



Ultrasound-Guided Percutaneous Dilatational Tracheostomy for Critically Ill Patients With COVID-19

Jun Yeong Jeong , Seung Won Lee , and Ki Nam Park

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Bucheon Hospital, Soonchunhyang University College of Medicine, Bucheon, Korea

COVID-19 환자에서 시행한 초음파 유도하 경피적 기관절개술의 분석

정준영, 이승원, 박기남

순천향대학교 의과대학 부천병원 이비인후과학교실

Background and Objectives The global coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic has had a major impact on healthcare, especially in the area of critical care due to the longer period of mechanical ventilation. Ultrasound-guided percutaneous tracheostomy (US-PDT) is considered a safe alternative method.

Materials and Method Patients with severe COVID-19 hospitalized in the intensive care unit (ICU) who were on mechanical ventilation for 5 days or longer were evaluated for percutaneous dilatational tracheostomy. The procedure was performed with personal protective equipment with powered air purifying respirator (PAPR) in the ICU isolated by negative pressure. Parameters such as mortality, incidence of infection to medical staff, major and minor complications were observed.

Results The average time taken for US-PDT was 6.4 minutes. Five patients (27.8%) showed oxygen saturation of less than 90% due to apnea during tracheotomy, but there was no case of severe hypoxemia that required discontinuation or re-intubation. There was no COVID-19 infection of medical staff related to the procedure. A total of 9 patients (50%) died from COVID-19 pneumonia, and 1 patient (5.6%) was decannulated. There was no death due to US-PDT and no serious complications such as pneumothorax or accidental decannulation were observed.

Conclusion As patients eligible for tracheostomy increased significantly due to the COVID-19 epidemic, US-PDT can be considered to be a useful technique for COVID-19 patients who require long-term mechanical ventilation. This technique can lower the risk of transmission to medical staffs who are at the forefront of being exposed to the risk of infection when an epidemic breaks out.

Keywords COVID-19; Ultrasound; Percutaneous dilatational tracheostomy.

Received January 16, 2023
Revised February 24, 2023
Accepted February 27, 2023

Corresponding Author

Ki Nam Park, MD, PhD
 Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Bucheon Hospital, Soonchunhyang University College of Medicine, 170 Jomaru-ro, Bucheon 14584, Korea
Tel +82-32-621-6582
Fax +82-32-621-6950
E-mail man7140@gmail.com

ORCID iDs

Jun Yeong Jeong
<https://orcid.org/0000-0002-6934-1650>
 Seung Won Lee
<https://orcid.org/0000-0002-0468-8143>
 Ki Nam Park
<https://orcid.org/0000-0001-6641-3981>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

서론

전 세계적인 코로나 바이러스 감염증(coronavirus disease 2019, COVID-19)의 유행으로 의료의 모든 영역이 큰 영향을 받았고, 특히 중환자 치료 영역에 더 극적으로 작용하였다. 중환자실에서 치료가 필요한 COVID-19 환자들은 일반적인 바이러스 폐렴에 비

해 좀 더 긴 기간의 적극적인 호흡 보조가 필요하다고 보고되고 있다[1]. COVID-19 환자에서 장기간 기도 삽관이 필요한 경우 기관절개술의 시행은 진정제의 사용을 줄일 수 있고, 생존율을 높일 수 있으며, 인공호흡기 도움을 줄여 중환자실 자원의 부하를 줄이는데 도움을 준다[2].

COVID-19 이전의 대유행 바이러스 질환 환자에게 시행된 수술적 기관절개술에서 수술과 연관된 의료진 전염의 빈도가 낮았다는 보고가 있으나[3], 최근 경피적 방법이 많은 발전을 이루었고, 여러 기관에서 COVID-19에서 시술 참여자의 낮은 감염 빈도를 보고하고 있다[4]. 경피적 기관절개술(percutaneous dilational tracheostomy, PDT)은 기관지 내시경을 통한 방법이 가장 많이 사용되나, 최근 안전한 대체 방법으로 초음파를 이용한 방법이 대두되고 있다[5]. COVID-19 환자에서 시행한 초음파 유도 경피적 기관절개술(ultrasound-guided PDT, US-PDT)에 대한 결과가 보고되고는 있으나, COVID-19 환자에서 널리 이용되는 술식은 아니다[6].

이제 저자들은 COVID-19 중증센터로 지정된 본원 중환자실에서 장기간의 기도 삽관으로 인해 이비인후과로 기관절개술이 의뢰된 환자에서 시행한 US-PDT의 특성 및 결과에 대해 고찰해보고자 한다.

대상 및 방법

2021년 1월부터 2022년 5월까지 COVID-19 감염으로 중환자실에 입원한 환자 중 장기간의 기도 삽관이 필요하여 기관절개술을 시행한 18명에 대해 실시간 초음파 유도 경피적 확장 기관절개술을 시행하였다. 시술은 음압 격리된 중환자실에서 개인 보호장비(personal protective equipment with powered air purifying respirator, PAPR)를 갖추고 시행하였고, 중환자실에 상비되어 있는 초음파와 기관절개술 키트(Ciaglia Blue Rhino tracheostomy kit, Cook Medical Inc., Bloomington, IN, USA)를 이용하였다. 시술의 실패를 대비하여 기관절개술 수술 장비 세트는 준비하였다. 본 연구는 후향적으로 이루어졌고, 연구 윤리 심의 위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받았다(IRB No. 2022-09-001-001).

시술 전 준비

경피적 확장 기관절개술을 위해 필요한 인력은 최소한으로 하기 위해서, 기관절개술 수술의사 1명, 수술 필드에 들어와 있지 않지만 삽관 튜브 깊이 조정 및 발관을 도와줄 간호사 1명으로 하였다(Fig. 1). 환자를 양와위로 위치시키고 어깨 받침을 통해 경부를 신전시켰다. 수술 중 기침 반응은 에어로졸을 생성하여 의료진 감염을 유발할 수 있으므로, 최소화 하기



Fig. 1. Ultrasound-guided percutaneous dilational tracheostomy was carried out by a single surgeon wearing PAPR and only one assistant was needed for the adjustment of tube depth and manipulation of a ventilator. This photo was permitted to use from the patient and medical staff. PAPR, powered air-purifying respirator (<https://youtu.be/MUEwdi1KNZU>).

위해 신경근육 차단 약제를 사용하고, 시술 준비하는 과정에서 최소 5분간 산소 분압을 1.0으로 기계환기 시키며, 시술의 시작인 삽관 깊이 조정 때부터 무호흡 상태를 유지하였다[7].

초음파 유도 기관절개술

본 기관에서 시행한 선행 연구의 방법으로 초음파 유도 기관절개술을 시행하였다[8]. 선상 탐촉자(linear probe)를 시상면(sagittal plane)으로 윤상연골과 기관 연골 부위에 위치시켜 2번과 3번 기관 연골 부위의 기관창을 낼 부위를 확인한다. 또한 측면(axial plane)으로 피부에서부터 기관창 낼 부위의 깊이, 갑상선 협부의 두께 및 전경부 정맥의 위치 등의 경부 해부학을 파악한다. 삽관 튜브는 시상면 초음파를 통해 기도 내 두줄로 고에코 음영(double-lined hyperechogenicity)이 관찰되며, 초음파로 확인하면서 기계 환기를 끄고, 보조 간호사에게 기관 커프 공기 흡인 및 삽입 깊이를 알게 조정하게 한다. 삽관 튜브의 끝은 경부 신전된 환자에서 기관 연골의 앞쪽 벽을 밀게 되어 초음파에서 모양 변화를 통해 확인할 수 있으며, 잘 확인되지 않는 경우 생리식염수를 커프 팽창에 사용하여 저음영의 커프를 초음파를 통해 확인하면서 위치 조정이 가능하다[9]. 커프에 공기 주입 후 초음파를 통해 가이드 바늘을 넣기 전까지 기계환기를 시행하고 멈춘 후 시술 후 기관절개관 삽입까지 무호흡을 유지했다. 초음파 탐촉자를 측면으로 회전하고, 위쪽 끝을 윤상 연골의 아래면에 위치시키고 30도 정도 아래쪽을 초음파로 관찰하면서 생리식염수가 채워진 가이드 바늘을 초음파로 확인하면서 갑상선 협부 천자 및 기관 연골막의 정중앙 부위를 천자하고 공기 역류를 확인한다. 바늘은 초음파 측면에서 바늘 앞에 뚜렷한 음향 그림자로 바늘의 경로를 확인하는 “out-of-plane” 모드로 시각화

할 수 있다[10]. 적절한 위치가 아니거나 공기가 역류되지 않을 때는 바늘을 제거하고 다시 천자한다. 삼관 깊이의 조정이 끝나면 다시 커프에 공기를 주입하여, 폐쇄된 호흡 회로(breathing circuit)를 유지한다[11]. 탐촉자를 잡던 손을 놓고 바늘을 고정된 상태에서 바늘에서 주사기를 제거하고 유도 철사(guide wire)를 바늘 내강을 통해 삽입하고 바늘을 제거한다. 유도 철사 부위를 중앙으로 하여 피부를 1.5 cm 정도 수평으로 절개하고, 순차적으로 확장기를 이용하여 확장한다. 이후 유도 철사의 끝을 삼삽관 내관의 중앙 구멍을 통해 연결하여 기관 절개관을 삽입한다. 기계 환기에 기관절개관을 연결하고 일회 호흡량(tidal volume) 및 가능하면 호기말 이산화탄소분압을 확인하고 성공적인 기관절개술을 확인하고 구강의 삼관 튜브를 제거한다.

결 과

US-PDT는 모든 환자에서 성공적으로 시행되어, 시술 중 수술적 기관절개술로의 전환은 없었다. 환자의 평균 나이는 66.5 ± 13.7 세였고, 남성 11명, 여성 7명이었다. 수술 전 기도 삼관 시간은 총 평균 20일(ranged 5-40)이었다. 재원 중인 환자 1명을 제외하고 중환자실 치료 기간은 46.1일(range 17-112)이었고, 이중 extracorporeal membrane oxygenation 시술을 받은 환자는 1명이었다. US-PDT에 소요된 시간은 평균 6.4 ± 1.7 분이었고, 초음파를 이용한 시술 부위 혈관 관찰 및 삼관 깊이 조정에 소요된 시간은 3.3 ± 1.1 분이었고, 무호흡 시간은 평균 2.1 ± 0.7 분이었다. 기관절개술 중 무호흡으로 인해 90% 미만의 산소포화도를 보인 경우는 5명(27.8%)이었지만, 시술 중단 및 재삼관이 필요할 정도로 심각한 저산소혈증을 보인 경우는 없었으며, 기관절개관 삽입을 통한 환기로 회복되었다. 시술은 집도의 1명과 간호 인력 1명에 의해 시행되었고, 추가적으로 필요한 인력은 없었으며, 시술과 연관된 의료진의 COVID-19 감염은 없었다. 총 9명(50%)의 환자가 COVID-19 폐렴으로 사망하였고 기관절개의 제거에 성공한 경우는 1명(5.6%)이었다. US-PDT로 인한 사망은 없었고, 합병증은 피하 기종 1명, 경미한 출혈이 2명 있었으나 보존적 치료로 회복되었으며, 기흉이나 우발적 발관 등 심각한 합병증은 관찰되지 않았다(Table 1). 평균 7.33일에 첫 기관절개관 교체를 시행하였고 교체 시 합병증은 발생하지 않았다.

고 찰

기관절개술은 다양한 보고에서 COVID-19 환자에게 도움이 된다고 보고되었으나[12], 기관절개술의 결정이 어려운 이

Table 1. Characteristics of US-PDT in patient with COVID-19 (n=18)

Clinical parameters	
Age (years)	66.5±13.3
Sex (male:female)	11:7
Mortality (%)	9 (50.0)
Timing of tracheostomy (days)	20±8.8
ICU treatment duration (days)	46.1±23.2
Transmission to medical staff	0 (0.0)
Operation time (min)	6.4±1.7
Apnea time (min)	2.1±0.7
Tracheostomy tube size	
ID 7.0 mm	7 (38.9)
ID 8.0 mm	11 (61.1)
Complications	
Bleeding	2 (11.1)
Emphysema	1 (5.6)
Pneumothorax	0 (0.0)
Desaturation (<90%)	5 (27.8)
First cannula change (days)	7.33
Decannulation (%)	1 (5.6)

Data are presented as the number (%) or mean±standard deviation (range). US-PDT, ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy; ID, inner diameter

유는 높은 전염력과 질환의 중증도가 높아 의료진의 잠재적 위험을 환자의 이익과 함께 고려해야 하기 때문이다. 따라서 COVID-19 환자에서 기관절개술의 이상적인 시기는 에어로졸 생성의 위험으로 일반적으로 시행되는 기관절개술보다 더 논란의 여지가 있고 많은 연구에서 최소 14일 이후에 시행하는 것을 권고하고 있다[13]. 본 연구에서는 기관 절개술 전 기도삼관의 기간은 평균 20일이었다. 여러 보고에서 3일에서 3주 이상으로 다양한 기간으로 보고가 있고[14], 다른 보고들과 환자의 심혈관계 안정성 및 기계 환기 모드 등의 차이가 있을 수 있으므로 기관 삼관의 기간이 길었다고 볼 수는 없을 것으로 판단된다.

COVID-19 환자에서 기관절개술을 시행하는 장소는 이상적으로 음압 격리된 환경에서 시행하는 것이 바람직하며, 시술 방법은 고식적인 수술적 기관절개술과 경피적 확장 기관절개술로 나눌 수 있으며, 두 방식을 혼합한 방법들도 보고되고 있다[15]. 본 연구는 모든 환자에서 음압 격리된 환경에서 시행하여 감염 확산의 가능성을 최소화 하였다[16]. 또한 시술에 참여하는 의료진으로 의사와 간호사 각 1명으로 최소화하여, 노출 의료진을 최소화할 수 있었다. 아울러 US-PDT는 상품화된 PDT 세트와 중환자실에 상비된 초음파판을 이용하여 수술적 기관절개술에 필요한 조명 장비나 다양한 수술 기구를 준비할 필요가 없었다는 장점이 있다[17].

수술적 기관절개술은 출혈의 특정 부위에 보다 직관적으로

접근이 가능하나, Bovie의 사용은 바이러스가 포함된 에어로졸 생성을 촉진할 가능성이 있기 때문에 최소한으로 사용해야 한다[18]. US-PDT는 전기소작기를 전혀 사용하지 않고, tube 자체의 압박 효과로 지혈이 되기 때문에 에어로졸 제거를 위한 smoke evacuator가 필요하지 않다는 장점이 있다[9].

USG-PDT의 우려로는 출혈이 있었으나 본 연구에서는 11.1%의 경미한 시술 후 출혈을 보였고 압박 지혈로 회복되었고, 생명이 위협할 정도의 출혈은 없었다. 이는 여러 연구들에서 수술적 기관절개술에 비해 bleeding으로 인한 complication이 높지 않음을 보였다[19].

기관지 내시경을 통한 경피적 기관절개술과 비교하여 US-PDT의 경우 시술 중 기관-식도 누공의 발생 가능성이 높다는 우려가 있으나 본 연구에서 TE-fistula는 없었고, 이는 다른 보고에서도 큰 차이가 없음을 보였다[20]. 본 연구에서 기관절개술 후 사망률은 50%로 높은 편이나, 대상자들이 중환자실 입원을 요하는 중한 COVID-19 감염증이고, 기저 질환이 많은 고령이라는 점을 고려해야 한다.

US-PDT 단점으로는 learning curve가 필요하여 빠른 적용이 어렵다는 점이 있다[21]. 본원에서는 COVID-19 유행 이전인 2019년부터 USG-PDT를 시행하였기 때문에 learning curve를 극복할 수 있었으나, 일반적으로는 일관적인 합병증 빈도와 시술시간에 도달하기까지 50건 이상의 시술을 요한다고 알려져 있다. 다만, 두경부 외과외사의 경우 진료에서 직접 초음파를 활용하는 경우가 많아지고 있고, 확실한 해부학적 지식과 수술적 기관절개술에 능숙하기 때문에 이러한 learning curve는 더 짧을 것으로 예상된다.

본 연구의 제한점으로는 작은 수의 대상자와 후향적 연구라는 점이 있고, 이와 더불어 수술 기구 이동의 문제, diathermy 사용으로 인한 aerosol 생성, PPE 착용으로 인한 조명 확보 문제 등으로 인해 음압 중환자실에서는 수술적 기관절개술을 시행하지 않았기 때문에 수술적 기관절개술과의 비교 연구는 시행하지 못하였다.

다만 앞으로 SARS, MERS, COVID-19 이후에 추가적인 감염병 대유행이 발생하였을 때, 이비인후과 의사들이 최전선에서 감염의 위험에 노출이 되기 때문에, 기도 조작 및 참여 인력을 최소화할 수 있는 등 전염 가능성이 보다 적을 수 있는 방법으로 US-PDT의 가능성을 제시하는 데 본 연구의 의미가 있다고 하겠다.

결 론

COVID-19 대유행이 극복되지 않은 현실점에서 초음파 유도 기관절개술은 장기간의 기도 삽관을 요하는 COVID-19

환자에서 유용하게 사용할 수 있는 술기로 생각되며 추후 추가적인 감염병 유행이 발생하였을 때 최전선에서 감염의 위험에 노출이 되기 쉬운 이비인후과 의사들의 전염 가능성을 낮출 수 있는 방법이다.

중심 단어: COVID-19; 초음파; 경피적 확장 기관절개술.

Acknowledgments

This work was supported by Soonchunhyang University Research Fund.

Conflicts of Interest

The authors have no financial conflicts of interest.

Authors' Contribution

Conceptualization: Jun Yeong Jeong, Ki Nam Park. Data curation: Jun Yeong Jeong, Ki Nam Park. Formal analysis: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Funding acquisition: Ki Nam Park. Investigation: Jun Yeong Jeong, Ki Nam Park. Methodology: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Project administration: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Resources: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Supervision: Seung Won Lee. Validation: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Writing—original draft: Jun Yeong Jeong. Writing—review & editing: Seung Won Lee, Ki Nam Park. Approval of final manuscript: all authors.

REFERENCES

- Richards-Belle A, Orzechowska I, Gould DW, Thomas K, Doidge JC, Mouncey PR, et al. COVID-19 in critical care: epidemiology of the first epidemic wave across England, Wales and Northern Ireland. *Intensive Care Med* 2020;46(11):2035-47.
- Adly A, Youssef TA, El-Begermy MM, Younis HM. Timing of tracheostomy in patients with prolonged endotracheal intubation: a systematic review. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2018;275(3):679-90.
- Martin-Villares C, Perez Molina-Ramirez C, Bartolome-Benito M, Bernal-Sprekelsen M; COVID ORL ESP Collaborative Group. Outcome of 1890 tracheostomies for critical COVID-19 patients: a national cohort study in Spain. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2021;278(5):1605-12.
- Queen Elizabeth Hospital Birmingham COVID-19 Airway Team. Safety and 30-day outcomes of tracheostomy for COVID-19: a prospective observational cohort study. *Br J Anaesth* 2020;125(6):872-9.
- Chee VW, Khoo ML, Lee SF, Lai YC, Chin NM. Infection control measures for operative procedures in severe acute respiratory syndrome-related patients. *Anesthesiology* 2004;100(6):1394-8.
- Rovira A, Tricklebank S, Surda P, Whebell S, Zhang J, Takhar A, et al. Open versus percutaneous tracheostomy in COVID-19: a multi-centre comparison and recommendation for future resource utilisation. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2021;278(6):2107-14.
- Williamson A, Roberts MT, Phillips J, Saha R. Early percutaneous tracheostomy for patients with COVID-19. *Anaesthesia* 2021;76(1):138-9.
- Kang HT, Kim SY, Lee MK, Lee SW, Baek A, Park KN. Comparison between real-time ultrasound-guided percutaneous tracheostomy and surgical tracheostomy in critically ill patients. *Crit Care Res Pract* 2022;2022:1388225.
- Menegozzo CAM, Rocha MC, Utiyama EM. Performing ultrasound-guided percutaneous tracheostomy in COVID-19 patients. *J Am Coll Surg* 2021;232(2):226-7.
- McGrath BA, Brenner MJ, Warrillow SJ. Tracheostomy for COVID-19: business as usual? *Br J Anaesth* 2020;125(6):867-71.
- Lin CH, Yang SM, Chiang XH, Chuang JH, Ko HJ, Huang PM. Ul-

- trasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy using a saline-filled endotracheal tube cuff as an ultrasonographic puncture target: a feasibility study. *J Crit Care* 2018;48:112-7.
12. Petiot S, Guinot PG, Diouf M, Zogheib E, Dupont H. Learning curve for real-time ultrasound-guided percutaneous tracheostomy. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2017;36(5):279-83.
 13. Broderick D, Kyzas P, Baldwin AJ, Graham RM, Duncan T, Chain-toutis C, et al. Surgical tracheostomies in COVID-19 patients: a multidisciplinary approach and lessons learned. *Oral Oncol* 2020;106:104767.
 14. Williams T, McGrath BA. Tracheostomy for COVID-19: evolving best practice. *Crit Care* 2021;25(1):316.
 15. Bier-Laning C, Cramer JD, Roy S, Palmieri PA, Amin A, Añon JM, et al. Tracheostomy during the COVID-19 pandemic: comparison of international perioperative care protocols and practices in 26 countries. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2021;164(6):1136-47.
 16. Tay JK, Khoo ML, Loh WS. Surgical considerations for tracheostomy during the COVID-19 pandemic: lessons learned from the severe acute respiratory syndrome outbreak. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2020;146(6):517-8.
 17. Gosling AF, Bose S, Gomez E, Parikh M, Cook C, Sarge T, et al. Perioperative considerations for tracheostomies in the era of COVID-19. *Anesth Analg* 2020;131(2):378-86.
 18. Botti C, Lusetti F, Neri T, Peroni S, Castellucci A, Salsi P, et al. Comparison of percutaneous dilatational tracheotomy versus open surgical technique in severe COVID-19: complication rates, relative risks and benefits. *Auris Nasus Larynx* 2021;48(3):511-7.
 19. Dulguerov P, Gysin C, Perneger TV, Chevrolet JC. Percutaneous or surgical tracheostomy: a meta-analysis. *Crit Care Med* 1999;27(8):1617-25.
 20. Delaney A, Bagshaw SM, Nalos M. Percutaneous dilatational tracheostomy versus surgical tracheostomy in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2006;10(2):R55.
 21. Pappas S, Maragoudakis P, Vlastarakos P, Assimakopoulos D, Mandrali T, Kandiloros D, et al. Surgical versus percutaneous tracheostomy: an evidence-based approach. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2011;268(3):323-30.