

소아기관절개술 이후 연하기능의 생리적 변화 및 다양한 기관절개관과 부속품에 대한 고찰

박성준

중앙대학교 의과대학 중앙대학교광명병원 이비인후과학교실

Review of the Various Tubes and Accessories Used for Pediatric Tracheostomy, and Changes in Physiology of Swallowing Associated with the Procedure

Sung Joon Park, M.D.

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Chung-Ang University Gwangmyeong Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, Gwangmyeong, Korea

Breathing through a tracheostomy tube bypasses the upper respiratory tract. As a result, there is a decrease in heating, humidifying, and filtering of the inhaled air as it passes through the upper respiratory tract. In addition, the presence of the tracheostomy tube induces various physiological and mechanical changes in the normal swallowing function, which can result in dysphagia. Due to the advances in modern medical technology, the survival rate of premature infants, very low birth weight infants with various comorbidities and deformities, and medically fragile infants are increasing, resulting in an increase in the number of tracheostomies being performed in the pediatric population. Moreover, the indications for tracheostomy in pediatric patients have shifted to craniofacial deformities or neurologic deficits that require a long-term tracheostomy tube. These trends in pediatric tracheostomy tend to increase the number of patients suffering from various degrees of dysphagia. Nevertheless, studies on dysphagia in pediatric patients who have undergone tracheostomy and have a long-term tracheostomy tube are scarce. Therefore, this article aims to review the changes in swallowing physiology after tracheostomy, and the various types of tracheostomy tubes and their accessories used for pediatric patients to overcome the potential complications after tracheostomy. (J Korean Dysphagia Soc 2024;14:1-9)

Keywords: Pediatric tracheostomy, Swallowing physiology, Dysphagia, Tracheostomy tube, Accessories of tracheostomy tube

Received: July 21 2023, Revised: July 31 2023, Accepted: October 2 2023, Published Online: January 30 2024

Corresponding author: Sung Joon Park, Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Chung-Ang University Gwangmyeong Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, 110 Deokan-ro, Gwangmyeong 14533, Korea

Tel: +82-2-2610-6748, Fax: +82-2-2610-6630, E-mail: hypocratis@gmail.com



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License, which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© The Korean Dysphagia Society, 2024.

서론

소아 환자의 기도는 성인과는 다른 해부학적인 특징을 가지고 있다. 소아는 성인과는 다르게 상대적으로 머리가 크며, 얇으면서 매우 짧은 목을 가지고 있고, 기관지의 경우 작은 내경에 연골형성이 아직 부족하여 매우 유연하지만 외부 압력에 상대적으로 약한 뼈대(framework)를 가지고 있다. 따라서 성인과 비교하여 기도 내경의 작은 변화에도 상대적으로 큰 영향을 받게 되어, 기도 유지를 위해서 기관절개술을 반드시 필요로 하는 경우들이 있다¹.

소아 환자에서 기관절개술은 정상적인 호흡을 위하여 기계 호흡이 필요한 환자, 자발 호흡이 가능하지만 상기도 폐쇄 소견을 보이는 환자, 그리고 기관 및 기관지 석션을 통해 흡인으로 인한 폐렴을 예방하기 위한 통로의 확보 등의 목적으로 시행된다². 그러나 기관절개관을 통한 호흡은 상기도를 구성하고 있는 코, 입, 목 부위를 우회하여 공기를 호흡하게 되어, 흡입하는 공기가 상기도를 통과하는 동안 가온, 가습, 그리고 여과되는 기능 또한 우회하게 되어 기관에 도달하는 공기의 최적화(conditioning of air)가 일어나지 못하고 기도의 방어기전이 약해지는 악영향을 미칠 수 있다^{2,3}.

현대 의료 기술의 발전으로 인해 미숙아, 여러 동반질환 및 기형이 있는 초저체중아, 그리고 의학적으로 매우 유약한 영유아의 생존율이 증가하고 있는 추세이다^{4,5}. 이러한 이유로 과거에는 소아환자에서 기관절개술의 적응증이 단 기간만 기관절개관이 필요한 감염성 질환(infection)의 급성 기도폐쇄가 대부분이었다면, 최근에는 장기간 기관절개관을 필요로 하는 기도(airway) 및 두 개안면부(craniofacial) 기형 또는 신경학적 결손(neurologic deficit)을 가진 환자들로 변화하는 추세를 보이고 있다². 이와 같은 변화는 소아 기관절개술을 받는 환자 수의 증가 및 기관절개술 후 기관절개관을 가지고 지내야 하는 기간의 연장을 야기하여, 기관절개관을 가진 환자들의 발성 및 연하기능의 중요성이 대두되고 있다.

현재까지 기관절개술을 시행 받고 기관절개관을 가지고 있는 소아 환자에서 연하장애와 관련된 연구는 드물다^{6,7}. 따라서 본 종설에서는 기관절개술이 연하기능에 미치는 생리학적 변화에 관한 연구결과들을 바탕으로 기관절개술을 받은 소아환자들에서의 연하 기능의 생리학적인 변화에 대해서 고찰해 보고자 한다. 또한 상기도를 우회하여 기관절개관을 통한 호흡의 단점을 극복하고 수술 후 합병증을 줄이기 위한 노력의 일환으로 소아 환자들에게 사용 가능한 다양한 기관절개관 및 부속품들의 종류 및 그 의의에 대해서 고찰해 보고자 한다.

본론

1. 기관절개술 후 연하기능의 생리학적 변화

음식물의 섭취는 인간의 생존과 직결된 아주 기본적인 기능임에도 불구하고 일시적으로 폐쇄된 기도를 지나 인두 및 식도로 식괴(bolus)를 효율적으로 제어하고 이동시키기 위해서는 높은 수준의 복잡하고 반사신경 매개의 신경근 기능을 필요로 한다. 따라서 상기도를 거치는 정상적인 호흡 경로를 우회하여 기관으로 직접 호흡하게 만드는 기관절개술은 정상적인 연하기능에 다양한 생리학적 그리고 기계적인 변화를 일으켜 연하장애를 유발할 수 있다. 본 종설에서 다루고자 하는 기관절개술이 정상 연하기능에 미치는 대표적인 영향은 다음과 같다.(Table 1)

1) 성대 폐쇄 반사 기능 저하(impaired glottic closure reflex)

성대 폐쇄 반사 또는 후두의 내전반사는 정상적인 연하과정 중 식괴가 성문상부에 도달했을 때 성문상부 점막에 존재하는 감각신경 신호가 자극되면서 유발되는 반사운동이다. 기관절개술은 기능적으로 호흡기관 소화기관의 분리를 유발하여 호흡기관의 성대 폐쇄 반사 역치 증가, 성대 내전력의 감소, 그리고 성대 폐쇄 유지능력 감소의 결과를 보여 호흡과 기도보호의 조정능력 저하를 유발한다고 알려져 있다⁸. Shaker 등⁹은 기관절개술을 시행 받은 환자들의 경우 시행 받지 않은 환자들과 비교하여 액체 연하 시에 성대의 내전 및 외전 지속 기간이 유의하게 짧았으며, 기관절개관 유지 기간과 비례하여 내전 및 외전 지속 기간이 짧아지고, 발관 시 호전된다는 연구 결과가 보고된 바 있다. 이렇듯 성대 폐쇄 반사 기능이 저하될 경우 흡인의 위험성은 증가하고, 특히 다른 형태의 생체역학적 연하장애를 유발하는 질환이 동반될 경우 그 위험성은 더 증가할 수 있다.

2) 성문하부 압력 저하(reduced subglottic pressure)

기관절개술을 시행 받고 기관절개관을 가진 환자의 경우 기관절개관의 기낭 존재 유무와 무관하게 연하 시 성문 하부의 압력 증가가 소실된다고 알려져 있다. Eibling과 Gross¹⁰는 기관절개관을 가진 환자에서 물을 삼킬 때 기관절개관을

Table 1. Physiologic and mechanical effect of tracheostomy on swallowing physiology.

Impaired glottic closure reflex
Reduced subglottic pressure
Reduced cough function
Reduced laryngeal elevation
Reduced laryngeal and pharyngeal sensation
Disuse muscle atrophy

통해 기관지 안 공기의 호기성 기류가 생기는 반면 기관절개관 성문하부의 압력 증가는 거의 없는 반면, 발성 밸브(one-way speaking valve)를 기관절개관에 착용시킬 경우 기관절개관을 통한 호기성 기류가 억제되면서 성문하부의 기압이 올라간다는 생체역학적 연구 결과를 보고한 바 있다. 이와 같이 기관절개관을 가진 환자들에서 보이는 연하 시 성문하부 압력의 저하는 식과의 흡인을 용이하게 만들 수 있다.

3) 기침 기능 저하(reduced cough function)

위에서 언급한 것과 같이 기관절개관을 가진 환자의 연하 시 성대 내전 기능이 저하되고 성문하부의 압력이 저하되어 발생하게 되는 생리학적 변화가 바로 기침 기능의 저하이다¹¹. Park과 Lee¹²가 뇌졸중으로 기관절개술을 시행 받은 환자들을 대상으로 시행한 연구 결과에 따르면 기관절개관을 가지고 있을 때와 비교하여 환자가 기관절개관을 제거하고 난 다음에 측정한 최대 기침 기류가 유의하게 증가했으며, 이는 기관절개관 제거 후 환자의 기침 기능이 유의하게 호전된다는 것을 보여주는 결과이다.

4) 후두 거상 저하(reduced laryngeal elevation)

정상적인 연하 시에 후두는 전방 및 상방으로 외전(excursion)하여 후두 전정(laryngeal vestibule)의 수직적인 폐쇄 유발을 통해 식과가 기도로 흡인되는 것을 예방하고 경부식도 괄약근의 개방을 돕는 역할을 한다¹¹. 기존에 보고된 몇몇 연구들에 따르면 기관절개관의 존재는 이와 같이 정상적인 연하 시 동반되어야 하는 후두 거상을 저해한다고 알려져 있다¹³⁻¹⁵. 즉, 기관절개관의 존재는 후두와 기관지를 포함한 기도를 기관절개관 주변의 경부 연조직에 고정시켜 후두가 정상적으로 거상 되는 것을 제한하는 원인이 된다고 보고했다¹³. 또한 기관절개관 기낭을 정상 범위 이상의 압력으로 부풀릴 경우 기낭의 압력이 외부로 전달되어 정상 연하 시 기낭 내 압력이 주변 정상조직에 영향을 미쳐 기관지를 포함한 후두의 거상을 제한할 수 있다고 보고된 바 있다¹¹. 그러나 최근에 Kang 등¹⁶이 기관절개관 제거 전후 시행한 비디오투시연하검사를 비교한 운동학적 분석(kinematic analysis)에서는 기관절개관 유무는 후두 거상에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 보고된 바 있다. 따라서 비록 기관절개술이 기도와 주변조직과의 고정효과(anchoring effect)로 인하여 정상적인 연하 시 발생하는 후두의 거상을 저해할 수는 있으나, 단순히 기관절개관의 유무가 연하장애를 유발한다고 결론 내릴 수는 없으며 정상적인 연하 기전에 미치는 영향을 같이 고려하는 것이 중요할 것이다.

5) 후두 및 인두 감각기능 저하(reduced laryngeal and pharyngeal sensation)

기관절개술 후 호흡은 상기도 및 성문부를 통하는 정상적인

호흡경로를 우회하여 기관절개관으로 만 호흡하게 되어 후두의 감각기능을 둔화 시킨다고 알려져 있다¹¹. 기관절개관을 통해 우회하는 호흡 시에는 정상적인 호흡 시의 상기도, 특히 후두 및 인두 부위의 공기 흐름에 의한 감각 자극이 상실되어, 위에 언급한 성문 폐쇄 반사 반응 및 기침 반사 반응의 둔감화를 유발하고 연하 시 흡인으로부터 기도를 보호하는 기능이 저하되는 결과를 야기하는 것으로 알려져 있다. 따라서 후두 및 인두 감각기능 저하를 극복하기 위해 기낭이 없는 기관절개관 그리고 크기가 더 작은 기관절개관으로 변경을 하거나, 성문하부 절개창이 있는 기관절개관으로 변경을 하거나, 또는 기관절개관 앞을 뚜껑으로 막거나 발성 밸브의 착용을 통해 성문부를 통과하는 기류 형성을 유발하는 노력은 정상적인 연하기능 회복에 도움이 될 수 있다고 알려져 있다.

6) 연하 관련 불용성 근육 위축(disuse muscle atrophy)

치명적인 만성질환에 흔히 동반되는 다발신경병증은 불용성 근위축을 통한 후두와 인두의 근육을 포함하는 모든 횡문근의 약화와 강직을 유발할 수 있다. 불용성 근위축은 인두 및 후두 운동의 범위와 속도를 감소시켜 인두 함몰부에 잔류물이 축적되기 때문에 연하장애가 나타난다. 성문부를 통한 기침 기능 감소와 후두 및 하인두의 감각 저하는 일반적으로 잔류물을 제거하기에 불충분한 자극을 주어 흡인은 유발할 수 있다¹¹. 따라서 성문부를 통과하는 기류 회복을 통하여 인두 및 후두의 감각 자극 제공 및 정상적인 연하와 연관된 반사 신경기능 회복을 위해 적응증이 되는 환자에서 가능한 빨리 기관절개관을 제거하는 것이 중요하다. 또한 기관절개관을 지속적으로 유지해야 하는 환자에서는 정상적인 연하에 관여하는 근육들의 운동재활을 지속하여 기관절개술을 시행 받은 환자들의 연하장애를 예방하는 노력을 기울여야 할 것이다.

2. 소아 기관절개술과 연하장애

인간은 성인뿐만 아니라 소아에서도 마찬가지로 호흡 및 발생기능과 연하기능이 하나의 공통된 공간인 인두와 후두를 통해서 이루어진다. 따라서 호흡을 위한 우회로를 형성하는 기관절개술을 받은 소아 환자들에서 연하장애에 기관절개술이 기여하는 바에 대한 고찰은 매우 중요하다. 기관절개술을 시행 받고 기관절개관을 가지고 있는 소아 환자에서 섭식 및 연하장애의 유병률에 대한 보고는 드물다. Rudolph와 Link¹⁷가 발표한 바에 의하면 기관절개관을 가진 환자들의 경우 다른 동반질환을 가진 경우가 매우 흔하며, 이들 중 70%에 이르는 섭식 및 연하장애 동반율을 보고한 바 있다. 소아 환자들에서 연하장애는 영양결핍 및 발달 장애의 위험

성을 증가시키며, 내과적 합병증 발생률의 증가 및 보호자와의 교류에 부정적인 영향을 미칠 수 있다¹⁸. 따라서 기관절개관을 가진 소아 환자에서의 연하장애에 대한 원인 분석 및 치료방법에 대한 연구는 성인 환자와는 다른 특징을 가지고 있으며, 연하장애로 인하여 환자의 건강에 추가로 장기적인 영향을 미칠 수 있기에 매우 중요하다.

기관절개관을 가진 소아 환자의 연하장애를 보다 잘 이해하기 위해서는 소아의 섭식 및 연하기능의 발달에 대해서 먼저 아는 것이 중요하다. 연하와 섭식 기능은 태아의 시기를 거쳐 출생 후 1년 동안의 기간 동안 상당한 발달을 거친다⁶. 생후 2-4개월까지 빨고 삼키는 동작은 자동적 또는 반사적으로 일어난다. 이 시기 이후 연하는 점점 더 수의적인 운동이 되며 적절한 학습 및 발달이 이 시기에 일어나지 않으면 수의적인 연하의 구강기에 장기적인 문제를 유발하여 결과적으로 심각한 삶의 질 저하를 초래할 수 있다¹⁹. 또한 이러한 조기 발달의 시기와는 별도로 연하 및 섭식 기능에 기여하는 해부학적인 구조물들은 태아의 시기부터 성인이 될 때까지 끊임 없는 변화를 거친다. 대표적인 예로, 만 2-3세가 될 때까지 후두는 출생 당시보다 아래쪽으로 하강하는 해부학적인 발달의 과정을 거치게 되고, 이러한 변화는 구인두 부위가 호흡과 연하의 기능을 공유하는 통로로 변화하게 만들어 연하의 단계 중 구강기에 문제가 있거나 후두의 기능에 문제가 있는 환아들의 경우 이 시기에 흡인과 관련된 문제들이 명확하게 발견된다고 보고된 바 있다¹⁷. 따라서 적절한 수의적인 구강기의 발달 및 학습 그리고 하강한 후두가 적절한 기능을 보이는 것은 소아에서 정상적인 연하기전이 발달하여 흡인을 예방하는데 필수적인 요소라고 보고되어 있다^{20,21}.

기관절개관을 가진 소아 환자에서 연하장애의 기전은 전반적으로 성인에서와 비슷하다. 기관절개관의 존재는 후두를 고정시키는 효과가 있어 연하 시 후두의 전상방 거상을 저하시키며, 성문하부 압력의 저하를 유발하여 성대 폐쇄 반사 기능의 저하, 후두 및 인두 감각기능의 저하 및 기침 기능의 저하를 유발하고 결과적으로 연하 관련 근육의 위축을 유발한다. 따라서 기관절개관을 가진 소아환자들을 대상으로 대표적인 연하기능검사인 연성내시경연하검사 또는 비디오투시연하검사를 시행할 경우 인두 및 후두의 감각저하, 저하된 인두수축, 후두 거상의 저하, 그리고 상부식도괄약근 이완 저하의 소견을 보인다고 보고된 바 있다¹⁹. 이와 같은 기전 이외에도 기관절개술을 필요로 하는 소아 환자의 경우 성인 환자와는 다르게 기관절개술 유무와는 별개로 장기적인 연하장애를 유발할 수 있는 동반질환을 가지고 있는 경우가 많으며, 이 동반질환 자체가 기관절개술을 필요로 하는 적응증인 경우가 많아서 연하장애가 장기적이거나 그

정도가 심한 경우가 많을 수 있다^{6,17}. 이렇듯 연하장애를 유발할 수 있는 동반질환의 대표적인 예가 조산 및 저체중 출산, 신경학적 질환, 그리고 악안면기형이다⁵⁻⁷. 이와 같은 질환을 가진 소아 환자들은 신생아 시기부터 기능적 및 해부학적으로 구강섭식에 제약을 받게 되어 구강을 통한 음식물 섭취가 아닌 비위관 또는 위루관을 통한 영양공급을 장기간 받게 되고, 출생 직후부터 장기간 입원치료를 필요로 하게되며, 보호자와 분리되어 치료를 받게 되는 경우가 대부분이어서 사회적 및 정서적 발달에 제약이 생기고 장기적으로 언어 및 구강섭식 기능 발달 저하를 유발하게 되는 결과를 유발한다^{5,22,23}. 이러한 기관절개관을 가진 소아환자의 특징들은 성인환자와는 다르게 결국 연하장애 치료 자체를 매우 어렵게 만들어 심각한 연하장애가 장기간 지속되는 결과를 보이는 경우가 많다고 보고되어 있다⁵⁻⁷.

일반적으로 정상적인 기도 생리학의 회복은 기관절개관의 존재로 인한 연하장애에서 연하 기전의 개선을 유도할 수 있는 치료법으로 알려져 있다¹⁹. 그 대표적인 방법으로 알려져 있는 것이 바로 발성밸브의 적용이다(Fig. 1). 발성밸브를 기관절개관에 착용하여 기관절개관을 통한 흡기는 유지하면서 호기 시 기관절개관을 통한 호기를 억제하고 기관절개관 주변을 통해 성문하, 후두 및 구인두를 통한 공기의 흐름을 가능하게 하여, 성문하 압력의 회복 및 그로 인한 기침 기능의 개선을 유도하는 것이다. 이러한 성문하 공기압 회복과 기침 기능의 개선은 후두골(valleculae) 및 하인두 이상와(pyriform sinus)의 식피 정체 감소 및 후두로의 식피의 침투 및 흡인을 감소시켜 연하 기능을 강력하게 향상시킨다고 보고된 바 있다^{24,25}. 그러나 기관절개관을 가진 소아 환자에서 발성밸브의 적용이 연하장애에 미치는 영향에 대해서 보고한 연구는 매우 드물며 그 역할 또한 매우



Fig. 1. Speech valve and oxygen supply connector from MERA.

제한적인 것으로 보고되어 있다²⁶. 기존 연구의 대부분에서는 보호자의 주관적 평가 또는 임상 의사의 평가에서 발성밸브의 적용이 기관절개관을 가진 소아 환자에서 기도 분비물 제거기능 향상, 기침 기능 향상, 그리고 보다 수월한 음식섭취와 같은 2차적인 효과를 보이기는 했으나 통계적으로 유의하지는 않았다고 보고하고 있다^{27,28}. 또한 Ongkasuwan 등²⁹은 기관절개관을 가진 소아 환자들에서 발성밸브의 적용은 성인환자의 경우와는 다르게 기도로 음식물의 흡인 또는 침투를 억제하지 못하였고 오직 하인두 이상와의 식도 정체를 감소시켰다고 보고한 바 있다. 그러나 Pullens와 Streppel¹⁹이 최근 보고한 고찰에서는 기관절개관을 가진 소아환자에서 연하기능 향상 및 흡인의 감소를 위해 가능하다면 발성밸브를 사용할 것을 권고하기도 하였다. 기관절개관을 가진 소아 환자의 연하장애에서 발성밸브의 적용이 가지는 의의를 정확히 평가하기 위해서는 발성밸브가 적용 가능한 소아환자에서 발성밸브 착용 전/후로 연하기능검사를 비교하는 후속 연구가 반드시 필요할 것 같다.

3. 다양한 기관절개관

기관절개술을 시행한 소아환자에서 적절한 기관절개관의 선택에서 제일 중요한 요소는 바로 적절한 내경과 길이이다. 기관지 점막 손상의 최소화를 위하여 효율적인 호흡이 이루어지면서 가장 작은 내경의 기관절개관을 사용하는 것이 가장 이상적이라고 알려져 있다. 그러나 기계 호흡을 필요로 하는 환자들에서는 공기가 새어나가는 것을 방지하기 위하여 내경이 굵은 기관절개관을 필요로 하는 경우도 있다. 또한 너무 긴 기관절개관을 소아 환자에 적용할 경우 기관의 폐쇄 및 우측 기관지로의 호흡만을 유발할 수 있어 주의해야 한다.

일반적으로 소아환자들에서는 기낭이 없는 기관절개관의 사용이 기낭이 있는 경우보다 점막 손상을 예방하고 발성을 가능하게 하여 선호되는 기관절개관의 종류이다. 그러나 높은 압력의 기계호흡을 필요로 하는 경우 또는 조절이 안되는 만성적 흡인이 있는 환자의 경우 기낭이 있는 기관절개관을 사용해야 할 수 있다. 또한 발성의 회복이 매우 중요한 환자에서는 절개창(fenestra)이 있는 기관절개관을 사용하여 발성밸브를 앞에 착용할 경우 발성기능 향상을 유도할 수도 있다. 그러나 Flanagan과 Healy³⁰는 기관절개술을 시행한 소아환자에서 사용할 수 있는 가장 이상적인 기관절개관의 종류에 대한 권고사항이 아직 확립되지 않아 임상 및 기관의 선호도가 기관절개관 종류 선정에 가능 큰 영향을 미친다고 보고한 바 있다. 기관절개관을 가진 소아환자에서 기관절개관의 종류가 연하장애 미치는 영향에 대한 연구 결과가 추후에 보고된다면, 이상적인 기관절개관 선택에 큰 영향을 미칠 수 있을 것이라고 생각한다.

4. 다양한 기관절개관 부속품들

기관절개술을 받고 기관절개관을 가진 소아환자들의 호흡은 상기도를 거치며 가온 및 가습되지 않은 공기를 여과 없이 기관으로 직접 통하게 된다. 따라서 이러한 최적화되지 않은 호흡은 기관 및 기관지에 부정적인 영향을 유발하여 하부기도인 폐기능 악화라는 결과를 야기하여 소아환자의 전반적인 건강상태가 악화될 수 있다. 전반적 건강상태의 악화는 결과적으로 기관절개관을 가진 소아환자에서 연하장애를 악화시킬 수 있기에 기관절개관을 통해서도 최적화된 공기를 호흡할 수 있도록 다양한 기관절개관 부속품들이 고안되어 사용 중이다³¹.

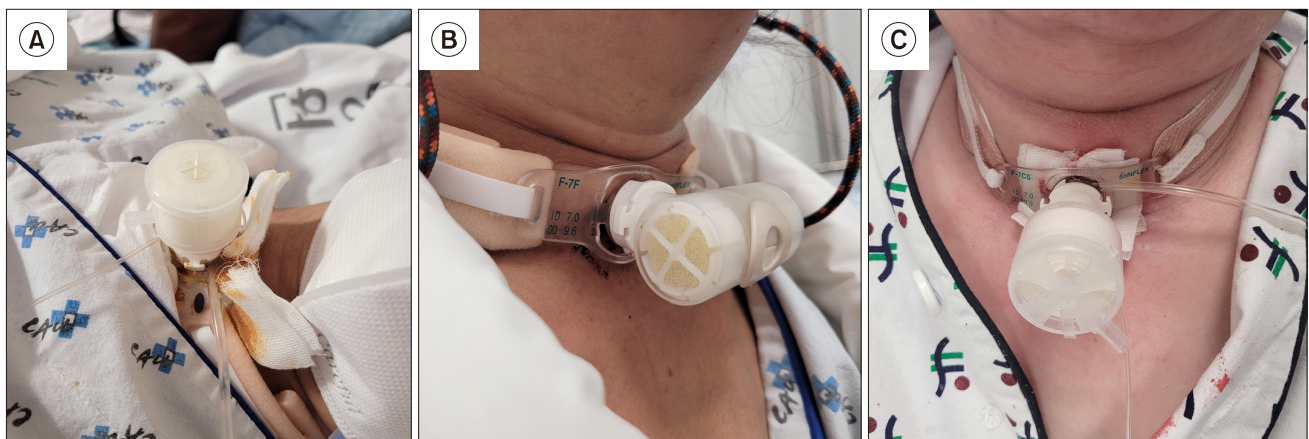


Fig. 2. Various HME applied in patients with tracheostomy tube.

1) 열수분교환기(heat and moisture exchanger, HME)

기관절개관을 통한 호흡의 합병증을 예방하고자, 상기도 고유의 공기 최적화 기능을 대신할 목적으로 개발된 부속품이 바로 열수분교환기(HME)이다. 열수분교환기는 기관절개관의 입구 부위에 결합시키는 부속품으로, 흡습성이 높으면서 밀폐되지 않고 공기만을 잘 통과시키는 합성물질을 내부에 함유하고 있다. 따라서 열수분교환기는 호기 시, 배출되는 공기의 수증기 및 온도의 일부를 내부에 저장하여, 흡기 시 공기가 다시 열수분교환기를 통과하면서 가슴 및 가온이 되게 만들어 숨과 동시에 이물질은 여과되도록 하여 기관절개관을 통한 호흡 시 우회되는 상기도의 역할을 일부 대체해 주도록 고안된 중요한 부속품이다(Fig. 2).

이론적으로 기관절개관을 통한 호흡에서 상기도의 최적화 기능을 대체할 부속품으로 고안된 열수분교환기이지만, 그 유용성에 대해서 전문가들은 지속적으로 의문을 제기해 왔다. McNamara 등³²은 기관절개관을 가진 소아 환자들을 대상으로 가열가습기(heated humidifier) 사용과 열수분교환기 사용의 영향을 비교해 본 연구에서 열수분교환기의 사용이 호흡 빈도를 증가시키고, 전반적인 호흡기계 진찰 점수에 악영향을 미치며, 수면 중 사용 시 모든 중요 임상 사건의 빈도를 증가시키며, 전반적인 의료 비용의 증가 효과도 보인다는 결과를 보고한 바 있다. 아울러 Schreiber 등³³은 침습적 기계호흡을 하는 성인 환자들을 대상으로 가열가습기 사용과 열수분교환기 사용의 단기적 임상 효과를 비교한 연구에서 열수분교환기의 사용이 호흡에 더 큰 노력을 필요로 하였으며 더 적은 이산화탄소 제거 능력을 보여 결국 흡기에 요구되는 노력 증가, 동맥혈 내 이산화탄소 농도 증가 및 혈중 pH의 감소 결과를 보여 최종적으로 호흡곤란을 유발하게 된다고 보고한 바 있다.

이와 같은 결과들을 바탕으로 보았을 때 기관절개관을 가진 소아환자에서 열수분교환기의 사용은 분명히 장점이 있지만 온도 및 습도 교환계 사용의 정확한 적응증과 그 유용성에 대한 더 많은 대단위 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 기관절개관을 가진 소아환자에서 우회하게 되는 상기도의 공기 최적화 기능을 보다 잘 재현해 줄 수 있는 향상된 기능의 열수분교환기의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

2) 발성밸브(speaking/speech valve)

기관절개관을 가진 소아환자에서 최적화된 공기의 호흡만큼이나 중요하고 호기 시 성문부를 통한 공기의 흐름이 있어야만 가능한 것이 바로 발성이다. 소아환자에서 기관절개술의 적응증은 최근 들어 상기도감염이나 상기도폐쇄보다는 심폐기계 질환이나 신경학적 질환으로 변화하기 시

작하면서 기관절개관을 가진 소아환자들의 발관(decannulation) 성공률이 낮아지고 있으며, 이는 소아환자들이 기관절개관을 가진 상태로 생활해야 하는 기간이 매우 길어지고 있음을 시사한다³⁴⁻³⁶. 기관절개관의 존재는 발성 자체에 영향을 주어 소아 환자들의 구두 의사소통능력 저하를 유발하며, 장기간 효율적이고 지속적인 의사소통을 못 하는 경우는 소아환자의 의학적, 심리적, 그리고 사회학적인 발전에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다²⁶. 따라서 기관절개관을 가진 소아환자에서 발성밸브의 사용은 큰 의미를 가지고 있다.

미국흉부학회(American Thoracic Society, ATS)에서는 기관절개관을 가진 소아환자에서 발성밸브 사용의 적응증을 다음과 같이 발표한 바 있다³⁷. 기관내경의 2/3를 넘지 않는 크기의 기관절개관 또는 절개창이 있는 기관절개관 사용이 가능한 소아환자에서 의학적으로 안정적이며, 기낭의 공기를 뱉을 때 흡인의 위험성이 없어야 하며, 기관절개관을 막았을 때 어느 정도 목소리를 낼 수 있으며, 기관절개창 상방의 기도 협착이 없고, 기도 분비물의 점도가 높지 않은 소아환자에서 발성밸브의 사용이 가능하다고 보고하였다.(Table 2)

이와 같이 적용이 가능한 소아환자에서 발성밸브의 적용이 환아의 전반적인 발달에 긍정적이 영향을 미치는 것 같이 연하장애를 동반한 기관절개술을 가진 소아환자의 연하장애에도 긍정적인 영향을 줄 것이라는 기대가 많은 것이 사실이다. 그러나 앞서 언급한 것과 같이 발성밸브의 적용이 기관절개관을 가진 소아환자에서 정상적인 연하기능의 회복에 도움이 되었다는 명확한 증거가 아직 보고된 바 없다²⁶⁻²⁹. 따라서 발성밸브의 적용이 기관절개관을 가진 소아환자의 연하장애 치료 방법 중 하나로 권고되기 위한 근거를 제시하는 추가 연구가 절실히 필요한 상황이다.

3) 기타 부속품들

기관절개관을 가진 소아환자에서 돌발적인 발관의 가능성은 의료진 및 보호자에게 엄청난 부담을 주며, 환자들

Table 2. Indications for application of one-way speaking valves in pediatric patients with chronic tracheostomy.

Tracheostomy tube size does not exceed two-thirds of the tracheal lumen or able to use fenestrated tracheostomy tube
Medically stable
Able to deflate the cuff without aspiration
Some ability to vocalize with the occlusion of the tracheostomy tube
Patency of the suprastomal airway
Secretions should not be thick

에게는 치명적인 합병증을 유발할 수 있기 때문에 기관절개관을 안전하게 고정할 수 있는 부속품의 존재는 매우 중요하다. 기관절개관의 고정은 전통적으로 면끈을 사용하여 고정하는 경우가 대부분이었으나 최근에는 벨크로를 사용한 고정끈이 상용화되어 많이 사용되고 있다. 이런 벨크로를 사용한 고정끈이 전통적인 면끈의 사용과 비교하였을 때 우발적인 발관의 위험성은 유의하게 더 높지 않으면서 신축성과 흡습성을 가지고 있어서 피부관련 합병증을 다소 줄여준다는 메타분석 논문이 최근에 발표되기도 하였다³⁸. 또한 기낭을 가진 기관절개관 사용이 필요한 소아환자에서 점막괴사, 연골손상, 기관협착, 기관식도누공, 기관무명동맥누공, 기관연화증과 같은 기관 손상을 예방하기 위해서 기낭의 압력을 적절히 유지하는 것은 매우 중요하다³⁹⁻⁴¹. 따라서 최근에는 기관 합병증 예방에 가장 이상적인 20-30 cmH₂O의 기낭압력 유지를 위한 다양한 객관적 기낭압력 측정기들이 상용화되어 사용 중이다.

이외에도 기관절개관을 가진 소아환자들은 매일매일의 일상 속에서 다양한 상황을 맞이하게 된다. 대표적인 예로 기관절개관을 가진 상태에서 호흡을 유지하면서 샤워를 하는 것은 소아환자에게는 흡인성 폐렴 발생의 위험성이 매우 높아 보호자들에게 엄청난 스트레스로 작용할 수밖에 없다. 또한 최근에 발생한 COVID-19와 같은 호흡기 감염성 질병의 전세계적인 유행은 상기도의 여과 기능을 상실한 기관절개관을 가진 소아환자들에게는 건강한 사람들 보다 몇배로 더 스트레스를 제공하는 환경이 된다. 따라서 기관절개관을 가진 소아환자들이 다양한 환경의 일상생활을 영위할 수 있도록 보다 더 발전된 기술이 적용된 다양한 기관절개관 부속품들이 개발되기를 개인적으로 바란다.

결론

기관절개술을 시행 받은 소아환자들의 경우 기관절개관의 사용으로 인하여 정상적인 연하기능의 다양한 변화를 유발하여 연하장애를 유발할 수 있다. 또한 기관절개술 적응증 자체가 연하장애를 동반하는 만성질환인 경우가 대부분이어서, 기관절개관을 가진 소아환자들의 경우 연하장애를 경험하는 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 정상적인 연하기능 회복을 위하여 다양한 종류의 기관절개관 및 기관절개관 부속품들을 사용해 볼 수 있으나, 그 효과에 대해서는 현재까지 너무나도 제한적인 연구가 이루어져 있다. 따라서 연하장애를 치료하는 임상 의사로서 다양한 기관절개관 및 부속품의 적용이 연하기능 회복에 미치는 영향에 대한 연구들을 활발히 진행하여 기관절개관을 가진 소아환자들의 연하

장애 치료에 보다 획기적인 발전을 이루는 계기를 만드는 것이 필요할 것 같다.

CONFLICT OF INTEREST

The author declares that there is no conflict of interest to disclose.

REFERENCES

1. Di Cicco M, Kantar A, Masini B, Nuzzi G, Ragazzo V, Peroni D. Structural and functional development in airways throughout childhood: children are not small adults. *Pediatr Pulmonol*. 2021;56:240-51. <https://doi.org/10.1002/ppul.25169>
2. Campisi P, Forte V. Pediatric tracheostomy. *Semin Pediatr Surg*. 2016;25:191-5. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2016.02.014>
3. Watters KF. Tracheostomy in infants and children. *Respir Care*. 2017;62:799-825. <https://doi.org/10.4187/respcare.05366>
4. Maunsell R, Avelino M, Caixeta Alves J, Semenzati G, Lubianca Neto JF, Krumenauer R, et al. Revealing the needs of children with tracheostomies. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2018;135(5S):S93-7. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2018.07.007>
5. Norman V, Louw B, Kritzing A. Incidence and description of dysphagia in infants and toddlers with tracheostomies: a retrospective review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2007;71:1087-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.03.018>
6. Streppel M, Veder LL, Pullens B, Joosten KFM. Swallowing problems in children with a tracheostomy tube. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019;124:30-3. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.05.003>
7. Luu K, Belsky MA, Dharmarajan H, Kaffenberger T, McCoy JL, Cangilla K, et al. Dysphagia in pediatric patients with tracheostomy. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2022;131:457-62. <https://doi.org/10.1177/00034894211025179>
8. Sasaki CT, Suzuki M, Horiuchi M, Kirchner JA. The effect of tracheostomy on the laryngeal closure reflex. *Laryngoscope*. 1977;87(9 Pt 1):1428-33. <https://doi.org/10.1288/00005537-197709000-00003>
9. Shaker R, Milbrath M, Ren J, Campbell B, Toohill R, Hogan W. Deglutitive aspiration in patients with tracheostomy: effect of tracheostomy on the duration of vocal cord closure. *Gastroenterology*. 1995;108:1357-60. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(95\)90682-7](https://doi.org/10.1016/0016-5085(95)90682-7)
10. Eibling DE, Gross RD. Subglottic air pressure: a key component of swallowing efficiency. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1996;105:253-8. <https://doi.org/10.1177/000348949610500401>

11. Goldsmith T. Evaluation and treatment of swallowing disorders following endotracheal intubation and tracheostomy. *Int Anesthesiol Clin*. 2000;38:219-42.
<https://doi.org/10.1097/00004311-200007000-00013>
12. Park MK, Lee SJ. Changes in swallowing and cough functions among stroke patients before and after tracheostomy decannulation. *Dysphagia*. 2018;33:857-65.
<https://doi.org/10.1007/s00455-018-9920-9>
13. Bonanno PC. Swallowing dysfunction after tracheostomy. *Ann Surg*. 1971;174:29-33.
<https://doi.org/10.1097/0000658-197107010-00005>
14. Logemann JA. Evaluation and treatment of swallowing disorders. 2nd ed. Austin: PRO-ED, 1998.
15. Buckwalter JA, Sasaki CT. Effect of tracheotomy on laryngeal function. *Otolaryngol Clin North Am*. 1984;17:41-8.
16. Kang JY, Choi KH, Yun GJ, Kim MY, Ryu JS. Does removal of tracheostomy affect dysphagia? A kinematic analysis. *Dysphagia*. 2012;27:498-503.
<https://doi.org/10.1007/s00455-012-9396-y>
17. Rudolph CD, Link DT. Feeding disorders in infants and children. *Pediatr Clin North Am*. 2002;49:97-112, vi.
[https://doi.org/10.1016/s0031-3955\(03\)00110-x](https://doi.org/10.1016/s0031-3955(03)00110-x)
18. Arvedson JC. Management of pediatric dysphagia. *Otolaryngol Clin North Am*. 1998;31:453-76.
[https://doi.org/10.1016/s0030-6665\(05\)70064-5](https://doi.org/10.1016/s0030-6665(05)70064-5)
19. Pullens B, Streppel M. Swallowing problems in children with a tracheostomy. *Semin Pediatr Surg*. 2021;30:151053.
<https://doi.org/10.1016/j.sempedsurg.2021.151053>
20. Tutor JD, Gosa MM. Dysphagia and aspiration in children. *Pediatr Pulmonol*. 2012;47:321-37.
<https://doi.org/10.1002/ppul.21576>
21. Delaney AL, Arvedson JC. Development of swallowing and feeding: prenatal through first year of life. *Dev Disabil Res Rev*. 2008;14:105-17.
<https://doi.org/10.1002/ddrr.16>
22. Morris SE, Klein MD. Pre-feeding skills: a comprehensive resource for mealtime development. 2nd ed. Tucson: Therapy Skill Builders, 2000.
23. Parrish M. Family adaptation to a child's feeding and swallowing disorder: a social work perspective. *Semin Speech Lang*. 1997;18:71-7; quiz 77-8.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1064063>
24. Elpern EH, Jacobs ER, Bone RC. Incidence of aspiration in tracheally intubated adults. *Heart Lung*. 1987;16:527-31.
25. Pannunzio TG. Aspiration of oral feedings in patients with tracheostomies. *AACN Clin Issues*. 1996;7:560-9.
<https://doi.org/10.1097/00044067-199611000-00010>
26. Zabih W, Holler T, Syed F, Russell L, Allegro J, Amin R. The use of speaking valves in children with tracheostomy tubes. *Respir Care*. 2017;62:1594-01.
<https://doi.org/10.4187/respcare.05599>
27. Cho Lieu JE, Muntz HR, Prater D, Blount Stahl M. Passy-Muir valve in children with tracheotomy. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 1999;50:197-203.
[https://doi.org/10.1016/s0165-5876\(99\)00245-1](https://doi.org/10.1016/s0165-5876(99)00245-1)
28. Hull EM, Dumas HM, Crowley RA, Kharasch VS. Tracheostomy speaking valves for children: tolerance and clinical benefits. *Pediatr Rehabil*. 2005;8:214-9.
<https://doi.org/10.1080/13638490400021503>
29. Ongkasuwan J, Turk CL, Rappazzo CA, Lavergne KA, Smith EO, Friedman EM. The effect of a speaking valve on laryngeal aspiration and penetration in children with tracheotomies. *Laryngoscope*. 2014;124:1469-74.
<https://doi.org/10.1002/lary.24457>
30. Flanagan F, Healy F. Tracheostomy decision making: from placement to decannulation. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2019;24:101037.
<https://doi.org/10.1016/j.siny.2019.101037>
31. Park SJ. Accessories for tracheostomy cannula and its use. In: Sung MH, ed. *Tracheostomy*. Paju: Koonja, 2022;267-84.
32. McNamara DG, Asher MI, Rubin BK, Stewart A, Byrnes CA. Heated humidification improves clinical outcomes, compared to a heat and moisture exchanger in children with tracheostomies. *Respir Care*. 2014;59:46-53.
<https://doi.org/10.4187/respcare.02214>
33. Schreiber AF, Ceriana P, Ambrosino N, Piran M, Malovini A, Carlucci A. Short-term effects of an active heat-and-moisture exchanger during invasive ventilation. *Respir Care*. 2019;64:1215-21.
<https://doi.org/10.4187/respcare.06799>
34. Veder LL, Joosten KFM, Zondag MD, Pullens B. Indications and clinical outcome in pediatric tracheostomy: lessons learned. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2021;151:110927.
<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2021.110927>
35. Ogilvie LN, Kozak JK, Chiu S, Adderley RJ, Kozak FK. Changes in pediatric tracheostomy 1982-2011: a Canadian tertiary children's hospital review. *J Pediatr Surg*. 2014;49:1549-53.
<https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.04.014>
36. Gergin O, Adil EA, Kawai K, Watters K, Moritz E, Rahbar R. Indications of pediatric tracheostomy over the last 30 years: has anything changed? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;87:144-7.
<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.06.018>
37. Sherman JM, Davis S, Albamonte-Petrick S, Chatburn RL, Fitton C, Green C, et al. Care of the child with a chronic tracheostomy. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, July 1999. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161:297-308.
<https://doi.org/10.1164/ajrccm.161.1.ats1-00>
38. Chang BA, Gurberg J, Ware E, Luu K. Velcro ties in early postoperative pediatric tracheostomy care: a systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2021;164:1148-52.
<https://doi.org/10.1177/0194599820964727>
39. Li M, Yiu Y, Merrill T, Yildiz V, deSilva B, Matrkka L. Risk factors for posttracheostomy tracheal stenosis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2018;159:698-704.
<https://doi.org/10.1177/0194599818794456>
40. Altinsoy B. Tracheo-esophageal fistula secondary to tra-

cheostomy, delayed diagnosis. J Pak Med Assoc. 2012; 62:851-3.

41. Kurose M, Takano K, Mitsuzawa H, Himi T. Tracheo-innominate artery fistula with severe motor and intellectual

disability: incidence and therapeutic management. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2014;78:1348-51.
<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.05.027>