□ 연구보고 □

기도에서 Nd-YAG레이저 조사의 효과 및 안전성에 관한 실험적 연구

서울대학교 의과대학 내과학교실, 결핵연구소

한 성 구 · 정 희 순 · 심 영 수
김 건 열 · 한 용 철

인하대학교 의과대학 병리학교실

황 태 숙

= Abstract =

An Experimental Study on Safety and Efficacy of Nd-YAG Laser Irradiation in Tracheobronchial Tree

Sung Koo Han, M.D., Hee Soon Chung, M.D., Young Soo Shim, M.D.
Keun Youl Kim, M.D. and Yong Chol Han, M.D.

*Department of Internal Medicine, Tuberculosis Research Institute, College of Medicine
Seoul National University, Seoul, Korea*

Tae Sook Hwang, M.D.

Department of Pathology, College of Medicine, Inha University

Nd-YAG Laser photoresection is an effective treatment modality in malignant airway obstruction but is not without complications. The major reported complications were perforation of airway, massive bleeding, asphyxia and cardiovascular complications. Most perforations and bleedings were due to an excess in the irradiated dosage.

There have been some suggestions for safe dosage according to clinical experience but none are based on experimental data.

The large airway is composed of two different section of histology, i.e., the anterior cartilagenous section and the posterior membranous section; the thickness of wall becomes thinner in the main bronchus than in the trachea. It is expected that the safe dosage may be different in the various sections of the tracheobronchial tree.

We performed an in vitro study using 50 porcine airway and an in vivo study in 5 dogs to determine the safe dosage in various sections of the airways in Nd-YAG laser photoresection.

In the porcine airway, the safe dosage was 40~60 J in trachea and 30~40 J in main bronchus. There was no difference in anterior and posterior section due to anatomic characteristics of the porcine tracheobronchial tree.

*본 연구는 1987년도 대한결핵학회 학술연구비의 지원으로 이루어 졌음.

The tissue injury was more severe with higher energy and shorter irradiation time than with lower energy and longer time with same irradiation dosage. Tissue injury was also more extensive at non-irradiated adventitial site than at irradiated mucosal site.

In the in vivo study using canine trachea, tissue damage was definitely more severe in the posterior section of trachea than in the anterior section. Cartilage was a barrier for blocking further tissue damage.

The safe dosage was 60~80 J for the anterior section, 40~60 J in posterior section in trachea and 30~40 J in main bronchus respectively. After laser irradiation, there was no delayed type tissue injury and healing process supervened.

서 론

악성 질환에 의한 기도 폐색은 흔히 천식으로 오인되어 진단이 어려울 경우가 많을 뿐 아니라¹⁾ 호흡부전 및 폐쇄성 폐염이 주요 사망원인이 되고 있으나 신속한 기도 개방에 뚜렷이 효과적인 치료법이 없어 많은 어려움이 있었다. 따라서 기관지경을 이용한 기도폐색의 물리적 개방은 해결해야 할 과제로 여겨져 왔다²⁾.

이러한 환자들은 이미 수술, 방사선요법, 화학요법 등의 치료를 경험한 경우가 많고 심한 호흡부전 상태에서 겨우 적응하고 있는 상태이므로 시술중의 저산소증, 출혈로 인한 질식등의 문제가 해결되지 않으면 치료의 위험성이 매우 크다. 따라서 호흡기영역에서 내시경을 이용한 치료는 타 장기에 비해 늦어서 1980년대 이후에야 레이저 요법^{3,4)} 전기소작요법(Electrocautery)⁵⁾, 한냉요법(Cryosurgery)⁶⁾, brachytherapy등^{7,8)}이 소개되었다.

이 중 레이저요법은 비교적 안전하면서도 치료효과가 즉각적이고 뚜렷하여 악성종양에 의한 기도폐색의 치료에는 혁명적인 방법으로 관심을 모으고 있으며^{9,10)} 방사선요법등 다른 치료방법과 병행할 수 있다는 장점이 있다¹¹⁾. 현재 의료용으로는 CO₂, Argon, Krypton, Ruby, Dye레이저등도 이용되고 있으나¹²⁾ 특히 Neodymium-yttrium-aluminum-garnet(이하 Nd-YAG로 약함) 레이저는 100 watt까지 고에너지 출력이 가능하고 파장이 1064 nm로 굴곡성 석영 mono filament로 전도가 가능하며 헤모글로빈에 의해 흡수되지 않아 출혈성 병변에도 사용이 가능하다는 장점이 있어^{4,13)} 굴곡성 기관지경을 통한 기도폐색의 치료(Photoresection)에는 유일하게 쓰이고 있다.

한편 Nd-YAG 레이저는 심부조직에까지 조직변성을

일으키므로 심부조직에 영향이 없는 CO₂레이저에 비해 안전성이 떨어지며¹³⁾ 실제로 시술중 출혈, 천공, 흉곽내 대혈관 손상에 의한 대출혈 및 질식, 부정맥 및 심근경색, 심장tampon, 기흉등의 여러 치명적인 합병증들이 보고되었다^{14~17)}.

이에 따라 과조사에 의한 합병증을 막기 위해 안전조사를 결정하려는 연구들이 소화기, 비뇨기 영역에서는 진행되어 장기에 따른 안전조수량이 결정되어 있다^{18,19)}. 이들 장기는 조직학적 구조가 비교적 균일한 장기들로서 레이저조사시 피조사조직의 두께나 구성성분이 달라지면 조직손상의 정도가 달라짐은 쉽게 추측할 수 있다.

한편 기도는 조직학적 구조상 그 전면은 연골구조로 되어있고 후면은 막성조직으로 되어 있으며 점차 분지함에 따라 두께가 얇아지므로 기도의 전·후면, 기관과 주기관지등 조사부위에 따라 조직손상의 정도 및 안전조수량은 크게 차이가 있을 것으로 추측할 수 있으나 아직껏 기도에서 Nd-YAG 레이저 조사에 따른 조직손상의 정도의 검증이나 안전조수량의 산출에 관한 실험적 연구는 찾아 볼 수 없고 보고자에 따라 경험에 입각한 추정 안전조수량을 각기 다르게 보고하고 있을 뿐이다^{20~22)}.

이에 저자들은 기도에서 Nd-YAG 레이저 조사에 따른 부위별 조직손상의 정도를 규명하고 이에 따라 부위별 안전조수량을 산출하여 장차 우리나라에서도 보편화될 기도폐색에서 Nd-YAG 레이저 치료의 안전성을 제고하는 기초연구로서 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

레이저 조사에 따른 조직손상의 정도는 조사량(Joule, watt×sec) 이외에도 피사체와 레이저 tip간의 거리, 조사각도에 따라 큰 차이가 있다²³⁾. 생체내에서 기관지경을 통한 조사시에는 거리, 조사각의 엄격한 표준화가 불

가능하므로 본 실험은 생체내 실험과 생체의 실험으로 나누어서 시행하였다. 생체의 실험에서는 거리, 조사각의 표준화를 통하여 기도의 각 부위에서 조사량에 따른 조직손상과 안전조사량을 계산하였고 생체내 실험에서는 이외에 레이저 조사후 조직손상의 치유과정도 추적하였다.

1. 생체의 실험

대상은 체중 90~120 kg의 돼지 50마리의 기도를 사용하였으며 실험동물을 희생시킨 즉시 기도를 적출하고 이를 냉장상태로 유지한 채로 12~24시간내에 실험에 사용하였다.

방법은 기도를 종적으로 절개한 후 코르크판에 고정하고 레이저 tip과 기도면과의 거리를 5 mm로 유지하였고 조사각은 직각이 되게 하였으며 기관지경은 사용치 않았다. 기관의 전·후면, 주기관지의 전·후면 및 기관분지부(Carina)로 나누어 조사하였고 조사에너지는 10 W부터 100 W까지 10 W간격으로 늘려 나갔고 조사시간은 0.1초부터 0.1초 간격으로 늘렸으며 각 조사출력(Watt)당 조사량(J)이 10~100 Joule이 되도록 조정하였다. 기관에서 154, 주기관에서 113등 총 267종류의 조사출력×시간의 조합을 조사하였으며 각 조합당 5회씩 총 1335조사점을 검정하였다.

2. 생체내 실험

체중 12~14 kg의 한국산 잡견 5마리를 대상으로 하였다. pentothal로 마취후 기관삽관을 하였고 기관지내시경을 통하여 Nd-YAG 레이저를 조사하였다.

조사방법은 역시 기관의 전·후면으로 나누어서 조사하였고 레이저 tip과 기관내면과의 거리는 5 mm, 조사각은 30°내외가 되도록 노력하였다.

조사에너지는 10 W부터 10 W씩 증량하여 100 W까지로 하였다. 조사시간은 1초로 고정시켜 조사량은 10 J부터 100 J이 되도록 하였고 총 100조사점을 검정하였다.

실험동물은 2마리는 종료즉시 희생시켰으며 2마리는 24시간에, 나머지 1마리는 48시간후 희생시켜 조직손상 정도를 검정하였다.

3. 사용기기

레이저는 서독 MBB-AT의 Medilas 2 YAG 레이저를 사용하였다. 이 기기는 10 W부터 100 W까지 조절이

가능하였고 조사시간은 0.1초부터 9.9초까지 가능하였으며 레이저 방출 에너지의 80~90%를 quartz tip에서 전달할 수 있다. 비가시광선이므로 적색의 He-Ne 레이저(2mw)를 유도광선으로 사용하였다. 기관지경은 Fujinon사의 FB-SBF를 사용하였다.

4. 분석 방법

조직손상의 정도는 육안적 분석과 병리조직학적 검정을 병행하였다. 육안적 검정은 일본 동경의대의 분류를 따라서²⁴⁾ Grade I 부터 분명한 천공인 Grade V까지로 나누었고(Table 1) 병리조직학적 검정은 Hematoxylin과 Eosin으로 염색한 후 100배 확대 시야에서 현미경 눈금당 10.3 μm의 scale로 손상의 깊이를 측정하였다.

5. 안전조사량의 결정

안전조사량은 육안적으로는 조사점에 깊은 궤양을 일으키는 Grade IV, 병리적으로는 장막(adventitia)를 유지하는 조사량으로 삼았다.

6. 통계 처리

기관의 전·후면의 조직손상의 차이는 2-tailed paired test를 이용하였으며 SPSS PC*를 이용하여 조사량과 에너지출력에 따른 조직손상의 정도간에 회귀방정식을 구하였다.

결 과

1. 생체의 실험

1) 기관에서 조사량과 조직손상과의 관계(병리소견)
돼지 기관벽의 평균 두께는 3 mm였으며 점막 및 점막하층이 0.6 mm, 연골이 2.1 mm, 장막이 0.3 mm이었다. 기관전면의 연골부위에서 에너지출력을 20 W로 하였

Table 1. Classification of Laser Effects

Grade	Effects
I	White discoloration due to tissue solidification
II	Blackish changes due to carbonization
III	Shallow ulcer formation (about 1 mm)
IV	Deep ulcer formation
V	Perforation

by Tokyo Med. College Hospital

을때와 70 W로 하였을때의 조직손상의 정도를 Fig. 1, 2에 예시하였다. 70 W시에는 조사시간이 길어짐에 따라

조직손상도 비례하여 깊어지며 56 J(0.8초)에서 천공되는 데 비해 20 W 때에는 40 J까지의 조직손상이 미미하다

Fig. 1. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in anterior portion of porcine trachea, in case of laser power = 20 watt.

Fig. 2. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in anterior portion of porcine trachea, in case of laser power - 70 watt.

Fig. 3. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the mean depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in anterior portion of porcine trachea.

Fig. 4. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the mean depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in posterior portion of porcine trachea.

가 이후 급속히 심해져서 70 J에서 천공되었다.

기관지의 전면부와 후면부에서 조사량 및 에너지 출력에

Table 2. Effects of YAG-Laser According to Irradiated Tissues (J : Joule)

Grade	Trachea	Main-bronchus
I	10 - 20 J	10 - 20 J
II	—	—
III	20 - 40 J	20 - 30 J
IV	40 - 60 J	30 - 40 J
V	Over 60 J	Over 40 J

다른 조직손상의 정도를 Fig. 3, 4에 도시하였다. 기관지의 전면에서는 에너지출력 100 W때 50 J에서 천공됨에 비해 10 W 때에는 80 J에서 천공이 일어나고 출력을 높임에 따라 천공이 일어난 조사량(Joule)이 점차 감소하여 (Fig. 3) 조사출력이 크고 조사시간이 짧은 경우가 출력이 작고 조사시간이 긴 경우보다 조직손상이 심했으며 후면부와 전면부간에는 차이가 없었다(Fig. 4, Table 3).

2) 주기관지에서 조사량과 조직손상의 관계

(병리소견)

주기관지의 평균 두께는 2 mm이었으며 전면에서는 조사출력을 10 W로 하였을때 60 J에서 천공되었고 90 W에

Table 3. Statistics about the Depth of Tissue Injury, by Comparison of Anterior Portion and Posterior Portion in Porcine Trachea and Main Bronchus (By 2-Tailed Paired Test)

Trachea					
Mean of difference	No. of cases	SD of differences	t value	P value	
0.0109	67	0.076	1.17	0.245*	
Main bronchus					
Mean of difference	No. of cases	SD of differences	t value	P value	
0.0109	46	0.077	0.96	0.342*	

* ; No significance

Fig. 5. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the mean depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in anterior portion of porcine main-bronchus.

Fig. 6. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis ; joule) and the mean depth of tissue injury (Y-axis ; mm) in posterior portion of porcine main-bronchus.

Table 4. Multiple Regression Equations, Showing Relationship between the Depth (D) of Tissue Injury and the Factors Affecting Tissue Injury in Porcine Trachea and Main Bronchus

Site	Equation
Anterior portion of trachea	$D = 0.0531 \uparrow \text{Joule} + 0.0156 \uparrow \text{watt} - 1.1336^*$
Posterior portion of trachea	$D = 0.0538 \uparrow \text{Joule} + 0.0156 \uparrow \text{watt} - 1.1699^*$
Anterior portion of main bronchus	$D = 0.0469 \uparrow \text{Joule} + 0.0135 \uparrow \text{watt} - 0.8637^*$
Posterior portion of main bronchus	$D = 0.0489 \uparrow \text{Joule} + 0.0108 \uparrow \text{watt} - 0.7627^*$

(* ; $r > 0.85$, $\uparrow$ & * ; $p < 0.0001$)

서는 36 J에서 천공되었다. 후면과 전면의 차이는 없었다. 기관에서와 같이 동일한 조사량에서는 출력이 크고 조사시간이 짧은 경우에 조직손상이 심했다(Fig. 5, 6).

3) 육안 소견

조직손상의 육안적 분류와 조사량과의 관계를 Table 2에 표시하였다. 기도에서는 Grade II는 관찰되지 않았으며 Grade I에서 바로 Grade III로 이행되었다. 육안 소견역시 동일조사량에서 조사출력이 크고 조사시간이 짧을 때 손상이 심했으며 조사면의 육안소견에 비해서 조사배면에는 광범위한 조직손상이 관찰되었다(Fig. 7).

육안 소견상 안전조사량은 기관에서는 40~60 J, 주기

관지에서는 30~40 J로 생각되었다(Table 2).

이상의 결과로 돼지기도에서는 전·후면에서 조직손상의 차이는 없었으며(Table 3) 조사량, 조사출력에 따른 조직손상의 회귀방정식은 Table 4에 표시한 바와 같다.

2. 생체내 실험

1) 조사량과 조직손상

개씩 기관의 두께는 전면부가 약 2 mm, 후면부는 약 1.8 mm였으며 Fig. 8과 같이 조사량 50 J까지는 점막과 점막하층에서 조사량의 증가에 따라 손상도 심해지나 그 이상에서는 손상이 연골막까지로 제한되어 연골이 더 이

Fig. 7. Variation of tissue damage in same irradiation dose (60 joule) according to different energy output.

a) Mucosal surface of anterior portion of porcine trachea. Two stripes of 5 irradiated spots are seen. From left to right, 20w x 3 sec, 40w x 1.5 sec, 60w x 1 sec, 80w x 0.8 sec and 100w x 0.6 sec respectively. Tissue damage showed white discoloration (20w) to deep ulcer formation (80w) suggesting more damage with high energy and short duration.

b) Adventitial surface of same portion showing more extensive tissue damage than mucosa.

Fig. 8. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis; joule in case of time - fixed to 1.0 sec) and the depth of tissue injury (Y-axis; mm) in anterior portion of canine trachea. (○—○; 0 hr, △—△; 24hr, and □—□; 48 hr after laser irradiation)

상의 조직손상을 막고 있음을 알 수 있고 연골이 없는 후면부에서는 조직손상이 진행되어 90 J 이상에서는 천공됨을 알 수 있다(Fig. 9). 10 J, 20 J의 경우는 손상이 미미하여 실험동물 희생후 조사점을 찾을 수 없어 검정에서 제외시켰다.

안전조사량은 기관후면에서는 70 J 이하이며 전면에서는 100 J까지도 안전할 것으로 생각되었다.

2) 시간경과에 따른 변화

지연형의 조직손상이 있는 가를 알기위하여 조사 즉시와 24시간, 48시간후의 조직손상의 깊이를 비교하였는데(Fig. 10), 시간경과에 따라 치유과정이 시작되어 손상된 조직의 깊이는 감소하였으며 더이상의 조직손상은 관찰되지 않았다.

3) 조직 소견

조직표본에서 조사각을 측정 한 결과는 $35.2 \pm 7.0^\circ$ 였다(Fig. 11).

레이저 조사직후의 기관점막은 육안분류 Grade I의 소견으로 백색의 응고괴사소견을 보였으나(Fig. 12), 24시간 및 48시간 경과후에는 출혈성의 gelatinous material로 덮여 있었다(Fig. 13).

현미경 소견은 30 J(30 W×1초) 조사시 점막상피의 소실과 점막하조직의 염증세포 침윤 및 응고괴사의 소견을 보였고(Fig. 14) 60 J이상 100 J까지 조사시 기관 전면부

Fig. 9. Relationship between the dose of laser irradiation (X-axis; joule in case of time = fixed to 1.0 sec) and the depth of tissue injury (Y-axis; mm) in posterior portion of canine trachea.
(O—O; 0 hr. Δ — Δ ; 24 hr and O—O; 48 hr after laser irradiation)

Fig. 10. Relationship between the representative dose of laser irradiation (O—O; 40 joule, *—*; 60 joule, and O—O; 80 joule) and the change of tissue injury in the course of healing process in canine trachea (X-axis; time hour after laser irradiation, Y-axis; depth of tissue injury in mm).

Fig. 11. Change of anterior portion of trachea 24 hour after 60 J burn with Nd-YAG laser. (Magnification, $\times 40$) showing vaporization of mucosa and submucosa but no penetration of the cartilage. Inflammatory exudate is filled in vaporized area. Black lines demonstrates angle of irradiation.

Fig. 12. Gross finding of canine trachea immediately after laser irradiation showing whitish solidification with swelling of irradiated spots.

는 조직손상이 연골막에서 정지하고 연골이하부에는 손상이 없었던데 반하여 (Fig. 11) 기관 후면부는 장막층까지 괴사가 일어나 전면부와는 뚜렷한 차이가 있었다. 또한 괴사조직내에서도 혈관은 손상되지 않아 혈관은 비교적 레이저로 인한 손상에 저항력이 있었다.

24시간 후에는 점막상피세포의 재생이 관찰되었고

(Fig. 15a) 48시간 후에는 wave form의 섬유소의 활발한 증식이 관찰되었다 (Fig. 15b).

고 안

호흡기 영역에서 Nd-YAG 레이저의 응용은 비교적 최

Fig. 13. Gross finding of canine trachea 48 hour after laser irradiation. Patch mucosal hemorrhage and gelatinous membrane of necrotic tissue covering the irradiated spots are seen.

Fig. 14. Immediate change of canine trachea after 30 J burn with Nd-YAG laser (x100) showing loss of epithelium, coagulation necrosis of mucosa and submucosa and inflammatory cell collection.

근에야 이루어 졌으며 Toty와 Dumon등이 처음 고품기 관지경을 이용해 악성종양에 의한 기도폐색의 치료성적을 보고하였다^{3,4)}. 이후 Mayo clinic¹⁶⁾, 일본등지에 서^{24,25)} 연이어 치료성적이 발표되는 등 활발히 응용되고 있으나 국내에서는 최근에야 첫 치험례가 발표되는 등²⁶⁾ 이제 도입단계에 있다.

기왕의 보고에 의하면 암성 기도폐색에서 폐색부위의 길이가 4 cm 이내이고 말초부위의 변형이 없으면 치료 효과가 매우 우수하여 대부분에서 호흡곤란과 무기폐의 소실을 경험하였고 극히 일부에서는 근치도 가능하였으나¹⁶⁾ 현재까지는 환자의 삶의 질을 향상시킬 뿐 생존기간을 연장시키지는 못한다고 알려져 있다²⁷⁾.

Fig. 15. Delayed tissue reaction after laser irradiation on canine trachea.
 a) After 24 hour, showing re-epithelization ($\times 100$)
 b) After 48 hour, active proliferation of wave formed young callagen.

Nd-YAG 레이저 치료의 여러 합병증 중 특히 기관지 및 폐동맥의 천공에 의한 대출혈 및 사망은 그간 수례 보고되어 경각심을 일깨우고 있으며 이에따라 안전성 제고를 위해 새로운 기법등이 발표되었으나²⁸⁾ 안전조사량의 확립이 보다 시급한 과제라 하겠다. 경험에 입각한 안전조사량이 보고자에 따라 큰 차이가 있고 어느 것도 실험자료에 근거를 둔것은 없음을 전술하였고 레이저 치료 도입초기에 비해서 최근에는 안전조사량을 점차 낮게 설정하는 추세이다^{29,30,31)}.

즉 Dumon등은 초기에 90 W까지 고출력으로 조사하

다가 최근에는 안전을 위해서는 45 W 이하로 낮출것을 권하고 있으며^{20,32)} Mayo clinic에서는 같은 조사량에서는 고출력으로 조사시간을 짧게 하는 것이 저출력으로 조사시간이 긴 것보다 조직손상이 적으므로 90 W까지 쓴다고 보고하고 있다¹⁶⁾. 한편 일본에서의 보고를 보면 경도의대에서는 조사시간을 0.3~0.5초로 짧게하면 50~90 W의 에너지로 안전하게 좋은 효과를 얻을 수 있다고 하여 Dumon등의 견해에 반대하였고²⁵⁾ 동경의대에서도 개에서 조사량의 차이에 따른 조직손상의 정도를 실험하였으나 여기에는 조사시간과 출력이 명확치 않고 오직 조

사의 총량만 기록되어 있다²⁴⁾. 본 연구에서는 조사출력이 크고 조사시간이 짧은 경우에 손상이 커서 Mayo clinic의 보고와는 반대의 결과를 얻었다.

본 연구에서 생체내 실험과 생체의 실험의 결과가 상치되는 점은 특별한 고려가 필요한 점이라 하겠다. 먼저 기관 전·후면에서 조직손상의 차이에 관해서는 돼지의 경우 후면이 막성조직으로 되어있기는 하나 전면의 연골 윤이 후면에서 겹쳐 있으므로 전면부와 차이가 없었다고 생각되며 이는 현미경 검사에서도 후면부에서 겹쳐진 연골이 관찰되므로 생체내 실험의 결과가 신빙성이 있을 것으로 생각된다.

생체내 실험에서는 연골이 레이저조사에 의한 조직손상의 barrier로 작용함을 명확히 알 수 있었는데 그 이유는 연골의 경도와 반투명성을 생각할 수 있겠다. 즉 레이저는 일종의 빛에너지이므로 피사체의 색채에 따라 조직손상이 달라질 것을 추측할 수 있고 연골의 백색 또는 반투명성이 빛의 반사효과를 일으켰을 가능성을 생각할 수 있다. 피사체의 색채에 따른 조직손상의 차이에 관한 추시는 본 교실에서 현재 진행중이다.

안전조사량도 두 실험에서 차이를 보였는데 이는 실험 조직의 두께, 조사각, 혈류의 유무, 실험당시 조직의 건조도등이 요인이 될 수 있다고 생각된다. 이중 조직의 두께는 개의 기관두께가 돼지의 기관보다 오히려 얇았으므로 생체내 실험에서 안전조사량이 큰 결과와는 상치되어 제외할 수 있겠고 혈류의 냉각효과와 조사각의 차이가 가장 큰 원인이었다고 생각된다. 실제로 환자치료시에는 기관벽에 평행으로 조사하는 것이 원칙이며 기도의 천공은 이를 지키지 않았거나 환자의 기침등으로 기관벽에 조사하였을때 또는 과용량으로 압조직을 뚫고 레이저빔이 기관벽에 도달하였을때 등이므로¹⁷⁾ 이때의 조사각은 생체내 실험의 30° 내외보다는 생체의 실험의 90°에 더 가까울 것으로 생각된다. 또한 본 실험은 정상기도를 대상으로 하였으나 실제 임상에서는 기도폐색 주변조직에도 암의 침윤이 있거나 염증이 있을 가능성이 높으므로 안전조사량에 관해서는 생체의 실험에서 추출된 값이 보다 의미가 있으리라 생각된다.

본 실험에서 도출된 기도에서의 안전조사량은 위에서의 300 J이나¹⁸⁾ 방광에서의 안전조사량¹⁹⁾에 비해서는 매우 낮은 값이었는데 이는 피사체인 기도벽의 두께가 얇기 때문으로 생각된다. 본 안전조사량은 Photoresection 시에 적용할 수 있는 값이며 지혈이나³⁴⁾ 이물제거를 목

적으로 Nd-YAG 레이저를 사용할 때는 안전조사량이 달라질 것으로 생각된다.

생체의 실험에서 조사면은 Grade I 또는 II 정도의 손상만 관찰된 경우에도 조사뒷면의 장막은 광범위한 손상을 보인 것은 레이저 조사시, 특히 조사시간이 긴 경우에 조사뒷면에 급속한 온도상승이 수반된다는 것을 시사하는 소견이라 하겠다. 본 연구에서 직접 온도를 측정하지는 못하였으나 레이저 치료에서 높은 빈도로 보고되는 심혈관계 합병증이 저산소증³⁵⁾ 이외에 이러한 흉강내 온도 상승—특히 심장 인접부위에서—과 관련이 있을 가능성도 배제할 수 없겠으며 이에 관해서는 추시가 필요하리라 생각된다.

생체의 실험에서 현미경 소견상 염증세포의 침윤이 관찰된 것은 실험동물에서 기도적출후 12~24시간 냉장보관한 후에도 조직의 vitality가 유지된 증거로서 실험결과와 신뢰도를 높여주는 소견이라 하겠다.

생체내 실험중 저자들은 레이저 tip의 소실³⁶⁾, 기관내 발화³⁷⁾, tip과 점막과의 직접접촉에 의한 조직손상등의 합병증을 경험하였는데 레이저 조사시 기도점막은 응고가 일어나면서 급격히 종창되므로 조사시에 점막과 안전하다고 생각되는 거리를 유지하더라도 직접 접촉케 되는 경우가 있었으며 치료시 특히 유의해야 할 사항으로 생각되었다.

본 연구를 진행하는 동안 비슷한 실험결과가 보고되었다³⁸⁾. 이에 의하면 50 J까지는(50 W×1초) 연골의 손상이 없었고 100 J이상(50 W×2초) 200 J에서야 연골의 손상이 관찰되어 저자들의 결과와 비슷하였으나 전·후면의 차이를 비교하지는 않았다.

Laser에 의한 조직손상은 치유가 다른 원인에 의한 손상에서보다 느리며³⁹⁾ 그 원인은 확실치 않으나 고에너지 조사시 삼출성피막의 형성이 없었다는 사실과의 관련을 추정하기도 한다³⁸⁾.

레이저 치료는 기도개방에 효과적인 치료방법이나 고가의 장비를 필요로 하므로 보다 저렴한 장비로 동일한 효과를 얻을 수 있는 방법이 최근 시도되고 있는데 전기소작술이 대표적인 방법이다⁵⁾. 효과가 뛰어나 장차 널리 이용될 전망이나 치료시간이 긴 것이 단점이다.

결 론

기도에서 부위에 따른 Nd-YAG 레이저조사의 안전조

사량을 구하기 위하여 돼지 기관을 이용한 생체의 실험과 잡견을 이용한 생체내 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 생체의 실험

1) 돼지기관에서 안전조사량은 40~60 J로 전·후면의 차이는 없었다.

2) 주기관지는 기관처럼 전·후면의 차이가 뚜렷치 않았는데 안전조사량은 30~40 J 이었다.

3) 안전조사량을 초과한 용량에서의 조직손상은 반대편 장막부위에서 보다 광범하고 심했다.

4) 동일한 조사량에서는 조사에너지가 클수록 조직손상이 심했다.

2. 생체내 실험

1) 생체의 실험에 비해 조직손상은 현저히 적었고 연골은 레이저에 의한 조직손상에 barrier로 작용하였다.

2) 기관의 전면은 후면에 비해 조직손상이 적었고 100 J 에서도 연골의 직접손상은 관찰되지 않았다.

3) 레이저 조사후 24시간에 상피의 재생, 48시간에 섬유소의 증식이 관찰되었으며 지연형의 조직손상은 없었다.

4) 기관의 전면에서의 안전조사량은 60~80 J, 후면에서의 안전조사량은 40~60 J로 생각되었다.

이상의 결과로 Nd-YAG 레이저는 안전조사량 이상의 용량으로 조사시에는 육안소견이상의 조직손상이 반대편에 일어나고 기관의 전·후면은 그 조직학적 구조에 따라 안전조사량에 차이가 있으며 연골은 조직손상의 barrier로 작용하고 조사후 지연형의 조직손상은 없었다. 정상기관에서의 안전조사량은 전면연골부위는 60~80 J, 후면장막부위는 40~60 J, 주기관지에서는 30~40 J로 생각되었다.

REFERENCES

- 1) 한성구, 심영수, 김건열, 한용철 : 기관지천식으로 오인되었던 대기도 폐색례의 고찰. 미발표
- 2) 한성구, 심영수 : 기관지경의 치료적이용. 대한의학협회지 29:929, 1986
- 3) Toty L, Personne C, Colchen A, Vourch G: Bronchoscopic Management of Tracheal Lesions using the Nd-Yag laser. Thorax 63:175, 1981
- 4) Dumon JF, Reboud E, Garbe L, Aucomte F, Meric B: Treatment of Tracheobronchial Lesions by Laser Photoresection Chest 81:278, 1982
- 5) Hooper RG, Jackson FN: Endobronchial Electrocautery Chest 87:712, 1985
- 6) Vergnon JM, Boucheron S, Bonamour D, Emonot A: Cryotherapy or Nd-YAG Laser in the Treatment of Tracheobronchial Tumors? Chest 91:473, 1987
- 7) Seagren SL, Harrell JH, Horn RA: High Dose Rate Intraluminal Irradiation in Recurrent Endobronchial Carcinoma. Chest 88:810, 1985
- 8) Allen MD, Baldwin JC, Fish VJ, Goffinet DR, Cannon WB, Mark JBD: Combined Laser therapy and Endobronchial Radiotherapy for Unresectable Lung Carcinoma with Bronchial Obstruction. Am J Surg 150:71, 1985
- 9) Personne C, Colchen A, Leroy M, Vourch G, Torty: Indications and Technique for Endoscopic Laser Resection in Bronchology. J Thorac Cardiovasc Surg 91:710, 1986
- 10) Brutinel WM, Cortese DA, McDougall JC: Bronchoscopic Phototherapy with the Neodymium-YAG Laser. Chest 86:158, 1984
- 11) Eichenhorn MS, Kvale PA, Miks VM, Seydel HG, Horowitz B, Radke JR: Initial Combination Therapy with YAG Laser Photoresection and Irradiation for Inoperable Non-Small Cell Carcinoma of the Lung. Chest 89:782, 1986
- 12) 한성구 : 기관지내시경을 통한 Laser의 이용. 함춘내과 17:9, 1986
- 13) Shapshay SM: Laser Application in the Trachea and Bronchi; A Comparative Study of the Soft Tissue Effects using Contact and Noncontact Delivery System. Langngoscope 97(Supple):1, 1987
- 14) Kvale PA, Eichenhorn MS, Radke JR, Miks V: YAG Laser Photoresection of Lesions Obstructing the Central Airway. Chest 87:283, 1985
- 15) Arabian A, Spagnolo SV: Laser Therapy in Patients with Primary Lung Cancer. Chest 86:519, 1984
- 16) McDougall JC, Cortese DA: Neodymium-YAG Laser Therapy of Malignant Airway Obstruction. Mayo Clin Proc 58:35, 1983
- 17) Emery RE: Laser Perforation of a Main Stem Bronchus. Anesthesiology 64:120, 1986
- 18) Rutgeerts P, Vantrappen G, Geboesk, Broeckaert L: Safety and Efficacy of Neodymium-YAG Laser Photocoagulation: An Experimental Study in Dogs. Gut 22:38, 1981

- 19) 권성원 : Neodymium-YAG레이저 조사량 변화에 따른 가토방광 조직손상에 관한 실험적연구. 대한비뇨기과학회지 **27**:39, 1986
- 20) Dumon JF, Shapshay S, Bourcereau J, Cavaliere S, Méric B, Garbi N, Beamis J: Principles for Safety in Application of Neodymium-YAG Laser in Bronchology. *Chest* **86**:163, 1984
- 21) Parr GVS, Unger M, Trout RG, Atkinson WG: One Hundred Neodymium-YAG Laser Ablation of Obstructing Tracheal Neoplasm. *Ann Thorac Surg* **38**:374, 1984
- 22) Brutinel UM, Cortese DA, McDougall JC, Gillio RG, Bergstralh EJ: A Two Year Experience with the Neodymium-YAG Laser in Endobronchial Obstruction. *Chest* **91**:159, 1987
- 23) Joffe SN, MacLeod IA, Rao SS: Influence of Nd-YAG Laser Power Density and Coaxial CO₂ on the Gasric Wall. *Lasers Surg Med* **4**:247, 1984
- 24) Amemiya R, Oho K, Ohotani T, Ogawa I, Hayakawa K, Taira O, Hayata Y: Laser Photoirradiation via the Fiberoptic Bronchoscope: Effect on the Bronchial Wall. In Nakhosteen J, A and Maassen W(eds); *Bronchology; Research, Diagnosis and Theapeutic Aspect*. Martinus Nijhoff Hague **p**:540, 1981
- 25) Tamada J, Ito M, Teramatsu T: Clinical Study of Bronchofiberscopic Nd-YAG Laser Surgery. (Abstract) In: Atsumi K, Nimsakul N, eds, *Proceedings of 4th Congress of International Society for Laser Surgery*, Tokyo, 1981, Tokai University, Kanagawa: International Society for Laser Surgery, 13-5, 1981
- 26) 한준열, 박성학, 박석영, 김석영, 임계순, 박남중 : 폐암에의한 기관지폐쇄의 laser phototherapy 1예. 대한내과학회잡지 **33**:563, 1987
- 27) Balchum OJ, Doiron DR: Photoradiation Therapy of Endobronchial Lung Cancer: Large Obstructing Tumors, Nonobstructing Tumors and Early Stage Bronchial Cancer Lesions. *Clin, Chest Med*. **6**:255, 1985
- 28) Joyner LR, Maran AG, Sarama R, Yakaboski A: Neodymium—YAG Laser Treatment of Intrabronchial Lesions. A New Mapping Technique via the Flexible Fiberoptic Bronchoscope. *Chest* **87**:418, 1985
- 29) Hetzel MR, Milland FJC, Ayesh R, Bridges CE, Nanson EM, Swain CP, Williams IP: Laser Treatment for Carcinoma of the Bronchus. *Br Med J* **286**:12, 1983
- 30) Gelb AF, Epstein JD: Laser Treatment of Lung Cancer. *Chest* **86**:662, 1984
- 31) Wolfe WG, Sabiston DC: Management of Benign and Malignant Lesions of the Trachea and Bronchi with the Nd-YAG Laser. *J Thorac Cardiovasc Surg* **91**:40, 1985
- 32) Shapshay SM, Beamis JF: Safety Precautions for Bronchoscopic Nd-YAG Laser Surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* **94**:175, 1986
- 33) Lennon RL, Hosking MP, Warner MA, Cortese DA, McDougall JC Brutinel WM, Leonard PF: Monitoring and Analysis of Oxygenation and Ventilation During Rigid Bronchoscopic Neodymium—YAG Laser Resection of Airway Tumors. *Mayo Clin Proc* **62**:584, 1987
- 34) LoCicero J, Hartz RS, Frederiksen JW, Michaelis LL: New Application of the Laser in Pulmonary Surgery: Hemostasis and Sealing of Air Leaks. *Ann Thorac Surg* **40**:546, 1985
- 35) Miks VM, Kvale PA, Riddle JM, Lewis JW: Broncholith Removal using the YAG Laser. *Chest* **89**:903, 1986
- 36) Blair GP: Loss of Fiberoptic Laser Ferrule. *Chest* **90**:295, 1986
- 37) Casey KR, Fairfax WR, Smith SJ and Dixon JA: Intratracheal Fire Ignited by the Nd-YAG Laser during Treatment of Tracheal Stenosis. *Chest* **84**:295, 1983
- 38) Goodman RL, Hulbert WC and King EG: Canine Tracheal Injury by Neodymium—YAG Laser Irradiation. *Chest* **91**:745, 1987
- 39) Hishimoto K, Rockwell RJ, Epstein RA, Fidler JP: Laser Wound Healing Compared with Other Surgical Modalities. *Burns* **1**:13, 1975