pressure) 방법으로 이루어지며 자발호흡을 완전히 또는 부분적으로 대체하는 방법이다. 침습적 기계환기는 기관삽관 후 적용하게 되는데, (1) 산소화 또는 (2) 환기가 부적절하거나, (3) 기도가 안전하게 확보되지 않는 경우에 적용한다[5]. 부적절한 산소화에 해당하는 경우는 비침습적 기계환기에도 불구하고 저산소증(hypoxemia)이 지속되는 경우, 폐부종(pulmonary edema) 또는 폐출혈(pulmonary hemorrhage) 등으로 호기말양압(positive end-expiratory pressure [PEEP])이 필요한 경우와 과도한 호흡 부담을 보이는 경우 등이 있다. 부적절한 환기는 호흡근의 기능 부전, 호흡 의지의 감소, 기도 저항의 증가 또는 기도 폐쇄 등으로 야기될 수 있다.

기계환기의 초기 세팅

기계환기의 초기 세팅이 환자의 기저질환과 호흡부전의 원인 및 질병 상태에 맞는 최적의 세팅이면 좋겠지만, 환자의 상황에 따라서 응급상황에서 설정하다 보면 처음부터 가장 적절하게 세팅하는 것이 어려울 수 있다. 호흡부전으로 인한 악화를 막는 지체 없는 세팅으로 시작하고 환자에 맞는 최적의 세팅으로 빠르게 조절하는 것이 적절한 경우도 있다. 연령에 따른 기계환기의 초기 세팅을 Table 1에 정리하였다.

기계환기 모드(mode)

압력조절환기(pressure-controlled ventilation)는 환기 압력을 일정하게 공급하고, 용적조절환기(volume-controlled ventilation)는 용적과 유속(flow rate)을 일정하게 공급하는 모드이다. 즉, 압력조절환기는

정해진 시간 동안 일정한 압력을 공급하므로 환자의 상태에 따라 용적과 유속이 변할 수 있고, 용적조절환기는 일정한 유속으로 정해진 용적을 공급하는 방식으로 환자의 상태에 따라 압력이 달라진다(Fig. 1). 압력조절환기가 어린 소아에서 일반적으로 우선적으로 적용되는 경향이 있지만 용적조절환기와 비교하여 우월하다는 근거는 없다[4,6]. 초기부터 환자의 호흡 부전의 원인과 상태에 따라 선택하면 좋겠지만 익숙한 모드로 시작하고 모니터링하면서 최적화하는 것도 가능하다.

최고흡기압(peak inspiratory pressure) 및 일회호흡량(tidal volume)

압력조절환기 모드로 선택한 경우 최고흡기압을 정해야 한다. 최고흡기압은 16-25 cm H₂O로 시작한다. 폐질환이 없는 경우 16 cm H₂O으로, 폐질환이 있는 경우 25 cm H₂O로 시작한다. 호흡기에 따라 최고흡기압으로 세팅하는 경우도 있고, 최고흡기압과 호기말양압의 차이(above PEEP, delta pressure)로 세팅해야 하는 경우도 있으므로 주의해야 한다. 세팅한 최고흡기압에서 적절한 일회호흡량이 확보되고 있는지 모니터링해야 한다. 폐의 유순도가 낮아지면 동일한 최고흡기압을 유지해도 일회호흡량이 줄어들기 때문에, 일회호흡량 확보를 위하여 최고흡기압을 높이는 것이 필요할 수 있다.

용적조절환기 모드로 선택한 경우 일회호흡량을 정해야 한다. 일반적으로 일회호흡량은 5-8 mL/kg로 시작한다[7]. 이때 환자의 몸무게는 실제 몸무게가 아닌 예측 몸무게를 기준으로 하지만[8], 약 152 cm보다 키가 작은 소아 환자들에게 적용하기는 어려워 실제 몸무게로 적용하는 경우가 많다. 환자의 질환을 고려하여 설정하도록 하며, 고원압력(plateau pressure) (Fig. 1)이 30 cm H₂O 미만으로 유지하는 것을 권고한다[9]. 폐의 유순도가 낮아지면 동일한 일회호흡량을 유지해도 최고흡기압이 높아지기 때문에, 최고흡기압 모니터링이 필요하다[7].

분당 호흡수(respiratory rate), 흡기 시간(inspiratory time) 및 흡기 대 호기 비율

분당 호흡수 및 흡기시간은 연령에 따른 정상범위를 고려하여 설정한

Table 1. Initial settings for mechanical ventilation in children according to age group

Variable	Age group		
	<1 yr	1-12 yr	>12 yr
PIP for pressure-controlled ventilation (cm H ₂ O)		16-25	
TV for volume-controlled ventilation (mL/kg)		5-8	
Respiratory rate (breaths/min)	20-40	15-25	12-20
Inspiratory time (sec)	0.4-0.6	0.7-0.9	0.9-1.2
FiO ₂ (%)	Start with 1.0, rapidly wean to ≤0.6		
PEEP (cm H ₂ O)		3-8	
Flow trigger (L/min)	0.25-0.5		0.8-2.0

Values are presented as range.

PIP, peak inspiratory pressure; TV, tidal volume; FiO₂, fraction of inspired oxygen; PEEP, positive end-expiratory pressure.

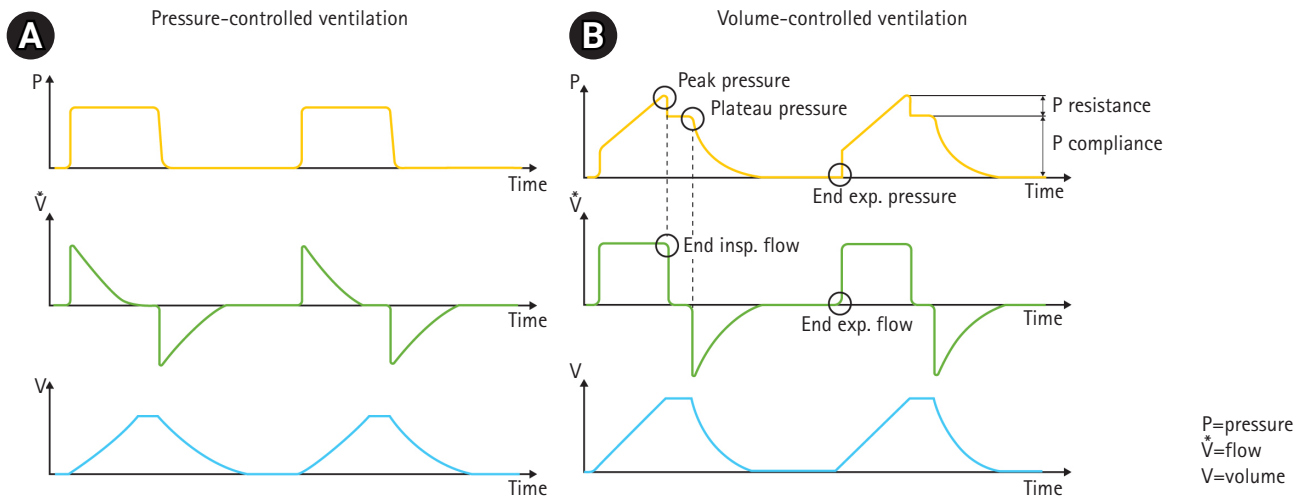


Fig. 1. Pressure, flow, and volume waveforms for pressure-controlled (A) and volume-controlled ventilation (B). Pressure-controlled ventilation requires the physician to set the peak inspiratory pressure, whereas volume-controlled ventilation requires the physician to set the tidal volume and peak inspiratory flow rate, which affect the inspiratory time or ratio. exp, expiratory; insp, inspiratory.

다[10]. 흡기 대 호기 비율의 정상범위는 1:2 또는 1:3 정도이다. 분당 호흡수는 1세 미만 영아에서 20-40회, 2세 이상 12세 이하 소아에서 15-25회, 13세 이상 청소년에서 12-20회 범위에서 설정하는 것이 일반적이다. 흡기시간은 1세 미만 영아에서 0.5초 전후, 2세 이상 12세 이하 소아에서 0.8초 전후, 13세 이상 청소년에서 1초 전후로 한다. 부적절하게 분당 호흡수가 높아지면 자가 호기말양압(auto-PEEP)이 생길 수 있어서 주의가 필요하다. 용적조절환기에서 흡기시간을 조절하면 유속에 영향을 준다는 것도 기억해야 한다.

흡기 산소 분압(fraction of inspired oxygen [FiO_2])

기계환기 시작 전의 환자의 산소 요구량에 따라 결정한다. 1.0에서 시작하여 PaO_2 를 모니터링하면서 0.5-0.6 수준으로 빠르게 줄이는 전략을 사용한다.

호기말양압(PEEP)

호기말양압은 기도 폐쇄와 폐포 허탈을 예방하여 산소화를 호전시킨다[7]. 초기 세팅으로 5-6 cm H_2O 에서 시작하는 경우가 많다. 급성호흡부전증후군(acute respiratory distress syndrome)에서 높은 호기말양압을 적용하는 경우가 있는데 적절하게 호기말양압과 FiO_2 의 균형을 맞춰서 조정하도록 한다[7]. 예를 들어, FiO_2 를 0.6 이하 수준으로 줄일 수 없는 경우에는 호기말양압을 10 이상으로 올리는 것을 고려해야 한다.

트리거(trigger)

트리거는 기계가 호흡보조를 시작하게 하는 기전에 따라 다르다. 기류의 변화를 감지하여 호흡보조가 시작되는 경우(flow trigger) 보통 영

아 0.4-1.0 L/min에서 청소년 0.8-2.0 L/min 정도로 트리거 역치(trigger threshold)를 세팅하면 적절하다[11]. 즉, 환자가 자발호흡이 있을 때, 자발호흡으로 인한 기류의 변화가 세팅 되어있는 역치를 넘어서면 환자의 자발호흡의 시작으로 인식되어 호흡보조가 시작되는 것이다(assisted ventilation). 압력의 변화를 감지하여 호흡보조가 시작되는 경우(pressure trigger)에는 소아의 경우 -1 cm H_2O 로 트리거 역치를 세팅하면 된다[12].

기계환기 초기 세팅의 고려 사항

기계환기는 기계환기로 인한 이차적인 폐손상을 최소화하는 가능한 낮은 압력에서 환자의 대사 요구량을 충족시키는 충분한 분당 호흡량(minute ventilation)과 산소를 전달해야 한다[4,6]. 또한 기계환기는 환자의 호흡 부담을 줄이고 호흡이 편안하도록 최적화해야 한다. 이를 위하여 환자가 필요로 하는 흡기 유량에 맞추어 유속을 세팅하는 것이 필요할 수 있다. FiO_2 은 산소 독성 위험을 줄이기 위하여 적절한 선에서 가능한 한 빠르게 줄여야 한다. 호기말양압은 환자에게 혈액학적 부담을 주지 않는 선에서 폐포 허탈을 예방하고 산소화를 호전시킬 수 있도록 최적화해야 한다.

기계환기 적용 후 초기 모니터링

기계환기의 초기 세팅이 완료되면 초기 모니터링이 필수적이다. 기계환기의 목적에 따라 적절하게 산소화 및 환기 여부를 관찰해야 하며, 기계환기의 세팅이 부적절해서 생기는 2차 폐손상 여부 및 혈액학적 변화를 관찰해야 한다[4]. 적절한 산소화 여부는 동맥혈 가스 결과로

판단할 수 있고, 목표 범주는 pH 7.35-7.45, PaCO₂ 35-45 mm Hg, PaO₂ 80-100 mm Hg, HCO₂ 22-26 mEq/L, BE-ECF -2 to 2이다. 만약, 기계환기 중에 급격하게 산소포화도가 떨어진다면 다음의 사항을 확인해야 한다. 기관 내 삽관된 관의 위치(Displacement of tracheal tube) 및 폐쇄(Obstruction of tracheal tube) 여부 확인, 기흉(Pneumothorax) 등의 공기 누출 확인, 기계 작동 이상(Equipment failure) 확인이 필요하며, 이를 약자로 DOPE이라고 부르며 기억하기도 한다.

기계환기를 적용하는 목적 중 중요한 한 가지가 호흡부전 환자의 호흡을 편안하게 보조하는 것인데, 환기기계와 환자의 요구도가 잘 맞지 않으면 환자의 호흡부담은 줄어들지 않고, 불필요한 진정을 유지해야 하는 경우도 발생할 수 있다[13,14]. 환자의 호흡 노력이 줄어들지 않는다면, 환기기계의 트리거 역치의 설정이 적절한지, 적절한 유속으로 알맞은 유량이 공급되고 있는지를 확인하고, 호흡 주기와 호기말양압 등을 조절해 주면서 기계 세팅을 다시 한번 살펴볼 필요가 있다. 또한 환자의 질환 경과에 맞추어 통증 조절과 적절한 진정으로 호흡 노력과 구동을 맞추는 등의 환자 측면의 요소도 살펴야 한다.

결론

기계환기의 적용은 실제 경험이 중요하다. 경험하지 못한 지식은 특히 기계환기를 다루는데 오히려 상당한 장애물이 될 수도 있다. 실제로 기계환기를 적용하고 있는 환자들에게 가서 기계를 만져보고 모니터를 보면서 실제적인 지식과 경험을 쌓는 것이 중요하다. 또한 본 종설의 내용을 시작으로 기계환기의 원리를 포함한 심화 교육이 필수적이다.

CONFLICT OF INTEREST

Kyung Won Kim is an editorial board member of the journal but was not involved in the peer reviewer selection, evaluation, or decision process of this article. No other potential conflicts of interest relevant to this article were reported.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1A2C1010462).

The author appreciates the Medical Illustration & Design (MID) team, which is part of Medical Research Support Services of Yonsei University College of Medicine, for their excellent support with medical illustration.

ORCID

Kyung Won Kim <https://orcid.org/0000-0003-4529-6135>

REFERENCES

1. Duyndam A, Ista E, Houmes RJ, van Driel B, Reiss I, Tibboel D. Invasive ventilation modes in children: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2011;15:R24.
2. Abu-Sultaneh S, Iyer NP, Fernández A, Gaies M, González-Dambrauskas S, Hotz JC, et al. Executive summary: International Clinical Practice Guidelines for Pediatric Ventilator Liberation, A Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network Document. *Am J Respir Crit Care Med* 2023;207:17-28.
3. Alibrahim O, Rehder KJ, Miller AG, Rotta AT. Mechanical ventilation and respiratory support in the pediatric intensive care unit. *Pediatr Clin North Am* 2022;69:587-605.
4. Kneyber MC, de Luca D, Calderini E, Jarreau PH, Javouhey E, Lopez-Herce J, et al. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med* 2017;43:1764-80.
5. Sarnaik AP, Clark JA, Heidemann SM. Respiratory distress and failure. In: Kliegman RM, Geme JW, Blum NJ, Shah SS, Tasker RC, Wilson KM, editors. *Nelson textbook of pediatrics*. Elsevier; 2020. p. 583-601.
6. Fernández A, Modesto V, Rimensberger PC, Korang SK, Iyer NP, Cheifetz IM, et al. Invasive ventilatory support in patients with pediatric acute respiratory distress syndrome: from the Second Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2023;24(12 Suppl 2):S61-75.
7. Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16:428-39.
8. Acute Respiratory Distress Syndrome Network; Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, et al. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000;342:1301-8.
9. Rimensberger PC, Cheifetz IM; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Ventilatory support in chil-

- dren with pediatric acute respiratory distress syndrome: proceedings from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16(5 Suppl 1):S51-60.
10. Bae W, Kim K, Lee B. Distribution of pediatric vital signs in the emergency department: a nationwide study. *Children (Basel)* 2020;7:89.
 11. Murias G, Villagra A, Blanch L. Patient-ventilator dyssynchrony during assisted invasive mechanical ventilation. *Minerva Anestesiol* 2013;79:434-44.
 12. Hill LL, Pearl RG. Flow triggering, pressure triggering, and autotriggering during mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2000;28:579-81.
 13. Gilstrap D, MacIntyre N. Patient-ventilator interactions: implications for clinical management. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188:1058-68.
 14. Blokpoel RG, Burgerhof JG, Markhorst DG, Kneyber MC. Patient-ventilator asynchrony during assisted ventilation in children. *Pediatr Crit Care Med* 2016;17:e204-11.