

후두미세수술에서 탄산가스 레이저를 이용한 레이저 수술의 안전성

단국대학교 의과대학 이비인후과학교실

이정구·정필상·정필섭

= Abstract =

Laser Safety in Laryngeal Microsurgery Using CO₂ Laser

Chung-Ku Rhee, MD, Phil-Sang Chung, MD, Pil-Seob Jeong, MD

*Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery,
College of Medicine, Dankook University, Cheonan, Korea*

The developmental and subsequent addition of laser technology to existing surgical techniques offered new and exciting possibilities for improving traditional endoscopic operations and expanding the scope of the specialty of otolaryngology-head and neck surgery. Lasers were found to be precise, but potentially dangerous, surgical instruments whose use was associated with certain distinct and unprecedented advantages, but also with many unique and potentially serious, and sometimes catastrophic complications.

The purpose of this study was to evaluate the operation technique of CO₂ laser, kinds of anesthesia, equipments of operating room, and education of medical staff.

Four hundreds 4 cases of CO₂ laser laryngeal microsurgery were reviewed for the safety of CO₂ laser in laryngeal microsurgery. Vocal polyp (46.3%) was the most common pathology in our cases. The others were vocal nodule, Reinke's edema, epiglottic cyst, laryngeal granuloma, laryngeal papilloma, intracordal cysts, laryngeal tuberculosis, laryneal web, laryngotracheal stenosis, and laryneal cancer. Following complete equipment controls, treatment area controls, maintenance, service and procedural controls, personel protective equipment, and warning signs, no complications were found in our cases. In conclusion, laryneal microsurgery with CO₂ laser could be done safely without complication if complete preoperative preparation and education of medical staff preceded.

Key Words: CO₂ laser, Safety, Education

교신저자 : 이정구(Chung-Ku Rhee, MD)

충남 천안시 안서동 29 단국대학교병원 이비인후과

E-mail : rheeck@anseo.dankook.ac.kr Tel : 0417) 550-3900 Fax : 0417) 556-1090

I. 서론

탄산가스 레이저를 이용한 수술은 우수한 정밀도와 지혈작용, 수술후 통증과 부종의 경감 등의 장점으로 인하여 그 적용 범위가 점점 확대되어져 가고 있다. 그러나 상기도의 레이저 수술시 높은 에너지 밀도(high energy density)를 가진 레이저 광선과 발화 가능성이 높은 고농도 산소가 통과하는 기관내 튜브(고무나 플라스틱, 실리콘 제품)의 근접한 위치로 인하여 심각한 이환율과 사망률의 발생 위험이 따르게 된다¹⁾. 이 경우 기관내 튜브의 발화와 폭발이 가장 흔한 합병증의 원인이 되어 왔다.³⁾ 레이저 사고는 대부분의 경우 잘못된 방향으로 쏘아진 레이저 광선 때문에 발생한다. 직접 혹은 반사된 광선은 피부, 머리카락, 혹은 각막과 망막에 화상을 주어 영구적인 피해를 줄 수도 있다. 또한 흔히 레이저-조직 상호반응으로 생기는 연기는 자극성 냄새가 있고 미립자 물질들은 눈, 코, 폐를 자극하고, 구토를 유발하며, 유두종 바이러스(human papilloma virus) 같은 전염성 물질을 전파시키기도 한다. 이와 같은 위험은 환자, 레이저의 사용자, 레이저 취급자에만 국한된 것이 아니고 레이저 치료실 앞을 지나가던 사람이나 또는 대기실에 있던 사람이 치료실 안으로 뜻하지 않게 들어 오므로서 직접 혹은 반사된 광선에 노출 될 수도 있다.

그러나 레이저 사용과 관련된 위험성은 크지만, 대부분은 제대로 된 훈련, 맞는 보호장비와 항상

안전한 작동을 함으로서 이런 위험성을 예방할 수 있다.

이에 저자들은 탄산가스 레이저를 이용하여 후두 미세수술을 시행한 환자 404명을 대상으로 올바른 레이저 사용의 방법과 마취종류, 수술장내의 준비, 전공의 및 간호사 교육, 교육 전, 후의 마취후 수술 시작까지의 준비 시간, 그리고 합병증 유무 등에 대해 보고하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1994년 6월부터 1998년 10월까지 단국대학교병원 이비인후과에서 탄산가스 레이저를 이용하여 후두 미세수술을 시행한 404명의 환자를 고찰해 보았다.

1) 수술방법

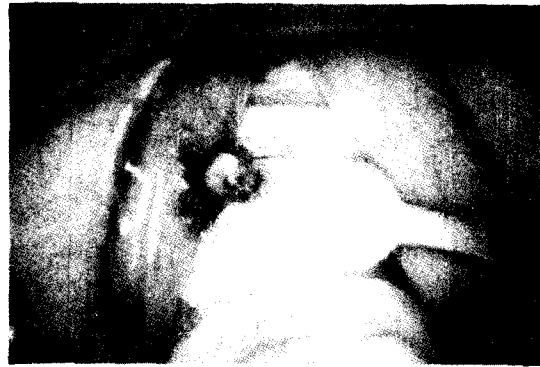


Fig. 2. Use of metal platform in laryngeal microsurgery



Fig. 1. Preoperative preparation for laryngeal microsurgery using CO₂ laser



Fig. 3. Smoke from ignited endotracheal tube

제트환기(jet ventilation; VS150s, BIRD products corporation)를 이용하여 마취를 시행한 50명의 환자를 제외한 모든 환자에서 레이저 저항 기관내 튜브로 Xomed Laser Shield II(Xomed Treace, Jacksonville, U.S.A.)를 사용하여 전신마취를 시행하고 식염수를 적신 거즈나 보안경으로 환자의 눈을 덮은 후 치아보호구로 환자의 치아와 잇몸을 보호하였다. 기관내 튜브는 수술자의 시야를 좁게 하므로 보통보다 작은 기관내 튜브를 사용한다. 보통 내경 5-6 mm의 튜브는 기도의 조절도 적당히 되며 수술자도 관의 주위로 수술하기에는 적당하다. 자보현수후두경을 주입한 후, 물에 적신 거즈로 윗이와 입술 전체를 보호한 후, 물에 적신 수건으로 환자의 머리부분을 감싸 잘못 쏘아진 레이저 광선으로 인한 위험성을 최소화하였고 수술중 수건이 마르지 않도록 한다(Fig. 1). 또한 자보현수후두경으로 성대를 노출한 후 성대하부에 물에 적신 카튼노이드(cottonoid)를 주입하여 성문하 기관내벽과 튜브의 낭대(balloon)를 보호하게 하였다.

제트 환기를 이용하여 마취를 할 경우는 마취과 의사와 수술전에 제트 환기 사용에 대한 준비를 한 후 환자가 충분히 유도가 된 상태에서 자보현수후두경을 주입한 후 환기 카테터(catheter)를 성대하부에 고정하여 환기를 시작한다. 제트 환기는 정상 호흡수로 줄 수도 있고 분당 60-120번까지도 줄 수 있다. 이때는 강제로 주입된 공기가 지속적으로 폐내에 주입되는 것을 방지하기 위하여 성대하부에 물에 적신 카튼노이드(cottonoid)는 주입하지 않는다. 수술도중 마취과 의사가 환자의 동맥내 산소 포화도를 지속적으로 감시하고, 간헐적으로 동맥혈 가스 분석을 시행하며, 또한 청진을 함으로써 제트환기로 인한 합병증을 방지할 수 있게 하였다.

비디오 모니터와 레이저(SharpLaser-1041, Laser Indust., Israel)를 부착시킨 400 mm 현미경 시야하에서 미세조절기(micromanipulator; Acuspot 711, Sharplan)를 이용하여 후두미세수술을 시행하였다. 미세조절기는 부착기(adaptor)를 사용하여 현미경에 연결하며 이것은 현미경과 같은 초점거리를 갖는 집광렌즈와 레이저광의 방향을 미세하게 조정하기 위한 반사판이 내장되어 있으며 Joy stick

으로 이 반사판을 움직여서 원하는 부위에 조사를 한다. 수술중 발생한 연기는 연기 배출기(smoke evacuator)와 흡입기로 흡입하여 시야를 확보하였다. 탄산가스레이저의 조작은 대부분 2 Watt-3 Watt, 박동성 모드 또는 연속성 모드로 하였으며, 조직을 절단시에는 레이저의 초점을 맞추어서(focused) 조사하였고, 조직을 응고시킬 때는 레이저의 초점을 멀리하여(defocused) 조사하였다.

2) 수술실내의 준비

레이저 사용중에는 수술실 입구에 레이저 사용중이라는 표시를 하게 하여 주위의 모든 사람들을 주의시켜야 한다. 수술실 입구에 여유분의 보안경을 비치하여 레이저를 사용중에 수술실 안로 들어오는 사람들이 보안경을 착용할 수 있도록 하였다. 수술실내에 있는 모든 의료진(수술자, 마취과 의사, 간호사, 전공의)들은 보안경을 착용하도록 하여 잘못 쏘아진 레이저 광선에 의한 눈의 손상을 방지하도록 하였다.

뜻하지 않은 레이저 광선의 반사의 위험을 없애기 위하여 탄산가스 레이저를 이용한 후두 미세수술시 사용되는 미세수술기구는 반사가 되지 않도록 특수처리된 비광택성 기구와 레이저가 성문하의 조직에 손상을 주지 않게 하기 위하여 성문하를 보호할 수 있는 받침이 있는 기구를 준비하였다(Fig. 2).

3) 간호사 교육

일년에 2회 이상의 정기적인 간호사 교육을 통하여 레이저의 전반적인 원리, 사용방법, 탄산가스 레이저를 이용한 후두미세수술시 이용되는 미세수술도구 등의 준비, 그리고 수술장에서의 레이저 사용에 따른 안전 등에 대하여 철저히 숙지하도록 교육을 시행하였다. 또한 수술중 수술자가 레이저 사용할 때 레이저 작동, 중지 등을 수술자의 구령에 따라 복창을 하도록 하여 레이저 작동 유무를 수술자 및 주변의 의료진들이 알 수 있도록 하였다.

III. 결 과

탄산가스 레이저를 이용하여 후두미세수술을 시

행한 예는 404례였으며, 남자 및 여자의 성별비는 남자가 230명, 여자가 174명이었다. 환자의 나이 분포는 2개월-93세로 다양하였으며, 평균 42.5세였다. 후두질환의 종류로는 성대 폴립이 187례(46.3%)로 제일 많았으며, 그외 성대 결절이 48례(11.9%), 라인케씨 부종이 18례(4.5%), 후두개 낭종이 23례(5.7%), 후두 육아종이 22례(5.5%), 후두 유두종이 38례(9.4%), 성대내 낭종이 11례(2.7%), 후두암이 41례(10.1%), 후두 결핵이 2례(0.5%), 후두격막이 7례(1.7%), 후두기관지 협착이 7례(1.7%)였다(Table 1).

마취종류는 기관삽관술로 전신마취를 한 경우가 354례(87.6%), 제트환기를 한 경우가 50례(12.4%)였다.

마취시작후 수술 시작까지의 준비시간은 기관삽관술을 시행한 경우 초기에는 30분에서 충분한 교육을 시행한 후에는 5분으로 감소하였고, 제트환기를 시행한 경우는 40분에서 10분으로 감소하였다.

합병증으로는 후두미세수술을 시행한 모든 예에서 눈의 손상, 기흉, 종격동 기종, 피부손상, 튜브발화 등의 합병증이 발생하지 않았다.

IV. 고 찰

레이저 수술은 높은 정밀도와 지혈작용, 강력한

Table 1. Lesions treated by CO₂ laser laryngeal microsurgery

Lesions	No. of patients (%)
Benign lesions vocal polyp	187(46.3)
vocal nodule	49(11.9)
Reinke's edema	18 (4.5)
Epiglottic cyst	23 (5.7)
Laryngeal granuloma	22 (5.5)
Intracordal cyst	11 (2.7)
Laryngeal tuberculosis	2 (0.5)
Laryngeal web	7 (1.7)
Laryngeal papilloma	22 (5.5)
Laryngotracheal stenosis	7 (1.7)
Laryngeal cancer	41(10.1)
Total	404(100)

힘을 가지면서 수술후 동통과 부종도 적은 우수한 수술방법으로 근래 이비인후과 영역의 상기도 수술시 그 이용도가 점점 증가되고 있다. 그러나 레이저 사용시 레이저의 원리 및 사용법을 제대로 알지 못하는 경우 심각한 합병증을 유발할 수 있다. 특히 이비인후-두경부 수술에서 레이저 광선이 기관내 튜브로 침투하여 마취가스를 폭발시킬 수 있으므로 레이저 사용에 상당한 주의가 필요하다. 눈은 레이저 광선에 대단히 예민하므로, 후두미세수술에서 레이저의 사용은 눈의 보호가 가장 중요하다. 탄산가스 레이저와 같은 적외선 레이저는 대부분 각막, 수정체, 유리체(vitreous)에 의해서 흡수되어 망막에는 손상을 주지 않지만 각막에 손상을 주고, Nd:YAG, argon, KTP/532 레이저와 같이 눈에 보이는 레이저는 각막과 수정체에 의해서 망막에 초점이 맞추어지고 망막이 손상을 주어 시야에 맹점(blind spot)을 주거나, 망막와(fovea)에 손상을 주고 시신경에 손상을 주게되면 훨씬 더 심각한 시력장애를 준다⁴⁾.

눈의 손상에 대한 위험을 줄이려면 레이저를 사용할 때마다, 그 레이저에 맞는 보호안경이나 고글(goggle)을 사용하여야 한다. 이것은 내시경을 사용할 때도 마찬가지이다. 환자의 눈도 생리적 식염수로 젖은 거즈나 금속눈 덮개 또는 적절한 보호안경으로 보호하여야 한다.

본 연구에서도 모든 예에서 식염수를 적신 거즈나 보호안경을 환자의 눈에 부착하여서 레이저 사용으로 인한 눈의 손상이 일어나지 않았다. 레이저를 현미경이나 내시경에 부착시켜 사용할 때에는 적합한 필터(filter)를 사용하여야 한다. 그러나 탄산가스 레이저로 수술현미경하에서 수술을 할 경우는 현미경 자체만으로 보호가 되므로 보호안경을 착용할 필요가 없다⁴⁾.

피부도 레이저에 노출되면 손상될 수가 있으며 노출된 면적이 넓으므로 눈보다도 자주 손상을 받는다. 그러나 손상을 받더라도 눈보다는 덜 심각한 피해를 받게 된다. 레이저의 파장, 노출시간, 광선의 밀도와 피부의 색깔에 따라 국소적인 발적으로부터 까맣게 탄소화 하기까지 피해의 변화가 다양하다. 조직손상의 일차적 원인은 고온의 효과에 의한 것이다. 고온은 단백질을 변화시키고 조직을

괴사시키며, 세포성분을 끓이고 조직이 증발되며, 건조된 조직이 타게 되어 탄소화(char formation) 하게 된다. 그러므로 표적이 아닌 정상 환자 조직들은 물을 축인 스폰지로 항상 덮어 보호하여야 한다. 마른 스폰지는 발화하기 쉬우니 수술중 스폰지는 정기적으로 증류수나 생리적 식염수로 다시 축여야 한다.

레이저로 발생하는 연기는 독한 냄새가 나고 0.1 micrometer 정도까지 작은 입자들로 구성되어 있어, 세기관지(bronchioli), 폐포(alveoli)에 까지 이르러 asbestos나 담배로 인한 변화와 비슷한 피해를 입힌다⁵⁶⁾. 연기에의 노출은 눈, 코와 목구멍에 자극을 주며, 오심과 만성기침도 일으킬수도 있다⁷⁾. 또한 연기는 폐기능 장애와 발암가능성에 대한 보고가 있어⁸⁹⁾ 직접 다량의 연기를 흡입하는 일은 피하는 것이 좋다. Ossoff⁴⁾는 수술중 흡입기는 두 개의 분리된 것을 설치하여 하나는 수술시야의 연기나 증기를 배출하도록 하고, 다른 하나는 수술창상부의 혈액이나 점액을 흡입하도록 하였다. 본 증례에서도 연기배출기와 수술벽에 설치된 흡입기를 이용하여 좋은 수술시야를 확보할 수 있었다.

후두미세수술을 위한 마취방법으로 본 연구에서는 50례를 제외한 대부분에서 기관삽관술을 사용하였다. 그러나 기관내 튜브의 사용은 레이저에 의한 기관내 화재의 위험을 증가시킨다. 기관내 튜브의 발화(Fig. 3)와 폭발의 합병증의 빈도는 0.5-1.5% 정도로 추정되고 있다^{10,11)}. Healy¹²⁾등은 상기도 탄산가스 레이저를 이용한 수술환자 4,416례중 6번의 발화가 있었고, 김 등¹³⁾은 탄산가스 레이저를 이용한 후두미세수술 518례중 29례(5.64%)에서 합병증이 있었다고 보고하였다. 김¹⁴⁾등은 여러종류의 튜브를 이용하여 튜브의 안정성 실험을 한 결과 레이저 수술시 절대적으로 안전한 튜브는 없으나, 그중에서 Xomed Laser Shield IITM와 알루미늄 호일을 감싼 Rusch red rubber 튜브가 상대적으로 안전하다고 보고하였다. Xomed Laser Shield IITM 튜브는 알루미늄 테이프가 감겨진 silicone-based 튜브로 커프에 methylene blue가 들어 있고, 생리식염수로 채우게 되어 있다. 이 튜브는 35,000 W/cm²의 탄산가스 레이저, 11,000 W/cm²의 KTP 레이저에서 3분간 견딜수 있는 반면 가연성의 실

리콘을 포함하고 한 개의 커프를 되어 있다는 단점이 있다¹⁵⁾.

레이저가 튜브벽을 완전히 통과하면 마취가스가 새어 나오게 되어 발화가 시작될 수 있고, 마취가스의 압력에 의하여 불꽃이 생기게 된다. 그러므로 마취가스의 산소 배당율이 중요하고 그 비율이 40% 이하이어야 한다¹⁶⁾.

기관삽관술로 수술시야를 확보하기 힘든 경우 제트환기로 후두경을 통하여 마취를 해야 하며, 이때 후두경의 위치가 정확히 놓이지 않으면 산소가 기관지로 들어 가지 않고 식도와 위장을 팽창시킬 수 있다. 이로 인하여 기흉, 종격동의 기종, 기타 기압외상(barotrauma)이 발생할 수 있으므로 이 방법은 일차적인 마취방법으로는 자주 쓰이지 않는다¹⁷⁾.

레이저 사용중에 화재 예방에 필요한 모든 조치를 취하였더라도 이론적으로 기도내의 화재가 발생할 수 있다. 화재가 일단 발생하면 재빠른 조치가 이환율과 사망율을 줄일 수 있다. 일단 발화가 일어나면, 마취과 의사는 즉각 환자의 환기를 중단하고, 산소를 포함한 모든 마취가스를 끄고 일단 생리식염수로 불을 끄면서 기관내 튜브를 즉시 제거하여야 하고, 환자에게 마스크 환기를 하여야 하며, 환자의 기도를 잘 살펴 보아야 한다. 기관내 시경으로 후두와 기관내의 피해를 평가한 후, 탄소화된 파편(debri)을 제거하여야 한다. 술후 항생제 투여와 스테로이드요법을 시행한다¹⁸⁾.

미숙한 의료진에 의해 레이저 수술이 행해질 경우 환자에게 심각한 손상을 가져올 수 있다. 그러므로 처음 레이저 수술을 시행하려고 하는 수술자는 직접 레이저를 조작해 볼 수 있는 강습회등을 통하여 적어도 16시간-20시간 정도의 교육이 필요하며, 사체등을 이용한 사전 실습이 필요하며, 레이저의 모드도 연속모드보다는 시간 간격이 긴 박동성 모드로 시작하는 것이 더 안전하다⁴⁾. 마취과 의사의 경우 기도와 밀접한 관계가 있으며, 강력한 마취 가스가 레이저와 근접하여 있으므로 레이저를 이용한 후두미세수술시 마취과와 협조가 잘 이루어져야 한다. 레이저 사용에 따른 위험을 사전에 방지하기 위하여 정기적인 교육이 필요하며, 교육대상은 수술자, 마취과 의사, 수술실 간호

사, 마취간호사 등이다⁴⁾. 본 연구에서도 정기적인 교육을 통해 마취후 수술시작까지의 시간 지연을 줄일 수 있었고 1례의 합병증이 없이 안전하게 수술을 시행할 수 있었다.

V. 결 론

저자들은 탄산가스 레이저를 이용한 후두미세수술 404례에서 수술전 마취과 의사와의 충분한 상의와 철저한 간호사 교육 및 적절한 수술도구의 사용으로 합병증없이 안전하게 수술을 시행할 수 있었고, 마취후 수술시작까지의 시간을 단축할 수 있었다. 따라서 탄산가스 레이저를 이용한 후두미세수술은 충분한 사전준비와 교육이 선행된다면 합병증 없이 안전하게 시행될 수 있을 것으로 사료된다.

References + 9point TM

1. Cozine K, Rosenbaum LM, Askanazi J, Rosenbaum SH: *Laser induced endotracheal tube fire. Anesthesiology. 1981; 55: 583-585.*
2. Cozine K, Stone JG, Shulman S, Flaster ER: *Ventilatory complications of carbon dioxide laser laryngeal surgery. J Clin Anesth. 1991; 3: 20-25.*
3. Sosis MB, Heller SA: *Comparison of special endotracheal tubes for use with the CO₂ laser. Anesthesiology. 1988; 69: A251.*
4. Ossoff RH: *Implementing the ANSI Z 136.3 laser safety standard in the medical environment. Otolaryngol Head Neck Surg. 1986; 94: 525-528.*
5. Goossens AA, Enderby CE *Fundamentals of medical lasers. Gastrointest Endosc 1984; 30: 74-6.*
6. Mihashi S, Ueda S, Hirano M, et al: *Some problems about condensates induced by CO₂ laser irradiation. In atsumi K, Nimsakul N, eds. Laser-Tokyo 81. The 4th Congress of the International Society for Laser Surgery. Tokyo: The Japan Society of Laser Surgery, 1981: 2-26.*
7. Ball KA: *Controlling smoke evacuation and odor during laser surgery. Today's OR Nurse 1986; 8: 4-10.*
8. Freitag L, Champman GA, Siekczak M et al: *Laser smoke effect on the bronchial system. Lasers Surg Med. 1987; 7: 283-288.*
9. Tomita Y, Mihashi S, Nagata K: *Mutagenecity of smoke condensates induced by CO₂ laser irradiation and electrocauterization. Mutat Res. 1981; 89: 145-149.*
10. Snow JC, Norton ML, Saluja TS, Estanislao AF: *Fire hazard during CO₂ laser microsurgery on the larynx and trachea. Anesth Analg 1976; 55: 146-147.*
11. Hermens JM, Bennett MJ, Hirschman CA: *Anesthesia for laser surgery. Anesth Analg. 1983; 62: 218.*
12. Healy GB, Strong MS, Shapshay S: *Complications of CO₂ laser surgery of the aerodigestive tract, experience of 4416 cases. Otolaryngol Head Neck Surg. 1984; 92: 13.*
13. Kim KM, Kim GR, Hong WP et al: *The CO₂ Laser in laryngeal microsurgery. Korean J Otolaryngol. 1992; 35: 541-566.*
14. Kim DH, Chung PS, Kim JS: *The effects of blood and normal saline on laser-resistant endotracheal tube combustion. Korean J Anesthesiol. 1995; 29: 798-805.*
15. Miller RD: *Anesthesia. 4th ed. New York: Churchill Livingstone. 1994; 2207.*
16. Spiess BD, Ivankovich AD: *Anesthetic management of laser airway surgery. Seminars in Surgical Oncology 1990; 6: 189-193.*
17. Norton ML, Strang MS, Snow JC et al: *Endotracheal intubation and Venturi (Jet) ventilator for laser microsurgery of the larynx. Ann Otol Rhinol Laryngol 1976;85: 656-663.*
18. Ossoff RH, Davis O, Urabec JT: *Laser surgery. Complications in otolaryngology, head and neck. Johns BC Decker. 1986; 93-303.*