

A Case Report of Incidental Endotracheal Tube Firing in Operating Room during CO₂ Laser-Assisted Laryngomicrosurgery

Eun Jung Lee, Byeong Il Choi, Chan Min Jung, and Hong-Shik Choi

Department of Otorhinolaryngology, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

CO₂ 레이저를 이용한 후두미세수술에서 발생한 기관 내 화재 1예

이은정 · 최병일 · 정찬민 · 최홍식

연세대학교 의과대학 강남세브란스병원 이비인후과학교실

Received July 25, 2014
Revised August 29, 2014
Accepted September 1, 2014

Address for correspondence

Hong-Shik Choi, MD, PhD
Department of Otorhinolaryngology,
Gangnam Severance Hospital,
Yonsei University
College of Medicine,
211 Eonju-ro, Gangnam-gu,
Seoul 135-720, Korea
Tel +82-2-2019-3460
Fax +82-2-3463-4750
E-mail HSCHOI@yuhs.ac

Operating room fires are a rare but preventable danger in modern operating rooms. But sometimes accidental fires in operating room can be life threatening. Surgical fires require an ignition source, oxidizer, and fuel. Recently, laser as an ignition source in the presence of anesthetic gases has been associated with operating room fires in otorhinolaryngologic field. We describe a 30-year-old patient diagnosed with recurrent laryngeal papillomatosis treated by CO₂ laser-assisted laryngomicrosurgery. In this case, we experienced endotracheal tube flaring during CO₂ vaporization and then incidental endotracheal tube firing due to CO₂ laser under high O₂ circumference. Shortly after removal of firing endotracheal tube, the anesthesiologist considered careful re-intubation. To minimize the risk of operating room fires, surgeons must familiarize with the common possibilities where fire is known to occur. Furthermore, the prevention of operating room firing should be strongly considered during all operations using lasers.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2015;58(3):209-13

Key Words Fires · Larynx · Lasers · Operating rooms · Safety.

서 론

수술실에서의 화재는 서로 다른 세 가지 요소인 발화원, 산소, 연료가 모두 충족되는 상황에서만 발생한다. 수술실 내 화재 빈도는 의료사고와 연관되는 이유로 정확하게 보고되지는 않지만, 가연성 마취제를 비가연성 마취제로 사용하면서 화재 발생 빈도가 많이 감소하였다. 그러나 여전히 다른 원인들이 존재하여 수술실에 화재가 발생하고, 이러한 원인에는 알코올을 함유한 피부소독제, 환자에게 산소 공급을 하기 위해 사용되는 마취 튜브, 소독 포, 전기 소작기, 가연성 장내 가스 등이 있고, 최근에는 레이저를 사용하는 수술의 증가로 수술실 화재에 대한 위험성이 증가하게 되었다.^{1,2)} 특히 수술실에서의 화재는 이비인후과 영역에서 빈도가 높은데 그 이유는 화재의 3요소 중 하나인 산소의 농도가 가장

높게 공급되는 위치이기도 하고 두경부 영역에서 수술실 내 레이저 사용 빈도가 증가했기 때문이다.^{3,4)} 저자들은 후두미세수술을 시행함에 있어 병변에 대한 제거를 목적으로 CO₂ 레이저를 사용 중에 삽입된 기관 튜브의 별론이 터졌고 그 후 높은 산소가 유지되던 환경에서 CO₂ 레이저를 사용하여 삽입된 기관 튜브에 우연히 불이 붙어 수술실에서의 화재가 발생하였으나 적절한 응급 처치로 특별한 합병증을 초래하지 않았던 수술실에서의 기관 내 화재 1예에 대하여 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다.

증 례

NSAID 알레르기 외 특이 내과적 과거력이 없는 30세 남자환자가 발음 곤란 및 목소리 변화로 내원하였다. 환자는 생

후 14개월부터 발생한 만성 재발성 후두 유두종에 대해 약 40회 후두미세수술을 시행받은 과거력 있는 환자로 최근에는 재발을 방지하기 위해 수술 중 cidofovir를 8차례 사용했다. 정기 외래 경과관찰 중 성대 좌측의 앞뒤 전장 및 성문하부의 일부에 걸쳐 후두 유두종 재발 소견이 관찰되어 환자는 만성 재발성 후두 유두종 진단 하에 CO₂ 레이저를 이용한 후두미세수술을 시행받았다(Fig. 1). 마취 전 glycopyrrolate 0.2 mg/A, midazolam 3 mg/A 투약하였으며, 마취 등급 American Society Anesthesiologists 1이었고, 마취 전 생체 징후는 정상 수준이었다. 마취유도를 위해 propofol 120 mg/A 및 remifentanyl 1 mg/V를 정주하여 의식 소실을 유발하고 rocuronium 50 mg/V를 정주하여 근 이완을 시킨 후 구강을 통한 기관 내 삽관을 시도하였다. 주치의는 술자의 요청에 의해 삽관 튜브는 레이저용 마취 튜브를 사용하지 않고, 일반 마취용 튜브 6.0(Taperguard endotracheal tube/6.0 mm; Mallinckrodt Taperguard, Covidien, Mansfield, OH, USA)을 사용하였으며 마취의가 특별한 문제없이 삽관 시행 후 기관 내 튜브를 22 cm에 고정하였다. 술자가 일반 마취용 튜브를 사용한 것은 성대 뒷부분과 성문하부 유두종 제거를 위하여 후두경 앞 끝으로 마취 튜브를 성문 앞쪽으로 들어올려 후두 뒷부분의 노출을 용이하게 하기 위함이었다. 비침습적 혈압 측정기, 심전도, 호기말 이산화 탄소 분압 측정기 및 맥박 산

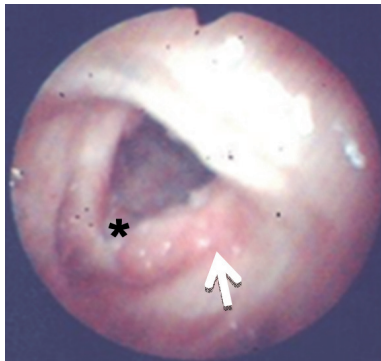
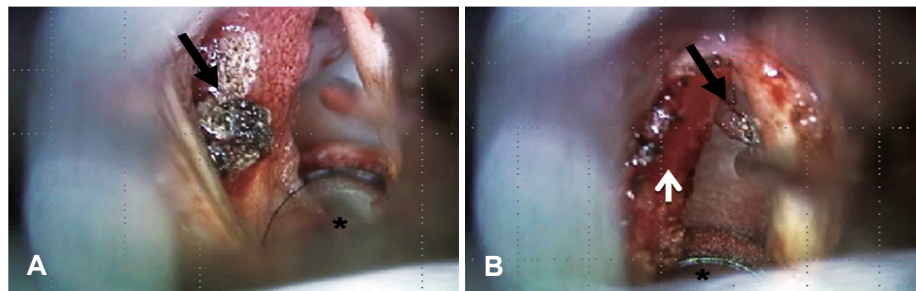


Fig. 1. Preoperative telescopy. Telescopy shows irregular papillomatous lesions including bilateral vocal fold, anterior commissure, and subglottis. Airway is maintained regardless of subglottic lesion. No other abnormality was noted in larynx (arrow: main papillomatous lesion on left vocal fold, *: subglottic lesion).

Fig. 2. Intraoperative field. CO₂ laser induced vaporization of papillomatous lesion of left vocal fold (A, arrow: vaporized papillomatous lesion). After vaporization of left vocal fold, the vocal fold mucosa changed red-stripped status (B, short arrow). Subglottic papillomatous lesion was also removed using laser vaporization (B, long arrow). *: endotracheal tube.



소 측정기(Datex-Ohmeda S/5CAM, Helsinki, Finland)를 통해 환자를 감시하면서 마취유지는 산소 2 L/min, sevoflurane 1.0~2.0 vol%, sodalyme 1.0~2.0 vol%를 사용하였다.

수술장 소견상 좌측 진성대와 후두실의 전장 및 성문하부에 걸쳐 유두종양 종괴가 관찰되었으며 CO₂ laser continuous 10 watt를 이용, 기화시킨 후 종괴를 제거하였다(Fig. 2). 성대 병변을 제거 후, 성문하부에도 유두종양 종괴가 관찰되었으며 동일방법으로 제거하는 도중 술자의 레이저 조종이 빗나가 CO₂ 레이저로 인해 기관튜브 풍선이 터지게 되었다. 수술이 거의 마무리되는 시점이었기 때문에 삽관된 기관튜브를 교체하지 않고 성대 주변으로 거즈를 대고 잔여 유두종양 종괴에 대해 최종 확인을 하는 과정에서 마취의는 터진 기관튜브 풍선 때문에 새어나가는 환기량을 유지하기 위해 O₂ 주입량을 늘렸고 이에 기존의 FiO₂는 0.4에서 1.0으로 증가하였다. 패킹되어 있던 거즈가 건조된 상황에서 진성대 높이에서의 기관 내 삽관된 튜브 역시 건조되었고 CO₂ 레이저의 사용으로 인해 레이저 불꽃이 마취 튜브 근처에서 불꽃을 일으켜 마취 튜브가 타올랐으며 수술의가 화재를 감지한 순간 그 즉시 튜브를 제거하였다(Fig. 3). 제거 후 McIvor retractor를 적용하여 인두와 후두 입구에 심한 점막 화상이 없는 것을 확인한 후 즉시 새 마취 튜브를 재삽관하였다. 후두경과 굴곡형 기관지내시경으로 기관 및 기관지의 상태를 확인하였다. 후두내 삽관의 화재가 발생된 부위에 경미한 점막화상이 발생되어 있었으나, 이 부분은 CO₂ 레이저 수술 부위와 대부분 중복되어 심각한 합병증이 발생한 상황은 아닌 것을 확인할 수 있었다. 구강 및 구인두까지 특이소견 없음을 확인한 후 냉수를 이용한 세척 시행 후 수술을 종료하였다. 수술 직후 회복실에서 굴곡경을 이용하여 환자의 후두상태를 다시 한번 살펴 특이소견이 없음을 확인하였으며 화재사고 후 보호자와 환자분께 수술장에서 발생한 과정을 충분히 설명하여 안심시켜 드렸고 당일 퇴원 예정이었던 환자는 입원 치료를 연장하여 수술 당일을 포함하여 약 2일 동안 정맥 내 스테로이드제인 dexamethasone sodium phosphate를 20~10 mg 사용 및 Pulmicort(Budesonide; AstraZeneca LP, Wilmington, Sweden) 네불라이저를 유지한 후 문제없이 퇴원하였다.

Fig. 3. Incidental firing of endotracheal tube. After incidental firing of endotracheal tube, endotracheal tube removal was done immediately. Firing was occurred at proximal portion of ruptured balloon. Right side of endotracheal tube (A). Left side of endotracheal tube (B). Arrow: range of firing about 4 cm long, *: ruptured balloon.

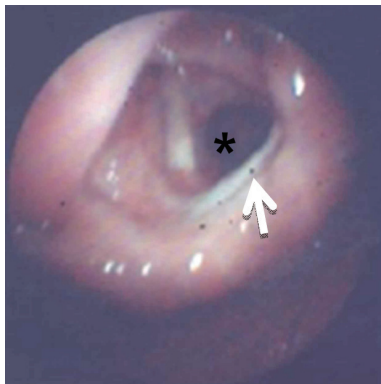
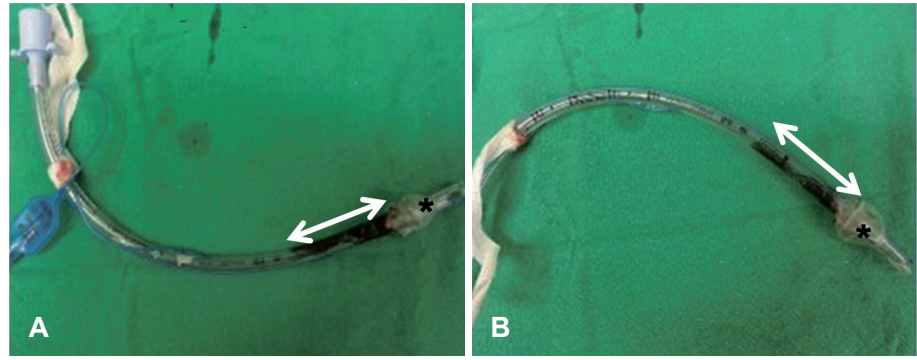


Fig. 4. Postoperative telescopy. Telescopy shows smooth margined bilateral vocal fold without recurrence of papillomatous lesions. Complications of firing such as stenosis, adhesion, and vocal cord palsy were not observed (arrow: left vocal fold, *: subglottis).

술 후 8일 시행한 후두내시경 소견상 후두 내 유두종양 종괴 등 특이소견은 관찰되지 않았고 수술 중 화재로 인한 유착 혹은 반흔 구축 등의 합병증 없이 양측 성대 움직임은 정상으로 관찰되었다(Fig. 4). 수술 후 한 달째에 두 번째 외래 추적관찰을 시행하였으며, 후두덮개의 경도의 종창소견이 관찰되었으나 환자의 주관적 증상이 없어 주기적인 외래관찰 예정이다.

고 찰

미국에서는 매해 약 2700만 건의 수술이 시행되고 있고 의료기관 및 의료인들이 불의의 화재 사고를 예방하기 위해 노력함에도 불구하고 여전히 문헌상 매년 약 50~100건의 수술실에서의 화재가 보고되고 있다. 가장 최근 미국 마취과에서 연구된 바로는 수술방 내 화재와 관련된 사고가 전체 수술 건수의 약 1.3%라는 낮은 보고가 있다.^{5,6)} 우리나라의 경우 수술실 내 화재 발생과 관련하여 마취과에서의 보고가 드물게 있으나 수술실 내 화재가 발생해도 법적인 문제 등과 관련하여 보고되지 않는 경우가 많아 문헌상 보고된 평균 빈도는 정확히 알려지지 않은 실정이다.⁷⁾ 마취과에서 사

용하는 마취제, 지혈 목적으로 사용하는 전기 소작기, 알코올을 포함한 소독제 및 레이저의 사용 등으로 수술실에서의 화재는 드물게 발생할 수 있다. 수술실에서의 화재는 드물지만, 발생할 경우 환자나 수술실 근무자 및 수술 기구 등에 치명적인 손상을 줄 수 있고, 심한 경우 폭발 등 예측하지 못한 재앙을 초래할 수도 있기 때문에 모든 수술을 시행함에 있어 화재에 대한 예방은 가장 중요한 항목 중 하나이다.

화재의 발생은 서로 다른 세 가지 요소인 발화원, 산소, 연료가 모두 충족되는 상황에서만 발생한다. 그 중 주요 화재 발생은 과거에는 마취제와 관련이 많았기 때문에 주로 수술실에서의 화재에 관련된 문헌은 마취과에서 보고된 바가 많았다.¹⁾ 이유는 부주의한 가연성 소독제인 알코올의 사용 및 수술 준비 드랩과 관련된 소수의 화재를 제외하고는 마취제의 사용과 연관된 화재 발생이 많기 때문이다. 하지만 가연성 마취제를 사용하던 시대에는 수많은 화재나 심지어 폭발 사고가 발생하였다는 보고들이 있으나, 최근에는 비가연성 마취제의 출현으로 이러한 화재들이 점차 사라지게 되었다.^{1,7)} 또한, 과거에 산소 공급원으로 산소 대신 사용되었던 산화질소는 단독으로는 불연성이나 450℃ 이상으로 가열되면 질소와 산소로 분해되어 산소를 공급하여 인화화 폭발을 돕게 되므로 수술실 내 화재 발생에 있어 상당히 위험한 요소 중 하나였다. 이에 산화질소는 화재를 가속화할 수 있는 산화제로 안전성에 있어 상당히 취약하여 특히 두정부 수술 영역에서는 더 이상 사용되지 않고 있다.⁸⁾ 이처럼 화재 발생의 세 가지 요소인 발화원, 산소, 연료 중 단 하나라도 그 위험성이 크다면 화재 발생을 예방하기 위해 사용에 주의를 기울여야 한다.

그동안 이비인후과 영역에서의 수술실 내 화재 발생은 주로 편도와 아데노이드 절제술, 기관절개술을 시행할 때 보고되었다.⁹⁾ 편도와 아데노이드 절제술, 기관절개술에서 수술 과정 중 전기 소작기를 많이 사용하게 되므로 전기 소작기에 의해서 기관 내 삽입된 튜브에 직접적으로 열이 전달되면서 화재가 발생한 경우가 종종 보고되었다. 보고에 따르면, 기관

절개술을 시행할 때 화재가 발생한 모든 예에서 화재의 근원이 단극 전기 소작기임이 확인되었다.^{3,9)} 따라서 수술 중 지혈 과정에서 전기 소작기의 사용에 상당한 주의를 기울일 필요가 있다. 물론 기관절개술에서의 화재 발생 위험을 최소화하기 위해서는 FiO₂를 최소한 낮게 유지해야 하지만, 대부분의 기관절개술 환자 대상자는 전신적인 신체 조건으로 인해 낮은 FiO₂를 견디지 못하는 경우가 많다. 즉, FiO₂를 높게 유지하며 기관절개술을 시행할 경우에는 기관창을 연 후에 전기 소작기를 이용한 지혈을 피해야 하지만 어쩔 수 없이 해야 할 경우 적절한 산소 흡입을 통해 화재를 방지해야 한다.

한편, 두정부 영역의 수술은 다른 장기에 비해 기관 내 삽입된 튜브의 위치가 가깝기 때문에 산소의 농도가 높게 유지될 수 있고, 수술 과정 중 기도를 직접 처치하는 경우가 많기 때문에 다른 과보다는 이비인후과에서 수술 중 화재의 위험이 더 높다는 보고도 있다.^{4,5)} 또한, 전기 소작기의 사용에 더불어 레이저의 등장은 화재 발생 위험을 보다 높였다.¹⁰⁾ 현재 후두 영역에서 주로 사용되고 있는 레이저로는 CO₂ 레이저를 비롯하여 pulsed dye lase, Potassium-titanyl-phosphate 레이저 등이 있으며, 임상적으로 후두암, 후두협착, 후두유두종, 백반증, 성대결절, 성대부종, 성대마비, 육아종 등 다양한 후두질환을 치료하기 위해 사용되고 있다. 그 중에서도 CO₂ 레이저는 조직에 조사되는 순간 색조에 상관없이 거의 완전히 흡수되어 열에너지로 변환되며 조직 내 수분이 순간적으로 증발하여 조직결손이 생기게 되는데 이때 발생한 열에너지가 발화의 원인으로 작용할 수 있다. 내시경 후두 및 기도 영역의 레이저 수술에 있어 가장 흔한 수술실 화재 발생 원인의 레이저는 CO₂ 레이저로 보고된 바 있다.¹¹⁾ 본 증례의 경우 후두미세수술에서 CO₂ 레이저를 이용한 후두유두종 제거를 시행하는 과정에서 기관 내 삽관된 튜브 풍선의 터짐과 관련하여 화재가 발생하였다. 즉, CO₂ 레이저가 열을 발생하는 발화원이 되고 마취기가 산소 분압 유지를 위하여 산소 공급을 늘린 상태에서 연료인 터진 튜브에 발화되면서 화재가 발생한 것이다. 레이저 튜브도 풍선 자체나 그 주변의 튜브재질은 인화성이 있을 수 있으므로 수술 과정 중 풍선이 터진 경우 새 튜브로 교체하는 것이 필요했지만 본 증례에서는 수술 마무리 단계라고 생각하여 튜브의 교체 없이 그대로 진행한 것이 발화의 원인 제공이 되었다. 실제적으로 후두수술 중 CO₂ 레이저로 인한 화재 발생이 최근 다양하게 보고되고 있다. 물론 CO₂ 레이저를 이용한 후두수술에서 화재의 위험은 분명하게 있다. 하지만 PVC 기관 내 삽관 튜브 사용으로 인한 화재의 위험은 첫째 물을 적신 솜을 이용하여 기관 내 커프를 덮어 건조하지 않은 상태를 잘 유지하고, 둘째 마취과에서 산소 농도를 40% 미만으로 유지하며, 셋째 CO₂ 레

이저 파워를 8 W 미만으로 유지하며 간헐적으로 레이저를 조사할 경우 적절히 예방할 수 있다고 보고되었다.

후두수술 등 기도 주변에서 화재가 발생할 경우, 화재를 인지한 즉시 삽관된 튜브를 재빨리 제거하는 것이 가장 중요하다. 튜브를 빼낸 다음 모든 마취 가스의 흐름을 멈춘 후 거즈 등을 포함한 기도 주변의 연소 가능한 물질을 모두 제거한 후 찬 물을 이용하여 세척한다. 불이 꺼진 것을 확인한 후에는 즉시 기도를 확보하여 환기를 시행하고 산소가 풍부한 산화제를 피하며 기관지내시경을 이용하여 기도 하방의 기관 내 파편이나 화재에 의한 합병증 여부를 확인한다. 기도가 아닌 부위에 화재가 발생한 경우, 역시 화재를 인지한 즉시 마취 가스의 흐름을 멈춘 후 드랩 등 연소 가능한 물질을 모두 제거한 후 찬 물을 뿌려 불을 끈다. 불이 꺼진 후에는 환기를 확인한 후 환자의 흡입화상 여부를 확인한다. 화재가 지속될 경우에는 CO₂ 소화기를 사용하여 불을 끄며 소화기로도 불이 조절되지 않을 경우에는 화재 경보를 활성화하고 환자를 대피시킨 후 수술실 방문을 닫은 후 모든 가스 공급을 꺼준다.⁴⁾ 화재가 조절된 모든 경우에서 수술이 종료된 후 흉부단순촬영을 통해 열 혹은 흡입으로 인한 폐 손상여부를 확인하고 만약 손상이 확인된다면 장기적인 기관삽관이 고려될 수 있겠다. 또한, 수술 후 스테로이드의 사용은 많은 증례에서 시행되었지만 스테로이드의 용량과 사용기간에 대해서는 정립된 바가 없다.¹²⁾ 기도에서 화재가 발생하여 기관 내 튜브가 삽입된 상태에서 화재가 진행될 경우 기관이나 후두의 직접적인 열 손상으로 인해 유착, 기도 폐쇄 등 다양한 합병증이 발생하기 때문에 화재를 인지 후 즉각적인 연소원의 제거는 화재 관리에서 가장 중요한 부분이라 하겠다. 다행히도 본 증례에서 수술자가 화재를 발견한 즉시, 기관 내 삽입된 튜브를 제거하였기 때문에 후두의 직접적인 손상은 관찰되지 않았다. 소화 후에도 가열된 열로 인한 2차적인 기관 및 후두의 변성을 막기 위해 찬 물을 이용해 세척 후 재삽관을 시행한 후 후두를 상세히 관찰하였다. 따라서 화재로 인한 합병증이 많은 레이저 수술시는 수술자가 레이저 안전 교육을 받은 사람이어야 하고, 레이저가 기관 내 삽관 튜브 이하 수준에서 사용될 때 조직이 그을리거나 레이저 빔이 잘못된 방향으로 가서 그 밑부분이 점화가 될 수도 있기 때문에 주의를 기울여야 한다.

본 증례에서는 다음과 같은 점에 부주의하여 수술실 내 화재가 발생하였다. 첫째, 후두 전장의 노출을 용이하게 하기 위해 레이저용 마취튜브를 사용하지 않았던 점, 둘째, 마취 튜브 풍선이 터진 후 새 마취 튜브로 바로 교체 후 수술을 진행하지 않았던 점, 셋째, 마취 튜브의 풍선이 터진 후 마취 의사가 터진 튜브로부터 새는 산소량을 감안하여 산소주입

량을 올려 산소 농도가 높아진 점, 넷째, 마취 튜브를 보호하고자 넣어 두었던 숨이 건조되어 발화의 발생 위험을 높인 점 등을 사고의 원인으로 생각해볼 수 있다. 물론 CO₂ 레이저를 이용한 후두미세수술에서 수술실 내 화재가 발생하는 사례들이 흔하지는 않지만, 저자들은 CO₂ 레이저를 이용한 후두미세수술을 시행할 때 우연히 수술실 내 화재가 발생한 경우 적절한 수술실 내에서의 대처가 이루어져 후유증 없이 회복한 사례를 경험하여 앞으로 후두미세수술에 있어 레이저를 사용하는 술자로 하여금 화재에 대한 예방 및 안전에 대해 환기하고자 본 증례를 보고하였다.

REFERENCES

- 1) The Korean Society of Anesthesiologists. Anesthesia. 3rd ed. Seoul, Korea: Yeomoonkak Co.;1994. p.417-27.
- 2) Macdonald AG. A brief historical review of non-anaesthetic causes of fires and explosions in the operating room. *Br J Anaesth* 1994;73(6):847-56.
- 3) Smith LP, Roy S. Operating room fires in otolaryngology: risk factors and prevention. *Am J Otolaryngol* 2011;32(2):109-14.
- 4) American Society of Anesthesiologists Task Force on Operating Room Fires, Caplan RA, Barker SJ, Connis RT, Cowles C, de Richemond AL, et al. Practice advisory for the prevention and management of operating room fires. *Anesthesiology* 2008;108(5):786-801; quiz 971-2.
- 5) Yardley IE, Donaldson LJ. Surgical fires, a clear and present danger. *Surgeon* 2010;8(2):87-92.
- 6) Mehta SP, Bhananker SM, Posner KL, Domino KB. Operating room fires: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 2013;118(5):1133-9.
- 7) Chung EY, Han IS, Yoon JR, Kim T, Kim YS, Oh YJ, et al. Fires and burn caused by alcohol-based disinfectants and electrocautery: a case report. *Korean J Anesthesiol* 2007;53(5):676-9.
- 8) Feldman JM, Ehrenwerth J, Dutton RP. Thinking outside the triangle: a new approach to preventing surgical fires. *Anesth Analg* 2014;118(4):704-5.
- 9) Kaddoum RN, Chidiac EJ, Zestos MM, Ahmed Z. Electrocautery-induced fire during adenotonsillectomy: report of two cases. *J Clin Anesth* 2006;18(2):129-31.
- 10) Haith LR Jr, Santavasi W, Shapiro TK, Reigart CL, Patton ML, Guilday RE, et al. Burn center management of operating room fire injuries. *J Burn Care Res* 2012;33(5):649-53.
- 11) 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.
- 12) Lin IH, Hwang CF, Kao YF, Chang KA, Peng JP. Tracheostomal fire during an elective tracheostomy. *Chang Gung Med J* 2005;28(3):186-90.