



Protection of Endotracheal Tube During Laryngeal Laser Surgery Using Fire Resistant Tape

Seok Hwa Ko^{ID}, Woo Geun Seo, and Yong Bae Ji^{ID}

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea

후두 레이저 수술 중 내화성 테이프를 이용한 기관 내 튜브의 보호

고석화 · 서우근 · 지용배

한양대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Received June 30, 2022

Revised July 19, 2022

Accepted July 25, 2022

Address for correspondence

Yong Bae Ji, MD, PhD
Department of Otorhinolaryngology-
Head and Neck Surgery,
Hanyang University
College of Medicine,
222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu,
Seoul 04763, Korea
Tel +82-2-560-2368
Fax +82-31-560-2179
E-mail jyb20000@hanmail.net

Operating-room airway fires are serious and potentially fatal complications. To prevent airway fire in CO₂ laser surgery of the larynx, many techniques and devices have been developed. Using laser safe tube is one of the common methods of preventing airway fire, but it is very expensive and hard to treat. In this study, we used a fire-resistant tape to protect the endotracheal tube and had very successful results in experiments with CO₂ laser. In this article, we introduce the technique of using a fire-resistant tape to protect endotracheal tube.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2022;65(10):644-7

Keywords Explosions; Larynx; Laser; Laser surgery.

서론

수술 중 발생하는 기도 발화는 발생 빈도가 드물기는 하지만 발생하는 경우 매우 심각한 부작용을 야기할 수 있으며, 심한 경우 환자가 사망할 수도 있다.¹⁾ 미국의 경우 연간 250-600건의 수술 중 화상이 보고된 바 있으며,²⁾ 그중 20-30건 환자에게 심각한 상해를 입히고 1-2건은 사망하는 것으로 알려져 있다.^{3,4)} 기도 내 화상은 기관과 기관지의 상부와 하부, 폐, 그리고 주변의 조직까지 손상을 입힐 수 있고, 이런 기도의 손상은 감염, 전해질 불균형, 열 손실, 기도 폐쇄, 폐 침윤 등을 야기할 수 있다. 게다가 기도 발화는 피부의 화상을 일으켜 이로 인해 중환자실입원 혹은 수술적 치료가 필요할 수 있다.⁵⁾

Transoral laser microsurgery는 인두와 후두의 다양한 병

변에서 적용되는 유용한 술식이다. 하지만 특히 후두 병변을 제거하는 경우에는 튜브와 매우 가까운 거리에서 레이저를 사용하게 되며, 성문부에서 레이저를 사용하게 되는 경우 불과 1-2 mm의 근거리에서도 사용하게 된다. 발화가 일어나기 위해서는 열원, 산소, 그리고 연료가 있어야 하는데, 레이저 수술 중에는 레이저가 열원이 되고 마취를 위해서는 산소를 사용할 수밖에 없다.⁶⁾ 그리고 기관 내 튜브 혹은 수술 중 가열된 조직이 기화되어 연료의 역할을 할 수 있다.⁷⁾ 그러나 후두수술 중 기관 내 삽관은 환자의 호흡을 유지할 뿐만 아니라 수술 영역과 기관을 분리해주는 역할도 겸하고 있기에 기도 화상을 예방하기 위하여 내화성의 튜브를 사용하는 것이 일반적이다. 내화성의 튜브 중 현재 국내에서 사용 가능한 것은 금속성 재질의 튜브가 판매되고 있지만 뻣뻣하고 다루기가 어려우며 튜브로 인한 후두 손상의 가능성이 있을 뿐 아니라, 약 160000원 정도로 일반 기관 삽관용 튜브에 비해 매우 높은 가격에다가 국내에서 산정불가 품목으로 의료보험의 적용을

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.

받지 못한다. 상업적인 레이저 보호 튜브가 판매되기 이전에도 여러 연구자들에 의해 튜브를 보호하는 방법이 소개된 바 있다.⁸⁾

이에 저자는 transoral laser microsurgery 시에 국내에서 쉽게 구매할 수 있는 내화성 테이프를 이용하여 튜브를 보호하는 방법을 사용하고 있어 이에 대해 소개하고자 한다.

방 법

저자들은 공업용 내화성의 테이프를 이용하여 일반 기관 내 튜브를 감싸는 방식을 이용하였다. 테이프는 알루미늄에 테플론과 실리콘으로 특수 코팅된 원단으로 제조되어 순간 온도 1600°C까지 버틸 수 있다(Siltex, Barvaria, Austria) (Fig. 1). 튜브의 크기는 통상적으로 남성 7.0-6.5, 여성 6.5-6.0을 이용하였고 튜브의 balloon 직상 부위로부터 빈틈없이 보호하면서도 한번에 감을 수 있도록 디자인을 고안해 재단하여 사용하였다(Fig. 2). 기낭은 성문하부로 젖은 거즈 조각을 삽입하여 보호하였다.

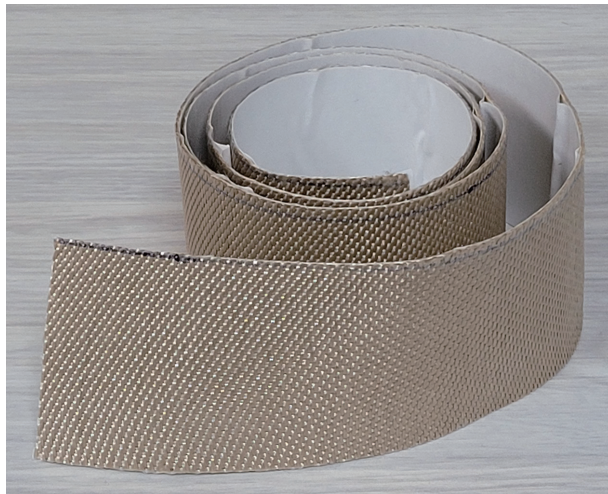


Fig. 1. Heat resistant insulation tape. Teflon and silicone coating, aluminum laminating tape.

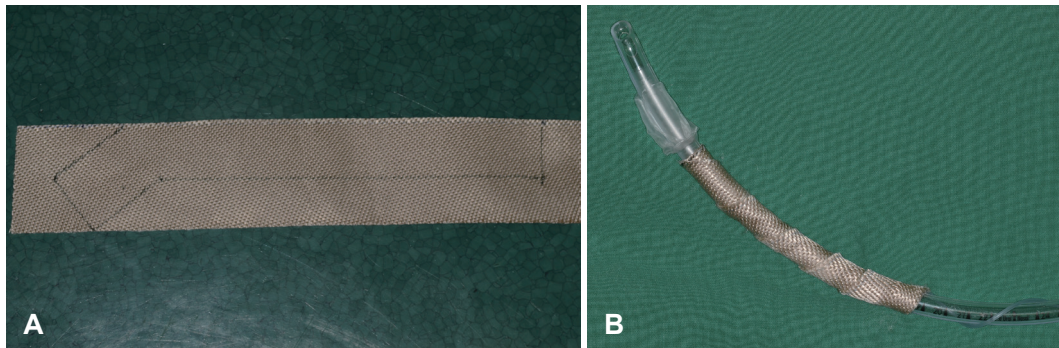


Fig. 2. Design of heat-resistant insulation tape. A: Design of tape to cover the endotracheal tube. B: Endotracheal tube covered by heat resistant insulation tape.

레이저 성대절제술 시에는 튜브의 두께가 약간 더 두꺼워져서 성문부 공간이 조금 부족해지지만 조금 작은 튜브를 이용하면 수술에 충분한 공간을 얻을 수 있다(Fig. 3).

저자들은 내화성 테이프의 레이저에 대한 안전성을 시험하기 위해 기관 내 튜브를 반으로 자른 후 내화성 테이프로 감쌌다. 이후 마른 상태의 튜브를 설압자 위에 올린 이후 CO₂ 레이저를 5.0 watt continuous 모드로 10초, 20초, 30초 동안 가열하였다. 또한 실제 수술 중에는 타액에 의해 젖은 상태로 사용된다는 점을 고려하여 테이핑 된 튜브를 생리식염수에 적셔서 CO₂ 레이저를 5.0 watt continuous 모드로 10초, 20초, 30초 동안 가열하였다.

결 과

현재까지 3예의 레이저 성대절제술, 7예의 후두개 낭종, 1예의 레이저 성문상부 후두절제술을 시행하였으며 모두 안전하게 시행되었다.

안전성 검증을 위한 실험에서는 모든 경우에서 발화가 일어난 경우는 없었으나, 마른 상태로 가열한 튜브는 레이저가 닿았던 부위의 테이프가 조금 탄 것이 관찰되고 튜브에 약간의 변형이 관찰되었으나 내관이 관통되지는 않았다(Fig. 4A)

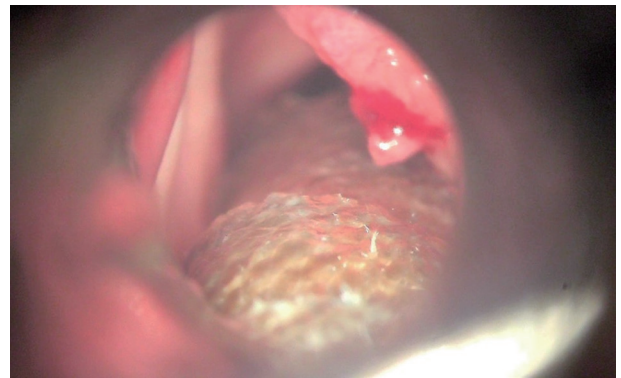


Fig. 3. Laser cordectomy using the endotracheal tube covered by heat resistant insulation tape.

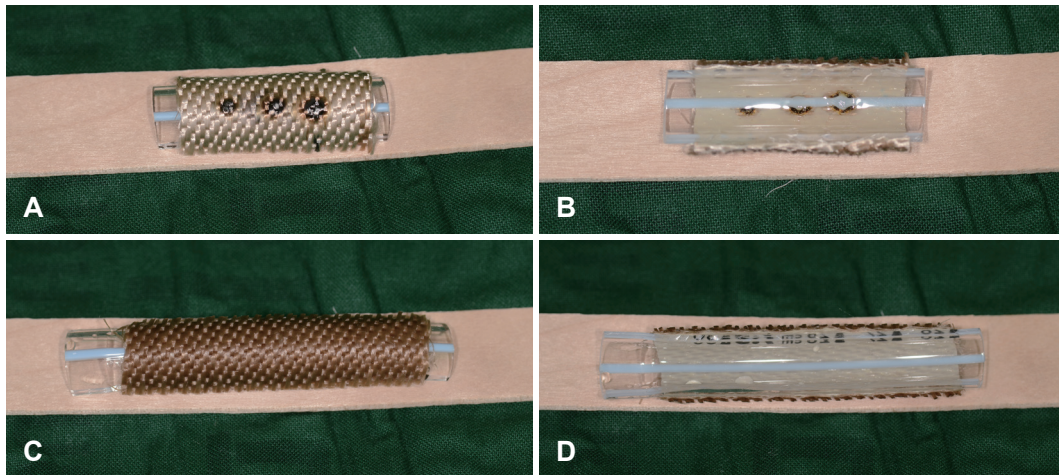


Fig. 4. Outer surface (A), inner surface (B) of dry heat resistant insulation tape and outer surface (C), inner surface (D) of wet heat resistant insulation tape after 5-watt lasering (10, 20, 30 sec, left to right).

and B). 젖은 상태의 튜브는 테이프도 전혀 타지 않았고 튜브의 변형도 관찰되지 않았다(Fig. 4C and D).

1970년 Strong과 Jako⁹⁾에 의해 CO₂ 레이저를 이용한 수술법이 소개된 이래로 transoral laser microsurgery의 적용 범위는 점점 확대되어 왔다. 수술 중 절제와 지혈을 동시에 시행하여 출혈 위험을 낮추고 그로 인해 시야 확보가 용이하다는 장점이 있기에 상기도 특히 후두에서 양성 혹은 악성 종양의 수술에서 큰 비중을 차지하고 있다.¹⁰⁾ 그러나 transoral laser microsurgery에서 수술 부위의 온도는 450°C에 달하고, 고농도의 산소로 인해 치명적인 폭발이 발생할 수도 있다. 실제로 기도 화상은 약 0.4%–1.5% 정도 발생한다고 알려져 있다.^{5,11,12)}

이런 위험성이 있기에 transoral laser microsurgery 시행 중 기도화상을 예방하기 위하여 여러가지 방법들이 고안되었고 사용되어 왔다. 대표적으로는 레이저 사용 시 FiO₂를 가능한 낮추는 방법이 있다. FiO₂를 50% 이하 혹은 가능하다면 40% 이하로 낮추는 경우 폭발의 위험이 낮아지는 것으로 알려져 있다.^{2,4)} 성문 상부 혹은 하부 제트 환기를 사용하는 방법도 있으나 사용에 제한이 있다. 레이저 사용 시 기관 내 튜브를 제거하고 산소 포화도가 저하된다면 다시 삽관을 반복하는 방법도 있으나 이 또한 여러가지 단점이 있다.⁸⁾

위에 기술된 방법과 달리 기관 내 삽관을 하고 튜브를 보호하는 방법들도 고안되었는데, 가장 먼저 고안된 것은 젖은 거즈를 이용하는 것이었다. 그러나 튜브를 보호할 수 있는 범위가 제한적이기에 Andrews와 Moss,¹³⁾ Snow와 Norton¹⁴⁾에 의해 금속 호일을 이용하여 튜브를 감싸는 방법이 제시되었다. 그러나 호일이 감싸지 못한 부위에 레이저가 사용되거나¹⁵⁾ 지속적인 레이저 사용 시 열이 전달되어 화상 및 발화의 원인이 되는 경우가 있었다.¹⁶⁾ 또한 호일은 신축성이 부족하여 튜브

를 밀착하여 감싸기 어려워 느슨하게 감긴 호일이 주위 조직을 손상시키거나 사용 중 찢어 지는 경우가 많았다.¹⁷⁾ 또한 금속 호일의 표면은 레이저를 반사시켜 원치 않는 부위에 손상을 주는 일도 발생하였다. 뿐만 아니라 호일이 떨어져 기관 내에 남는 경우도 보고된 바가 있다.¹⁸⁾

금속 호일 사용에 여러 한계점이 있어 레이저 수술용으로 튜브가 제작되었고, 국내에서는 Medtronic사의 금속제 튜브가 판매되고 있다(Shiley™ Laser Oral Endotracheal Tubes; Medtronic, MN, USA). 금속재질의 튜브이지만 표면에서 레이저를 산란시켜 레이저가 반사되어 생기는 문제를 해결하였다. 하지만 튜브의 유연성이 떨어져서 다루기가 힘들고 그 가격 또한 일반 실리콘 기관삽관 튜브에 비해 고가이며, 국내에서 의료보험의 적용을 받지 않아 사용에 어려움이 있다. 실리콘을 이용한 레이저 튜브도 있는데 금속 재질의 튜브보다 유연성이 좋아 사용에는 용이하나 내열 온도가 200°C–250°C로 450°C까지 상승하는 레이저 수술에는 부족함이 있으며, 튜브의 직경이 굵어 소아에서 사용에는 제한이 있다. 또한 현재 국내에서 판매되고 있지 않다.

Sosis와 Dillon¹⁹⁾에 의해 Laser-Guard (Merocel Corp., Mystic, CT, USA)로 튜브를 보호하는 방법도 소개되었는데, 호일을 이용한 방법보다 젖은 상태에서 보다 부드러운 사용이 용이하고 후두의 손상을 줄일 수 있었다. 그러나 그 크기에 한계가 있어 튜브 전체를 보호하지는 못하였다. 또한 젖은 상태에서만 튜브를 보호할 수 있는 한계가 있고, 튜브의 사용 시 직경이 2 mm 이상 증가하여 소아에서 사용에 한계가 있다. Walker 등²⁰⁾은 소아의 레이저 후두 수술에서 0.12 mm의 알루미늄 테이프로 튜브를 효과적으로 보호하였다고 보고한 바 있으나, 알루미늄 테이프 또한 튜브 삽관 시 찢어지는 등의 문제점이 있었다.

저자들은 알루미늄 원단에 실리콘과 테프론 코팅이 된 내화성 테이프(Siltex, Julbach, Germany)를 구입하여 폴리염화비닐(PVC) 튜브에 감아서 사용하였다. 기관의 직상부부터 빈틈없이 보호하고자 테이프를 도안하여 사용하였으며, 본 연구에서 시행한 안정성 시험에서 5.0 watt의 CO₂ 레이저로 30초 가열하였을 때에도 젖은 상태의 내화성 테이프로 보호된 경우에는 튜브의 손상이 전혀 관찰되지 않았다. 저자는 이와 같은 방법을 통해 후두 레이저 수술을 안전하게 시행할 수 있었으며, 본 실험 결과로 내화성 테이프를 이용한 방법은 수술 중 기관 내 튜브의 가열로 인한 기관 내 화상의 위험을 충분히 방어할 수 있다고 생각된다. 또한 약간의 신축성이 있어 튜브에 잘 밀착이 되었고 튜브의 굵기에 상관없이 사용이 가능하다. 튜브에 감아도 튜브가 부드럽게 휘어져서 기도 삽관에도 용이하다. 경제적으로도 1 m당 약 15000원 정도로 쉽게 구매가 가능하여 고가의 레이저 튜브보다 경제적이었다. 다만 두께가 1 mm로 사용 시 튜브의 직경이 증가하기 때문에 이를 감안하여 삽관 튜브의 직경을 고려해야 한다.

결론적으로, 내화성 테이프를 이용하여 기관 내 튜브를 보호하는 것은 사용에 제한이 있는 레이저 튜브를 대체할 수 있는 유용한 방법 중 하나로 고려해 볼 수 있다.

Acknowledgments

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2021R111A4A01051258).

Author Contribution

Conceptualization: Yong Bae Ji. Data collection: Woo Geun Seo. Funding acquisition: Yong Bae Ji. Investigation: Yong Bae Ji, Seok Hwa Ko. Methodology: Yong Bae Ji. Writing—original draft: Seok Hwa Ko. Writing—review & editing: Yong Bae Ji.

ORCIDs

Yong Bae Ji <https://orcid.org/0000-0002-0182-7865>

Seok Hwa Ko <https://orcid.org/0000-0002-4447-6479>

REFERENCES

- Huang L, Badenoch A, Vermeulen M, Ullah S, Woods C, Athanasiadis T, et al. Risk of airway fire with the use of KTP laser and high flow humidified oxygen delivery in a laryngeal surgery model. *Sci Rep* 2022;12(1):543.
- Roy S, Smith LP. Prevention of airway fires: Testing the safety of endotracheal tubes and surgical devices in a mechanical model. *Am J Otolaryngol* 2015;36(1):63-6.
- Day AT, Rivera E, Farlow JL, Gourin CG, Nussenbaum B. Surgical fires in otolaryngology: A systematic and narrative review. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2018;158(4):598-616.
- Marshall MN, Bowman TJ, Santa Ana JM. Airway fire: Extensive literature review and practice recommendations [dissertation]. Los Angeles (CA): University of Southern California;2020.
- Stuermer KJ, Ayachi S, Gostian AO, Beutner D, Hüttenbrink KB. Hazard of CO₂ laser-induced airway fire in laryngeal surgery: Experimental data of contributing factors. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013;270(10):2701-7.
- Schramm VL Jr, Mattox DE, Stool SE. Acute management of laser-ignited intratracheal explosion. *Laryngoscope* 1981;91(9 Pt 1):1417-26.
- Patient safety authority. Airway fires during surgery. PA PSRS Patient Saf Advis [serial online] 2007 Mar [cited 2022 Aug 5]; 4(1). Available from: URL: http://patientsafety.pa.gov/ADVISORIES/Pages/200703_01b.aspx.
- Werkhaven JA. Microlaryngoscopy-airway management with anaesthetic techniques for CO₂ laser. *Paediatr Anaesth* 2004; 14(1):90-4.
- Strong MS, Jako GJ. Laser surgery in the larynx. Early clinical experience with continuous CO₂ laser. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1972;81(6):791-8.
- Yan Y, Olszewski AE, Hoffman MR, Zhuang P, Ford CN, Dailey SH, et al. Use of lasers in laryngeal surgery. *J Voice* 2010;24(1):102-9.
- Santos P, Ayuso A, Luis M, Martínez G, Sala X. Airway ignition during CO₂ laser laryngeal surgery and high frequency jet ventilation. *Eur J Anaesthesiol* 2000;17(3):204-7.
- Lierz P, Heinatz A, Gustorff B, Felleiter P. Management of intratracheal fire during laser surgery. *Anesth Analg* 2002;95(2):502.
- Andrews AH Jr, Moss HW. Experiences with the carbon dioxide laser in the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1974;83(4):462-70.
- Snow JC, Norton ML, Saluja TS, Estanislao AF. Fire hazard during CO₂ laser microsurgery on the larynx and trachea. *Anesth Analg* 1976;55(1):146-7.
- Chou AK, Tan PH, Yang LC, Sun GC, Hsieh SW. Carbon dioxide laser induced airway fire during larynx surgery: Case report. *Chang Gung Med J* 2001;24(6):393-8.
- De Vane GG. Laser initiated endotracheal tube explosion. *AANA J* 1990;58(3):188-92.
- Sesterhenn AM, Dünne AA, Bräulke D, Lippert BM, Folz BJ, Werner JA. Value of endotracheal tube safety in laryngeal laser surgery. *Lasers Surg Med* 2003;32(5):384-90.
- Soong WJ, Lee YS, Soong YH, Tsao PC, Yang CF, Jeng MJ, et al. Tracheal foreign body after laser supraglottoplasty: A hidden but risky complication of an aluminum foil tape-wrapped endotracheal tube. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2010;74(12):1432-4.
- Sosis MB, Dillon F. Prevention of CO₂ laser-induced endotracheal tube fires with the laser-guard protective coating. *J Clin Anesth* 1992;4(1):25-7.
- Walker P, Temperley A, Thelfo S, Hazelgrove A. Avoidance of laser ignition of endotracheal tubes by wrapping in aluminium foil tape. *Anaesth Intensive Care* 2004;32(1):108-12.