

비침습적 양압기계환기 중 발생하는 기흉의 임상 특성

이보라,¹ 신소현,¹ 김민정,¹ 김은지,¹ 최윤정,² 박준동,¹ 서동인¹

¹서울대학교 의과대학 소아과학교실, ²소화아동병원 소아청소년과

Clinical characteristics of pediatric pneumothorax during a noninvasive positive pressure ventilation

Bo Ra Lee,¹ So Hyun Shin,¹ Min Jung Kim,¹ Eunji Kim,¹ Yun Jung Choi,² June Dong Park,¹ Dong In Suh¹

¹Department of Pediatrics, Seoul National University Children's Hospital, Seoul; ²Sowha Children's Hospital, Seoul, Korea

Purpose: Noninvasive positive pressure ventilation (NIPPV) is one of the ventilation-supporting methods by providing adequate exogenous pressure without intubation or tracheostomy. We aimed to assess the frequency and clinical factors for pneumothorax occurring during NIPPV application in a tertiary children's hospital.

Methods: We selected cases of pneumothorax related to NIPPV by keyword searching in our institution's clinical data warehouse, and their medical records were retrospectively reviewed.

Results: During a period of 17 years, 15 cases undergoing NIPPV developed pneumothorax, which was an incidence of 0.64% (15 of 2,343). There were 9 neonates and 6 adolescents. In 9 neonates, pneumothorax was caused by the continuous positive airway pressure (CPAP) ventilator, and occurred on 2 days after birth (median, range 1–3 days). In neonates, pneumothorax developed within 36 hours after CPAP application. One neonate underwent tracheal intubation and 3 neonates underwent chest tube insertion. In the postteenager group, pneumothorax developed 23 months (median, range 5 days to 47 months) after NIPPV application with a mask. All of the 6 patients had underlying neuromuscular disorders and one had superimposed interstitial lung disease. One of the 7 cases underwent surgical treatment and 4 cases were intubated. One case died from the deterioration of underlying interstitial lung disease.

Conclusion: Although it rarely happens, the NIPPV can result in pneumothorax. In most cases, it can be resolved by supportive cares with oxygen or chest tube with or without tracheostomy. The prognosis is related to the type of underlying disease and its progression. (*Allergy Asthma Respir Dis* 2019;7:51-56)

Keywords: Noninvasive ventilation, Pneumothorax, Respiratory insufficiency

서 론

비침습양압환기(noninvasive positive pressure ventilation, NIPPV)는 호흡부전이 임박한 환자에서 적절한 환기를 확보하기 위해 기관삽관을 하지 않고 마스크 등을 통해 외부에서 적절한 양압을 제공하는 보조 호흡 방법이다.¹ 압력을 제공하는 것만으로도 호흡부전을 개선시키는 효과가 있어 호흡부전이 임박한 환자에서 기관삽관 전단계의 치료로 활용이 확대되고 있다.²⁻⁶ 특히 호흡근력의 저하로 호흡부전이 점차로 진행되는 신경근육질환 환자에서는 기계 양압 환기를 하루 종일 적용하는 대신 수면 중에만 간헐적으로

적용하여도 일상 생활의 유지를 가능하게 한다.⁷⁻¹¹ 이때 기관절개를 시행하거나 기관 내 삽관을 번번이 시행하지 않더라도 양압환기를 수시로 적용하고 이탈시키기를 반복할 수 있어 앞서 언급한 방법보다 생활 친화적이라는 장점이 있다.² 한편 NIPPV는 급성호흡부전으로 침습적 기계환기를 시행받던 환자가 기계환기를 이탈하고자 할 때, 발관 후 과도기적 단계의 대처법으로, 재삽관을 예방하려는 목적으로도 사용이 확대되고 있다.^{1,4,12}

그러나, NIPPV는 상기도 외부에 마스크 등으로 압력을 전달하기에 침습적 기계환기처럼 직접적으로 하부 기도에 도달하는 압력을 정교하게 조절할 수 없다. 따라서 환자의 상기도 상태나 분비물, 울

Correspondence to: Eunji Kim <https://orcid.org/0000-0003-4020-7076>
Department of Pediatrics, Seoul National University Children's Hospital, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea
Tel: +82-2-2072-3778, Fax: +82-2-2072-3917, E-mail: mdkim78@naver.com
Received: September 28, 2018 Revised: October 22, 2018 Accepted: October 22, 2018

© 2019 The Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Disease
The Korean Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology
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/>).

거나 힘주는 행위 등에 따라 압력이 부족하거나 혹은 과도하게 전달될 수 있다.¹³ 압력이 부족하게 전달되는 경우 산소 포화도 감소나 이산화탄소 축적 등이 유발될 수 있으며, 압력이 과도하게 전달되는 경우, 기흉이 발생할 우려가 있다.^{4,5,14} 비록 NIPPV가 어느 정도의 공기 누출을 허용하기에 다른 침습적 호흡보조법보다 기흉의 발생 위험이 낮을 것이라 생각할 수 있으나 산소포화도 확보를 위해 순응도가 감소한 폐에 압력을 높게 설정한 경우, 기침 등으로 인해 급격히 섯 압력이 주어질 때 기흉이 발생할 우려는 사라지지 않는다.¹⁵

기흉은 양압환기와 관련된 주요 합병증 중 하나로, 침습적 기계환기를 적용 중인 환자에서 기흉 발생률은 0.5%–40%에 이른다.¹⁵ 그러나 NIPPV 적용과 관련된 기흉의 발생은 드물다고만 알려져 있고¹⁶ 정확한 발생률에 대한 보고는 부족하다. 또한 NIPPV를 적용하다가 실제로 기흉이 발생한 환자들의 기저질환 및 적용기간에 대해 분석한 연구는 아직 없는 실정이다. 따라서 향후 보다 안전한 진료와 효과적 대처를 위해 NIPPV를 적용하면서 기흉이 발생한 사례들을 검토하여, NIPPV와 연관된 기흉 발생의 임상 요인과 환자군의 양상을 파악할 필요가 있다.

대상 및 방법

본 기관에 최근 도입된 임상정보 데이터웨어하우스(clinical data warehouse)를 통해 NIPPV 관련 기흉이 발생한 대상을 추출하여 의무기록을 검토하였다. NIPPV의 범주로는 이상성 양압호흡기(bilevel positive airway pressure, BiPAP)와 지속성기도양압(continuous positive airway pressure, CPAP)을 포함하였으며, high flow nasal cannula는 포함시키지 않았다. 대상 기간은 2000년부터 2018년 8월까지로 본 기관에 전자의무기록 시스템이 도입된 이래 모든 환자에 대해 검색을 적용하였다. 검색 대상은 어린이병원에

Table 1. Keywords used in defining the case of pneumothorax associated with the noninvasive positive airway pressure ventilatory support

Diagnostic keyword (ICD 10)	Nursing records keyword*
Pneumothorax (J939)	Bilevel positive airway pressure
Pneumothorax in the perinatal period (P251)	Nasal continuous positive airway pressure
Spontaneous tension pneumothorax (J930)	Positive end expiratory pressure
Secondary spontaneous pneumothorax (J931)	Type of ventilator (bipap) [†]
Iatrogenic pneumothorax (J938)	Expiratory positive airway pressure
Hydropneumothorax (J948)	EPAP
Hemopneumothorax (J942)	Inspiratory positive airway pressure
Other pneumothorax (J938)	IPAP

ICD 10, International Statistical Classification Of Diseases And Related Health Problems, 10th revision; EPAP, expiratory positive airway pressure.

*During the keyword searching, at least one Korean term of “applying”, “applied” or “changed” were added to the keywords listed below. [†]The original Korean phrases were translated into English ones.

입원한 환자로 한정하였으며, NIPPV 적용 여부와 기흉 발생 여부는 Table 1에 제시된 검색어를 각각 간호진술문과 진단명에 적용하여 이 둘이 모두 존재하는 경우를 일차 검색 대상으로 확정하였다. 이들 가운데, 개별 의무기록을 검토하여 시간적 선후관계와 인과성이 확인된 대상을 최종 증례로 확정하였다. 침습적 기계환기를 적용하다가 기흉이 발생한 경우, NIPPV 적용 시점과 동떨어진 시기에 기흉이 발생한 경우, 개흉 수술 혹은 비디오보조흉강경 수술 후 기흉이 관찰된 경우는 포함시키지 않았다. 외과적 수술 직후 기흉이 발생한 경우는 대상에서 제외하였다.

해당 증례의 의무기록을 검토하여 인구학적 정보, 적용된 호흡보조의 종류와 설정, 기흉 발생 당시 임상정보를 수집, 분석하였다. 통계소프트웨어는 IBM SPSS Statistics ver. 23.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 중앙값과 범위, 빈도 등을 계산하였다. 군 간 비교는 Wilcoxon rank sum test를 시행하였다. 이 연구는 서울대학교병원 의학연구 윤리심의위원회의 승인을 받았으며, 대상자로부터의 동의 획득은 면제되었다(승인번호: 1808-007-962).

결 과

연구 대상자 선정 흐름도는 Fig. 1과 같다. 기흉 관련 진단명 중 traumatic pneumothorax를 제외한 진단명을 넣은 결과 총 611명

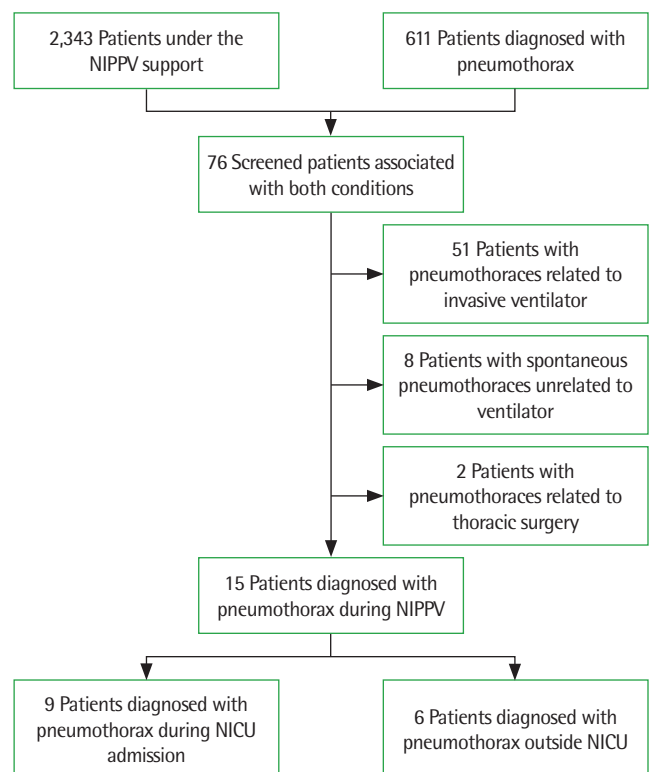


Fig. 1. Flow chart of subjects being analyzed. NIPPV, noninvasive positive pressure ventilation; NICU, neonatal intensive care unit.

(4,933건)이 검색되었고, 간호진술문 중 NIPPV 관련 검색어를 넣은 결과 총 2,343명(402,933건)이 검색되었다. 이 중 1세 미만의 신생아가 총 1,995명이었고, 1세 이상 12세 미만 소아가 188명, 12세 이상 환자가 160명이었다. NIPPV와 기흉의 두 조건을 동시에 만족하는 대상자는 총 76명이었으며, 이 76명의 의무기록을 검토하여 NIPPV 적용과 관련하여 발생한 기흉 사례를 검토한 결과 최종적으로 15명에서 16예가 발생하였다. 즉, NIPPV 사용과 관련한 기흉의 발생률은 0.64% (15/2,343)였다. 15명의 대상 중 1세 미만의 신생아가 총 9명이었고, 1세 이상 12세 미만의 소아는 없었으며, 12세 이상 환자가 6명이었다. 따라서 연령대별 발생률은 1세 미만 영아에서 0.45% (9/1,995), 1세 이상 12세 미만 소아에서 0%, 12세 이상 환자에서는 3.75% (6/160)였다. 12세 이상 환자 중 1명에서 기흉이 두 차례 발생하였다.

기흉이 발생할 당시 환자의 임상적 특성은 Table 2와 같다. 신생아중환자실에서 기흉이 발생한 환자들은 재태 주수 중앙값 34주 4일(범위: 28주 3일–37주 3일)로 출생하였고 출생 시 몸무게는 중앙값 1.94 kg (범위: 1.12–3.72 kg)이었다. 이들 9명 대상자 중 3명은 출생 직후 신생아실로 입실한 이후에 호흡부전 증상을 보여 신생아중환자실로 전동되었는데, 2명은 일과성신생아빈호흡 의심하에 곧바로 NIPPV를 적용하였고, 1명은 신생아호흡곤란중후군 의심하에 폐계면활성제(pulmonary surfactant) 투약 후 NIPPV를 적용하였다. 나머지 6명 중 5명은 출생 직후 신생아중환자실로 입실하여 NIPPV를 적용하였고, 1명은 출생 직후 분만장에서 기관삽관을 시

행한 채 입실하여 기계호흡보조를 받다 생후 이틀째 발관하고 NIPPV를 적용하였다. 기흉이 발생한 나이는 중앙값 2일(범위: 1–3 일)이었고, 모두 NIPPV 적용 36시간 내에 기흉이 발생하였다. 신생아를 제외하고 소아청소년과에서 추적관찰 중인 환자는 6명으로 총 7예의 기흉이 발생하였다. 기흉이 발생한 나이는 중앙값 22세(범위: 12–25세)였고 남자가 5명으로 많았다. 몸무게는 중앙값 29.4 kg (범위: 22.5–39.7 kg)이었고, 체질량지수는 중앙값 11.2 kg/m² (범위: 8.0–15.4 kg/m²)이었다. 여섯 명 모두 신경-근질환을 앓고 있었고, 한 명은 이차성 간질성폐손상이 함께 있었다. 기흉은 NIPPV를 시작한 지 중앙값 23개월(범위: 5일–3년 11개월) 후에 발생하였다. 7예 중 4예(57.1%)는 선행하는 호흡기감염이나 질병악화의 선행징후 없이 기흉이 발생한 반면 나머지 3예 중 2예는 중환자실에서 각각 선행한 폐렴과 간질성폐질환의 악화로 치료받던 중, 1예는 병동에서 폐렴으로 치료받던 중 기흉이 발생하였다. 기침이나 흡기시 악화되는 흉통이나 주관적 호흡곤란이 기흉 발생과 연관된 선행증상이었다.

기흉이 발생할 당시 환자에게 적용된 NIPPV의 종류와 설정값은 Table 3과 같다. NIPPV를 적용했던 환자군 중 1세 미만 신생아들은 318명(15.94%)에서 BiPAP을 적용하였으나, 1세 이상의 연령에서는 338명(97.13%)에서 호흡보조로 BiPAP을 적용하였다. BiPAP 적용 여부와 기흉 발생의 유의한 연관성은 없었다($P=0.385$). 신생아의 실제 기흉 발생 사례는, 모두 중환자실에서 CPAP를 코에 마스크로 연결하여 적용하던 중 발생하였다. 당시 적용된 호기말 양압(positive end expiratory pressure, PEEP)은 중앙값 5 cmH₂O (범위: 4–7 cmH₂O)였다. 한편 소아(혹은 그 이상 연령대) 기흉발생 환자 6명은 BiPAP을 얼굴 혹은 코 마스크로 적용하던 중 기흉이 발생하였다. 이들 6명 중 1명은 기저 폐질환의 악화로 입원치료를 받던 중 양압환기를 처음 적용한 지 5일만에 기흉이 발생하였고, 5명(83.3%)은 평소에도 NIPPV를 적용하고 있었다. 5명 모두 양압환기를 24시간 적용하지 않고, 밤에 잘 때는 규칙적으로 사용하는 대

Table 2. Demographic and clinical characteristics of study patients

Variable	Neonate (n=9)	Adolescence and young adults (n=6)
Male sex	3 (33.3)	5 (83.3)
Age	2 days (1–3 days)	22 years (12–25 years)
Body weight (kg)	1.91 (1.12–3.71)	29.4 (22.5–39.7)
Body mass index (kg/m ²)	NA	11.2 (8.0–15.4)
Gestational age at birth (wk)	34.6 (28.4–37.4)	NA
Body weight at birth (kg)	1.94 (1.12–3.72)	NA
NIPPV duration till pneumothorax	12 hours (0.5–30 hours)	23 months (0–47 months)
Underlying disease or conditions (n)	Preterm (6) Term (3)	Muscular dystrophy (4) Myasthenia gravis (1) Dermatomyositis (1)
Predisposing factors (n)	TTN (2) RDS (1) RD of newborn (6)	Pneumonia (2) ILD progression (1)
Initial symptom (n)	Respiratory distress	Dyspnea (2) Chest discomfort (2) Nonspecific (2)
Chest wall deformity	0 (0)	5 (83.3)

Values are presented as number (%) or median (range) unless otherwise indicated. NA, not available; TTN, transient tachypnea of newborn; RDS, respiratory distress syndrome; RD, respiratory distress; ILD, interstitial lung disease.

Table 3. Comparison of ventilator mode and setting values between the 2 groups

Variable	Neonate (n=9)	Adolescence and young adults (n=7)
Mode (n)	CPAP (9)	BiPAP, volume (1) BiPAP, pressure (6)
PEEP or EPAP (cmH ₂ O)	5 (4–7)	6 (5–8)
IPAP (cmH ₂ O)	NA	7 (5–10)
Mechanical in-exsufflator	0 (0)	2 (28.6)
Type of ventilatory circuit (n)	NA	Active (3) Passive (4)

Values are presented as number (%) or median (range) unless otherwise indicated. CPAP, continuous positive airway pressure; BiPAP, bilevel positive airway pressure; PEEP, positive end expiratory pressure; EPAP, expiratory positive airway pressure; IPAP, inspiratory positive airway pressure; NA, not available.

Table 4. Comparison of treatment and procedures between the 2 groups

Group	Case	O ₂ supply	Chest tube	Intubation	Bullectomy	Tracheostomy
Neonates	1	V	V	V		
	2	V	V	V		
	3	V	V			
	4	V		V		
	5	V				
	6	V				
	7	V				
	8	V				
	9	V				
Adolescents and young adults	10*	V	V	V	V	
	11*	V				
	12	V	V			
	13†	V	V	V		
	14	V	V	V		V
	15	V	V	V		V
	16	V	V	V		V

*Happened in the same person. †Expired.

신 낮에는 간헐적으로만 사용하였다. 특정 기계회사에서 더 많이 발생하지는 않았고, 6예가 압력모드로 사용한 반면, 1예는 용적모드로 사용하였다. 대상자의 PEEP 혹은 호기양압(expiratory positive airway pressure, EPAP)은 중앙값 6 cmH₂O (범위 5–8 cmH₂O)였다. 기흉 발생당시의 PEEP 혹은 EPAP은 소아(혹은 그 이후 연령) 환자군과 그외의 군 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다($P=0.063$). 기침유발기는 단 2예에서만 규칙적으로 사용하고 있었다.

발생한 기흉에 대한 조치와 예후는 Table 4와 같다. 신생아중환자실에서 발생한 9예 중 5예(55.5%)에서 100% 산소흡입 등 보존적 치료만으로 호전된 반면, 4예는 흉관삽입이나 기관삽관의 조치가 필요하였다. 이들 중 각각 3예에서 흉관삽입 및 음압흡입과 기관삽관을 시행하였는데, 이 중 2예는 흉관삽입과 기관삽관을 모두 시행하였다. 이들에서 기흉 치료를 위한 호흡보조나 흉관삽입이 필요한 시간은 중앙값 3일(범위: 2–8일)이었고, 모든 환자에서 퇴원 시 기흉과 관련된 호흡기 합병증은 발생하지 않았고 호흡보조 없이 퇴원할 수 있었다. 한편 12–25세 환자에서 발생한 총 7예 중 1예만 흉관삽입 없이, 산소 적용 등 보존적 치료만으로 호전된 반면, 5예에서 중환자실에 내려가 기관삽관을 받았으며, 이 중 3예는 기관절개 시행 후 절개관을 통해 가정용 양압환기기계를 적용하였다. 기흉에 대해 수술적 치료가 필요한 경우는 1예였다. 사망 환자를 제외하고, 기흉 발생 후 퇴원까지 소요된 시간은 중앙값 18.5일(범위: 11–103일)이었다. 사망은 1예였는데, 기저질환인 간질성폐질환의 악화가 원인이었다.

고찰

이 연구는 어린이병원에 입원한 환자를 대상으로 NIPPV와 관련된 기흉의 발생 양상, 위험과 경과를 기술한 첫 보고이다. 17년간의 기록을 검토한 결과, NIPPV 적용과 관련하여 발생한 기흉은 총 17예로 매우 드물었으며 신생아기와 학동기 이후 발생한 사례들로 확연히 구분되었다. 신생아기에 발생한 사례들은 출생 직후의 호흡부전에 대해 CPAP을 적용하는 과정에서 주로 발생하였고 대부분 보존적 치료만으로 해결된 반면, 학동기 이후의 발생한 사례들은 기저질환과 연관된 만성호흡부전 상태에서 장기간 NIPPV를 적용하는 과정에서 발생하였고 다수에서 절개관 확보 후 보존적 치료를 시행함으로써 해결되었다. NIPPV 적용의 원인이 된 기저질환과 임상 상황이 특정 기계나 특정 호흡보조 방식 및 설정 값보다 기흉 발생과 예후의 중요한 인자로 작용하였다.

발생 연령으로 구분할 때, NIPPV와 관련된 기흉은 뚜렷하게 구분되는 두 개의 연령군, 즉 신생아군과 청소년 및 이른 청년 환자군으로 구분되었다. 전 연령대를 통해 볼 때, NIPPV의 적용과 무관하게 기흉은 신생아 시기에 발생 빈도가 가장 높다고 알려져 있는데,^{17,18} 이 연구에서 NIPPV 적용과 관련된 기흉도 출생 직후 신생아가 전체 대상자의 60% (9/15)로 가장 많았다. 신생아들에게 적용된 NIPPV는 CPAP으로 이 시기 급성호흡곤란의 치료로 이용이 보편화되어 있으며,¹⁹ 발관 후 재삽관을 피하기 위해 일시적 호흡보조의 방법으로도 사용되고 있다. 이 연구에서는 8예가 전자의 목적으로, 1예가 후자의 목적으로 적용되던 중 기흉이 발생하였다. 신생아에서 CPAP은 침습적 기계환기의 합병증을 줄이는 장점이 있으나 이전 연구에서 산소만 공급한 군이나 조기 기관삽관을 시행받은 군에 비해 기흉의 발생 빈도가 높았기 때문에^{20–22} CPAP을 적용할 때는 기흉 발생에 항상 주의할 필요가 있다. 더구나 CPAP으로 호흡부전이 해결되지 않아 기관삽관으로 이행한 신생아에서도 CPAP만으로 호흡부전이 해결된 군보다 기흉 발생의 위험이 더 높았기에,²³ 침습적 기계환기로 전환한 뒤에도 여전히 기흉 발생을 주의 깊게 감시해야 한다. 신생아시기에 CPAP 사용과 관련하여 기흉이 잘 발생하는 이유가 과호흡으로 인한 공기 누출 때문인지, 타 연령대보다 경직된 특징을 보이는 신생아의 폐에²⁴ 과도한 양압이 가해진 결과로 초래된 현상인지는 아직 밝혀지지 않았다.

한편, 신생아기를 지나면 한동안 NIPPV 적용과 연관하여 발생한 기흉은 발생하지 않았으며, 기저질환을 가진 환자에서 긴 기간 NIPPV를 적용 뒤에야 다시 기흉이 발생하였다. 유아기부터 초기 학동기까지 NIPPV 관련 기흉 발생 사례가 드문 이유는 잘 알려지지 않았으나, NIPPV를 적용할 만한 환자 수 자체가 적었거나 이 시기에 이르러 공기 누출에 대한 방어 인자가 충분히 발달했기 때문으로 추정할 수 있다. 한편, 소아기 이후에 NIPPV와 연관된 기흉이 발생한 환자들도 해당 시기에는 호흡부전으로 진행하지 않아,^{8,15,25}

아직 NIPPV를 적용하지 않은 점도 해당 연령대에 기흉 발생이 드문 이유를 일부 설명할 수 있다.

NIPPV 적용과 관련하여 기흉이 발생한 환자들의 임상 특성을 보면, 특정 군이 기흉에 취약함을 알 수 있다. 이들은 청소년 및 이른 청년 환자군으로서, 신경-근질환을 진단받았고, 기저질환의 진행으로 인해 만성호흡부전에 이르렀으며, 수면 중 저환기 등 호흡부전의 징후가 보여 호흡부전의 진행을 늦추고 생존 확률을 높이고자 NIPPV를 적용하고 있었다.^{8,26,27} 해당 환자군은 호흡근의 기능부전과 동반하여 폐순응도가 감소하기에 외부압력에 의한 폐실질 손상에 취약한 상태에 이르렀을 것으로 추정된다. 이 연구의 청소년 및 이른 청년 환자들도 장기간 매일 BiPAP을 적용하고 있었는데 기흉 발생 전 중앙값 기준 23개월에 다다른 비교적 긴 기간 동안 NIPPV를 적용하고 있었고, 과반수에서 선행하는 호흡기 감염이나 질병 악화의 징후 없이 단독으로 기흉이 발생하였다. 이는 해당 연령대의 기흉이, 호흡부전이 장기간 지속되어 순응도가 많이 떨어진 폐가 양압에 장기간 노출된 결과로 폐포에 작은 압력 손상이 발생하고 이것이 누적된 결과일 것으로 추정된다.^{28,29}

이 연구에서 NIPPV의 종류와 설정변수의 영향에 대해서는 대상 수가 적어 충분한 결론을 내릴 수 없었다. 폐포에 이르는 지나친 압력이 기흉의 발생기전이라 한다면, NIPPV의 적용방식, 즉 용적모드와 압력모드 중 압력모드가, 낮은 PEEP에 큰 일회용적을 적용하는 경우가, 연결관이 압력 전달에 충실한 반면 호흡주기 동기화에 불리한 활성모드(active circuit)인 경우가 발생사례의 대부분일 것으로 예상했으나,^{15,30} 실제 기흉이 발생한 사례의 수 자체가 적어 이를 통계적으로 검정할 수 없었다. 본 기관의 경우 동원되는 폐포를 늘리고 폐를 보호하는 것을 더 중요하게 여기기에 일반적으로 용적 모드보다는 압력모드로, 가능한 일회용적을 낮추는 방향으로 인공호흡기를 적용하는 경향이 있었다. 따라서, 추후 연구에서 용적모드에 큰 일회용적으로 충분한 환기량을 확보하는 방식으 선호하는 기관의 자료를 취합하여 비교할 수 있다면 보다 흥미로운 결론을 도출할 수 있을 것으로 생각한다. 한 가지 주목할 점은 기흉이 발생한 사례 중 단 2예만 기침유발기(mechanical in-exsufflator)를 적용하고 있었다는 사실이다. 이는 기흉 발생의 위험이 기도에 걸리는 압력의 크기보다는 일정량 이상의 압력이 적용된 기간에 의해, 그리고 기저질환의 진행 정도에 의해 결정될 가능성을 시사한다. 끝으로 어느 경우에 해당하던 이 연령대의 모든 사례가 BiPAP을 적용한 가운데 발생하였던 점을 고려할 때 신생아기를 지난 환자에게 적용하는 CPAP은 기흉 발생의 측면에서 매우 안전한 방법으로 추정된다.

신생아에서 발생한 사례의 대부분은 흉관삽입과 산소 치료 등 보존적 치료만으로 대부분 완전히 회복되어 퇴원할 수 있었던 반면, 소아기 이후 발생한 사례들은 보존적 치료 외에도 흉강경을 이용한 폐엽절제나 기관절개 등 수술적 치료를 받아야 했다. 이는 소

아기 이후에 기흉이 발생한 환자들이 이미 만성호흡부전 상태에서 다다랐기에 양압환기를 지속할 수밖에 없었고, 앞으로 기흉이 추가로 발생할 상황에 대해 고려해야 했기에, 낮은 압력으로 보다 정교하게 환자에게 적용하기 위해 선택적 기관절개를 권유한 것과 관련이 있다. 다만, 호흡부전 상태에서 발생한 기흉이 실제로 생명을 위협한 사례는 1예뿐이었고, 이 또한 기저질환으로 간질성폐손상이 동반되었던 점을 고려할 때, 환자가 가지는 기저질환 자체가 NIPPV와 연관된 기흉의 경과와 결과를 결정하는 주요 인자로 작용할 것으로 생각한다.

이 연구는 단일기관에서 이루어졌기에 결과를 일반화하기 어렵다. 그러나 신생아를 제외한 소아기 이후 발생 사례의 경우, 만성호흡부전으로 NIPPV 적용이 필요한 환자의 대다수를 국가지정 희귀난치성센터가 있는 본 기관에서 보는 만큼, 본 기관의 결과를 통해 대한민국 국가차원의 결과를 엿볼 수 있다고 생각한다. 아울러 이 연구에서는 NIPPV의 종류나 압력설정 값이 기흉 발생에 미치는 영향에 대해 유의한 결과를 얻지 못하였는데, 여기에는 NIPPV의 강도를 높이는 대신 침습적 기계환기로 언제 전환하느냐가 기흉의 발생에 영향을 미치는 보다 중요한 변수로 작용하였기 때문일 수 있다. 긴 시간 높은 강도의 NIPPV를 적용한 뒤 침습적 기계환기로 전환하는 경우 더 많은 기흉이 발생할 수 있으며, 반대의 경우 더 적은 기흉이 발생하였을 것이다. 따라서 이 결과는 호흡보조 관련 변수를 설정하는 기준과 침습적 기계환기로 전환하는 기준에 대해 다수의 연구자들로부터 합의된 프로토콜이 필요한 이유를 드러내고 있다. 마지막으로, 기흉이 발생한 이후 절개관 적용을 결정하는데 있어서 의학적 필요성 이외에도 보호자와 환자 본인의 선호도, 가정에서 돌봄에 투여할 수 있는 자원의 종류가 지대한 영향을 미쳤기에 절개관 적용을 치료 실패의 지표로 해석하는 데는 주의를 요한다.

REFERENCES

1. Wolfler A, Calderini E, Iannella E, Conti G, Biban P, Dolcini A, et al. Evolution of noninvasive mechanical ventilation use: a cohort study among Italian PICUs. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16:418-27.
2. Gregoretti C, Pisani L, Cortegiani A, Ranieri VM. Noninvasive ventilation in critically ill patients. *Crit Care Clin* 2015;31:435-57.
3. Organized jointly by the American Thoracic Society, the European Respiratory Society, the European Society of Intensive Care Medicine, and the Société de Réanimation de Langue Française, and approved by ATS Board of Directors, December 2000. International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: noninvasive positive pressure ventilation in acute Respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:283-91.
4. British Thoracic Society Standards of Care Committee. Non-invasive ventilation in acute respiratory failure. *Thorax* 2002;57:192-211.
5. Carron M, Freo U, BaHammam AS, Dellweg D, Guarracino F, Cosentini R, et al. Complications of non-invasive ventilation techniques: a comprehensive qualitative review of randomized trials. *Br J Anaesth* 2013;110:

- 896-914.
6. Najaf-Zadeh A, Leclerc F. Noninvasive positive pressure ventilation for acute respiratory failure in children: a concise review. *Ann Intensive Care* 2011;1:15.
7. Ozsancak A, D'Ambrosio C, Hill NS. Nocturnal noninvasive ventilation. *Chest* 2008;133:1275-86.
8. Ward S, Chatwin M, Heather S, Simonds AK. Randomised controlled trial of non-invasive ventilation (NIV) for nocturnal hypoventilation in neuromuscular and chest wall disease patients with daytime normocapnia. *Thorax* 2005;60:1019-24.
9. Simonds AK, Muntoni F, Heather S, Fielding S. Impact of nasal ventilation on survival in hypercapnic Duchenne muscular dystrophy. *Thorax* 1998;53:949-52.
10. Czell DC. Daytime mouthpiece ventilation plus nighttime noninvasive ventilation improves quality of life in patients with neuromuscular disease. *Respir Care* 2014;59:1460-1.
11. Mellies U, Ragette R, Dohna Schwake C, Boehm H, Voit T, Teschler H. Long-term noninvasive ventilation in children and adolescents with neuromuscular disorders. *Eur Respir J* 2003;22:631-6.
12. Mayordomo-Colunga J, Pons-Ódena M, Medina A, Rey C, Milesi C, Kallio M, et al. Non-invasive ventilation practices in children across Europe. *Pediatr Pulmonol* 2018;53:1107-14.
13. Ergan B, Nasiłowski J, Winck JC. How should we monitor patients with acute respiratory failure treated with noninvasive ventilation? *Eur Respir Rev* 2018;27(148). pii: 170101. <https://doi.org/10.1183/16000617.0101-2017>.
14. Haworth CS, Dodd ME, Atkins M, Woodcock AA, Webb AK. Pneumothorax in adults with cystic fibrosis dependent on nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV): a management dilemma. *Thorax* 2000;55:620-2.
15. Simonds AK. Pneumothorax: an important complication of non-invasive ventilation in neuromuscular disease. *Neuromuscul Disord* 2004;14:351-2.
16. Crulli B, Loron G, Nishisaki A, Harrington K, Essouri S, Emeriaud G. Safety of paediatric tracheal intubation after non-invasive ventilation failure. *Pediatr Pulmonol* 2016;51:165-72.
17. Hishikawa K, Goishi K, Fujiwara T, Kaneshige M, Ito Y, Sago H. Pulmonary air leak associated with CPAP at term birth resuscitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2015;100:F382-7.
18. Trevisanuto D, Doglioni N, Ferrarese P, Vedovato S, Cosmi E, Zanardo V. Neonatal pneumothorax: comparison between neonatal transfers and in-born infants. *J Perinat Med* 2005;33:449-54.
19. Diblasi RM. Nasal continuous positive airway pressure (CPAP) for the respiratory care of the newborn infant. *Respir Care* 2009;54:1209-35.
20. Buckmaster AG, Arnold G, Wright IM, Foster JP, Henderson-Smart DJ. Continuous positive airway pressure therapy for infants with respiratory distress in non tertiary care centers: a randomized, controlled trial. *Pediatrics* 2007;120:509-18.
21. Morley CJ, Davis PG, Doyle LW, Brion LP, Hascoet JM, Carlin JB, et al. Nasal CPAP or intubation at birth for very preterm infants. *N Engl J Med* 2008;358:700-8.
22. Davis PG, Henderson-Smart DJ. Nasal continuous positive airways pressure immediately after extubation for preventing morbidity in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2000;(2):CD000143.
23. Dargaville PA, Gerber A, Johansson S, De Paoli AG, Kamlin CO, Orsini F, et al. Incidence and outcome of CPAP failure in preterm infants. *Pediatrics* 2016;138.
24. Nørregaard O. Noninvasive ventilation in children. *Eur Respir J* 2002;20:1332-42.
25. Chatwin M, Tan HL, Bush A, Rosenthal M, Simonds AK. Long term non-invasive ventilation in children: impact on survival and transition to adult care. *PLoS One* 2015;10:e0125839.
26. Simonds AK, Ward S, Heather S, Bush A, Muntoni F. Outcome of paediatric domiciliary mask ventilation in neuromuscular and skeletal disease. *Eur Respir J* 2000;16:476-81.
27. Leger P, Bedicam JM, Cornette A, Reybet-Degat O, Langevin B, Polu JM, et al. Nasal intermittent positive pressure ventilation. Long-term follow-up in patients with severe chronic respiratory insufficiency. *Chest* 1994;105:100-5.
28. Hsu CW, Sun SF. Iatrogenic pneumothorax related to mechanical ventilation. *World J Crit Care Med* 2014;3:8-14.
29. da Silva PS, de Aguiar VE, Fonseca MC. Iatrogenic pneumothorax in mechanically ventilated children: Incidence, risk factors and other outcomes. *Heart Lung* 2015;44:238-42.
30. Vianello A, Arcaro G, Gallan F, Ori C, Bevilacqua M. Pneumothorax associated with long-term non-invasive positive pressure ventilation in Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord* 2004;14:353-5.