기도에서 피사체의 색채에 따른 Neodymium-Yttrium Aluminum Garnet 레이저 조사효과의 차이*

서울대학교 의과대학 내과학교실, 결핵연구소

정희순 · 권오정 · 이춘택 · 한성구

심영수 · 김건열 · 한용철

Differences in the Effects of Neodymium-Yttrium Aluminum Garnet Laser According to the Colors of Irradiated Materials in Tracheobronchial Tree

Hee Soon Chung, M.D., O Jung Kwon, M.D., Choon Taek Lee, M.D., Sung Koo Han, M.D

Young-Soo Shim, M.D., Keun Youl Kim, M.D. and Young Chol Han, M.D.

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

Although Nd-YAG laser surgery is a very effective treatment-modality to reopen malignant airway obstruction, fatal complications such as perforations of airway and intrathoracic great vessels were reported and these complications were due to excess of irradiation dosage and/or many factors affecting laser effects.

Considering Nd-YAG laser is a light energy with its own wavelength (1064 nm), it might be expected that laser-induced tissue damage and safe dosage may be different according to the color of the target tissue. And there is variety of color in malignant tissue of tracheobronchial tree, ie, reddish hemorrhage, blackish anthracosis, whitish necrosis or natural-colored tumor.

An experiment was performed to determine the chromatic effects of Nd-YAG laser using colored papers, porcine tracheas and esophagi. Eight kinds of colored papers-ivory, red, orange, yellow, green, blue, violet and black-were irradiated with 1~50 J of Nd-YAG laser with 90° of radiation angle in 5 mm distance between laser tip and papers, and porcine tracheas and esophagi were also irradiated with 5~495 J of Nd-YAG laser by the same manner as used in papers after were stained with congo red, methylene blue and black ink.

The effects of Nd-YAG laser were analyzed according to the colors of irradiated materials.

In colored papers, the damage was most marked in black followed by blue, violet, green, yellow, orange, red, and ivory in the same dosage of laser irradiation ($p < 0.01$). And in porcine tracheas and esophagi, the tissue damage was also most marked on blackish stained tissue followed by blue, red and natural color ($p < 0.01$).

It is concluded that the tissue damage by Nd-YAG laser irradiation is dependent on the color of target tissue and the degree of damage is relatively reciprocal to wavelength of color itself. And the safe dosage of Nd-YAG laser in tracheobronchial tree should be changed according to the color of irradiated tissue.

*본 논문의 요지는 1988년도 제67차 대한결핵학회 추계학술대회에서 발표 되었음.

*본 논문은 1988년도 서울대학병원 특진연구비의 보조로 이루어 졌음.

서 론

폐암환자의 생존기간을 결정하는 가장 중요한 요소는 병기(stage)이므로¹⁾ 조기진단으로 이들의 생존기간을 연장시키고 폐암의 치유가능한 합병증으로 인한 사망을 줄일 수 있다면 폐암환자의 사망율도 감소될 수 있으며, 비록 사망율을 낮추지는 못하더라도 합병증에 의한 증상 및 징후를 경감시켜주는 것만으로도 개개인의 폐암환자에게는 '삶의 질(quality of life)'이 향상되므로 큰 도움이 된다²⁾. 이런 면에서 임상적으로 가장 큰 문제가 되고 있는 폐암의 주요 합병증이 기도폐쇄이며^{3,4)}, 이에 대한 고식적 치료로서 방사선요법이 주로 이용되어 왔다. 그리고 1980년대에 들어와 굴곡성 기관지경을 통한 전기소작요법(electrocautery), 한냉요법(cryotherapy), 레이저요법 등이 새로 개발되었는데⁵⁾, 레이저의 응용은 기관지학분야에 새로운 차원을 추가한 것으로서 가장 각광을 받고 있는 것이 Nd-Yttrium Aluminum Garnet ("이하 Nd-YAG라 함") 레이저요법이다.

그러나 레이저요법은 치명적인 합병증도 일으킬 수 있으므로 이에 대한 각별한 주의가 요망되고 있는데, 특히 기도 및 대혈관의 천공이 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 따라서 이러한 합병증을 예방하여 치료의 안전성을

높이기 위해서는, 레이저를 조직에 조사하였을 때 어떤 효과가 나타나며 또 피사체의 특성에 따라서는 어떤 차이를 보이는지가 명확하게 밝혀져야 한다.

폐조직은 탄분증이나 출혈 등으로 인하여 변색된 경우가 많고 이러한 변색때문에 레이저 조사시 그 조사효과가 달라질 수도 있다는 주장이 있으므로, 저자들은 피사체의 색채가 레이저 조사시 어떤 역할을 하는가를 규명하여 이를 실제 임상치료에 응용하고자 돼지의 기도를 주대상으로 하고 여러 색채의 색상지와 염색된 돼지의 식도를 대조군으로 하는 생체외(in vitro) 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

레이저 조사시 피사체로 사용된 물질은, 색상지와 염색된 돼지의 식도 및 기도조직이었다.

1) 색상지

한국색채미술사의 08~105 제품을 대상으로, 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑(코발트청색), 보라, 흑색 및 상아색을 선택하였다.

2) 돼지의 식도 및 기도조직

실험에 사용된 동물은 체중이 90~120 kg되는 5마리

Fig. 1. Porcine esophagi and tracheas as experimental materials, which were stained with submucosal injection of congo red, methylene blue, and black ink.

의 식용돼지로써, 축산업협동조합—서울지부에서 희생된 직후에 식도와 기도를 기증받아 이를 냉장생태로 유지하였고, 12~24시간 이내에 실험에 사용하였다(Fig. 1).

2. 방법

1) 사용기기 및 염색방법

레이저는 서독 MBB-AT사의 Medilas 2 YAG-레이저를 사용하였고, 식도 및 기도조직은 congo red, methylene blue, 그리고 black ink를 점막하로 주사하여 염색하였다(Fig. 1).

2) 레이저 조사방법

레이저 조사효과에 영향을 미친다고 되어 있는 조사각도 및 레이저침단부와 피사체간의 거리를 표준화하기 위해서 Fig. 2와 같은 고정판을 제작하여 사용하였고, 조사각도는 90°, 레이저 침단부와 피사체간의 거리는 5mm로 일정하게 하였는데, 기관지경은 사용하지 않았다.

가) 색상지에 대한 레이저의 조사방법

색상지를 고정판에 부착한 후, 조사출력을 10 watt (“이하 w라 함”)로 고정하고 조사시간을 조절하여 조사량이 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 30, 40, 50 [joule] (“이하 J이라 함”)이 되도록 하였으며, 5회 반복하여 조사하였다.

나) 염색된 조직에 대한 레이저의 조사방법

식도 및 기도를 중(縱)으로 절개하여 판에 고정하여, 조

사출력은 50 w로 일정하게 하고 조사시간을 조절하여 조사량이 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100(J)이 되도록 하였는데, 기도는 100 J에서 실험을 종료하였고, 식도에 100 J 이상의 용량을 조사할 때에는 조사시간을 0.5초 간격으로 연장시켜서 조사량이 25 J씩 증가하도록 하여 475 J까지 조사하였으며 끝으로 레이저 기기의 최장조사시간인 9.9초간 즉 조사량으로는 495 J을 조사하였다. 그리고 이러한 과정을 5회 반복하여 실험하였다.

3) 분석 방법

색상지의 손상의 정도는 조사부위에 생긴 탄화부의 외경을 10배로 확대하여 직접 측정하여 비교하였고, 조직에서의 손상정도는 일본 동경외대 Hayakawa등의 육안적 분류(Table 1)에 따라 결정하였는데 각 등급(Grade)의 손상을 야기하는 레이저 조사량의 결정은 5회의 실험중 최빈치(Mode)로 하였다. 그리고 염색된 조직을 피사체로 하는 경우에는 Fig. 3과 같이 주변 자연조직에도 동일한 용량의 레이저를 조사하여 조직의 손상정도를 육안적으로 직접 비교하였다.

4) 통계학적 검정

색상지는 동일한 레이저 조사용량에서의 색체에 따른 실측 손상치를 ANOVA test로 비교하였고, 조직에서의 손상정도는 같은 조사량에서 색체에 따른 육안적 손상정도의 분포를 χ^2 (chi-square) test로 서로 비교하였으며(Table 2와 3-참조), SPSS-PC*를 이용하여 유의한 차이가 있는지를 분석하였다.

연구 성적

1. 색상지에서의 레이저 조사효과

손상의 정도를 실제 실험에 사용된 색상지를 이용하여

Fig. 2. Apparatus for standardizing irradiation-angle (90°) and the distance (5mm) between laser tip and irradiated material.

Table 1. Classification of Nd-YAG Laser Effects on Tissue with Gross Appearance by Tokyo Medical College Hospital

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

Fig. 3. Direct comparison of tissue injuries between natural (*superior section*) and stained (*inferior section*) tissue after irradiating the same dosage of laser.

Table 2. Distribution of the Gross Effect (*Grade*) of Irradiating Points in Various Dosages (*unit-joule*) of Nd-YAG Laser, According to the Color of Porcine Esophagus

Laser dosage	5 – 20				25 – 60				70 – 125				150 – 495			
	N*	R*	L*	B*	N	R	L	B	N	R	L	B	N	R	L	B
0	18	16	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	2	4	14	0	32	33	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
II	0	0	1	2	1	2	1	1	1	1	1	0	2	1	0	0
III	0	0	4	10	0	0	16	2	1	23	0	1	72	3	1	0
IV	0	0	0	8	0	0	18	32	0	1	23	24	1	71	72	66
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	9

Note : * : N -natural, R - red, L - blue, B - black

Fig. 4. Differences in Nd-YAG laser effects according to the color of irradiated paper (*X-axis ; dose of laser, unit-joule/Y-axis ; color*).

정리하면 Fig. 4와 같고, 천공의 크기를 실측한 결과는 mm단위로 다음과 같다.

1) 상아색

9 J까지 전혀 손상이 없었고 10 J에서는 탄화현상이 생기기 시작하였으며, 12 및 14 J에서 0.6 ± 0.2 16 J에서 1.0 ± 0.2 , 18 J에서 1.2 ± 0.2 , 20 J에서 1.8 ± 0.4 , 그리고 30, 40 및 50 J에서는 2.0 ± 0.3 의 천공이 발생하였다.

2) 빨강색

2 J까지는 손상이 없었고, 3 J에서 탄화현상이 생겼으며, 4 J에서 0.5 ± 0.1 , 5 J에서 0.9 ± 0.2 , 6 J에서 1.3 ± 0.3 , 7 J에서 1.6 ± 0.4 , 8 J에서 1.9 ± 0.1 , 9 J에서 2.0 ± 0.3 , 10 및 12 J에서 2.1 ± 0.3 , 14 J에서 2.2 ± 0.2 , 16 J에서 2.4 ± 0.3 , 18 J에서 2.7 ± 0.3 , 20 및 30 J에서 2.9 ± 0.4 , 2.9 ± 0.3 그리고 40 및 50 J에서 3.0 ± 0.3 의 천공이 생겼다.

3) 주황색

1 J에서도 바로 0.2 ± 0.1 의 천공이 생기기 시작, 2 J에서 0.6 ± 0.1 , 3 J에서 1.4 ± 0.2 , 4 J에서 1.7 ± 0.3 , 5 J에서 1.8 ± 0.2 , 6 및 7 J에서 2.0 ± 0.2 , 8 및 9 J에서 2.1 ± 0.4 , 2.1 ± 0.1 , 10 J에서 2.2 ± 0.2 , 12 J에서 2.1 ± 0.4 , 14 J에서 2.4 ± 0.2 , 16 J에서 2.7 ± 0.3 , 18 J에서 2.9 ± 0.4 , 20 J에서 3.1 ± 0.3 , 30 J에서 3.4 ± 0.2 , 그리고 40 및 50 J에서 3.4 ± 0.3 의 천공이 발생하였다.

4) 노랑색

모든 조사량에서 천공이 발생하였는데, 그 크기는 1 J에서 0.6 ± 0.1 , 2 J에서 1.1 ± 0.1 , 3 J에서 1.2 ± 0.2 , 4 J에서 1.8 ± 0.3 , 5 및 6 J에서 1.9 ± 0.2 , 7 J에서 2.0 ± 0.2 , 8 J에서 2.1 ± 0.2 , 9 J에서 2.0 ± 0.2 , 10 및 12 J에서 2.2 ± 0.2 , 14 및 16 J에서 2.6 ± 0.3 , 18 J에서 2.8 ± 0.3 , 20 J에서 2.8 ± 0.2 , 30 J에서 3.3 ± 0.3 , 그

[O; no-change / I~V; grade of tissue injury]

Fig. 5. Differences in the gross effects of Nd-YAG laser according to the color of porcine esophagus (X-axis; color/Y-axis; dose of laser, unit-joule).

리고 40 및 50 J에서 3.5 ± 0.2 였다.

5) 초록색

1 J에서 0.9 ± 0.2 , 2 J에서 1.3 ± 0.2 , 3 J에서 1.8 ± 0.2 , 4 J에서 2.0 ± 0.3 , 5 J에서 1.9 ± 0.1 , 6 J에서 2.0 ± 0.2 , 7 J에서 2.2 ± 0.3 , 8 J에서 2.7 ± 0.5 , 9 J에서 2.2 ± 0.4 , 10 J에서 2.9 ± 0.3 , 12 및 14 J에서 3.1 ± 0.3 , 16 J에서 3.1 ± 0.2 , 18 J에서 3.4 ± 0.3 , 20 J에서 3.3 ± 0.2 , 30 J에서 3.1 ± 0.4 , 40 J에서 3.8 ± 0.2 , 그리고 50 J에서 4.0 ± 0.3 의 천공이 발생하였다.

6) 보라색

1 J에서 0.2 ± 0.1 , 2 J에서 1.2 ± 0.3 , 3 J에서 1.2 ± 0.2 , 4 및 5 J에서 2.1 ± 0.3 , 6 J에서 2.6 ± 0.1 , 7 및 8 J에서 2.5 ± 0.3 , 9 J에서 2.9 ± 0.2 , 10 J에서 3.0 ± 0.3 , 12 J에서 3.8 ± 0.3 , 14 J에서 3.8 ± 0.2 , 16 J에서 4.0 ± 0.3 , 18 J에서 4.3 ± 0.3 의 천공이 생겼으며, 20 J의 조사량에서는 색상지가 발화되었다.

7) 파랑색

각각의 조사량에서 생긴 천공의 크기는 1 J에서 0.9 ± 0.2 , 2 J에서 1.5 ± 0.3 , 3 J에서 2.1 ± 0.2 , 4 J에서 2.3 ± 0.2 , 5 J에서 2.6 ± 0.3 , 6 J에서 2.9 ± 0.2 , 7 J에서 2.8 ± 0.2 , 8 J에서 3.0 ± 0.2 , 9 J에서 3.1 ± 0.3 , 10 J에서 3.6 ± 0.4 , 12 J에서 4.2 ± 0.2 , 14 J에서는 색상지의 발화가 일어났다.

8) 검정색

1 J에서 2.2 ± 0.4 , 2 J에서 2.5 ± 0.3 , 3 J에서 3.0 ± 0.3 , 4 J에서 3.2 ± 0.4 , 5 J에서 3.5 ± 0.3 , 6 J에서 3.9 ± 0.2 , 7 J에서 3.9 ± 0.3 , 8 J에서 4.1 ± 0.3 , 9 J에서 4.0 ± 0.3 , 10 J에서 4.3 ± 0.3 크기의 천공이 생겼고, 12 J에서는 발화현상이 관찰되었다.

즉 색채에 따른 손상의 정도는 흰색에 가까운 상아색에서 가장 적었고, 가시광선의 영역에서는 보라와 파랑의 순서가 바뀐 것을 제외하면 색채의 파장이 짧아질수록

Fig. 6. Differences in the gross effects of Nd-YAG laser according to the color of porcine trachea (X-axis; color/Y-axis; dose of laser, unit-joule).

Table 3. Distribution of the Gross Effect (Grade) of Irradiating Points in Various Dosages (unit-joule) of Nd-YAG Laser, According to the Color of Porcine Trachea

Laser dosage	5 — 10						15 — 25						30 — 45						50 — 70						80 — 100											
	N*			R*			L*			B*			N			R			L			B			N			R			L			B		
	COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR			COLOR		
GRADE																																				
O	9	8	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
I	1	2	7	5	13	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
II	0	0	2	1	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
III	0	0	0	4	0	0	11	2	2	19	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
IV	0	0	0	0	0	0	3	13	0	0	4	18	14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Note : *, N-natural, R-red, L-blue, B-black

록 손상은 증가하였으며, 검정색에서 손상이 가장 컸다. 그리고 이러한 차이는 p 값이 0.01 미만으로서 통계학적으로도 유의하였다.

2. 식도조직에서의 레이저 조사효과

Table 1에 의거하여 육안적 손상정도를 분류하였을 때 각 등급의 손상을 야기하는 레이저 조사량은 색채에 따라 Fig. 5와 같으며, Figure 작성시 각 등급의 경계선은 편의상 실제경계값의 중간치로 하였고, 조사량에 따른 육안적 손상정도의 색채별 분포를 이용하여 통계학적으로 검정하였다(Table 2).

1) 염색되지 않은 자연색의 조직

5~20 J의 조사량에서 육안적 조직손상은 관찰되지 않았고, 25~125 J에서는 I 등급, 150~495 J의 조사량에서 III 등급의 조직손상이 관찰되었다.

2) 빨강색(congo red) 조직

육안적으로 5~15 J의 조사량에서 조직손상은 관찰되지 않았고, 20~60 J에서 I 등급, 70~125 J에서 III 등급, 150~495 J에서 IV 등급에 조직손상이 발생하였다.

3) 파랑색(methylene blue) 조직

5~15 J의 조사량에서 I 등급, 20~35 J에서 III 등급, 40~495 J에서 IV 등급의 조직손상이 발생하였으나, 육안적으로 천공은 관찰되지 않았다.

4) 검정색(black ink) 조직

5~10 J의 조사량에서 바로 III 등급에 해당하는 소형 채양이 관찰되었고, 15~450 J에서 IV 등급의 조직손상이 발생하였으며 475~495 J에서는 육안적으로도 분명한 천공이 관찰되었다.

그러므로, 동일한 조사량에서 조직손상의 정도는 자연색, 빨강색, 파랑색 그리고 검정색의 순서로 증가하였으며, 통계학적으로도 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$).

3. 기도조직에서의 레이저 조사효과

Table 1에 따라 식도조직과 같은 요령으로 분류하였을 때 결과는 6과 같으며, 역시 색채별 육안적 손상정도의 분포를 이용하여 통계처리 하였다(Table 3).

1) 자연색의 조직

5~10 J의 조사량에서 관찰되는 특별한 소견은 없었고, 15~25 J에서 I 등급, 30~45 J에서 III 등급, 50~70 J에서 IV 등급, 그리고 80~100 J에서 V 등급의 천공이

발생하였다.

2) 빨강색(congo red) 조직

5~10 J의 조사량에서 별다른 변화는 관찰되지 않았고, 15~20 J에서 I 등급, 25~30 J에서 II 등급, 35~40 J에서 III 등급, 45~60 J에서 IV 등급, 그리고 70~100 J에서는 V 등급의 조직손상이 발생하였다.

3) 파랑색(methylene blue) 조직

5~10 J에서 I 등급, 15~20 J에서 III 등급, 25~50 J에서 IV 등급, 그리고 60~100 J의 조사량에서 V 등급의 조직손상이 관찰되었다.

4) 검정색(black ink) 조직

5 J에서 I 등급의 조직손상이 발생하였고, 10 J에서 III 등급, 15~40 J에서 IV 등급의 손상이 관찰되었으며, 45~100 J의 조사량에서는 V 등급의 천공이 생겼다.

따라서 동일용량의 레이저를 조사하였을 때, 기도에 서로 자연색, 빨강색, 파랑색, 그리고 검정색의 순으로 조직손상의 정도가 증가하였으며, 80 J 미만의 조사량에서는 통계학적으로도 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$).

고 찰

Nd-YAG 레이저는 파장이 1064 nm로서 적외선영역에 포함되며 굴곡성 석염성염류를 통해 전달이 가능하고, 출력, 산란효과 및 투과력이 크기 때문에 생체조직에서 단백질성분의 응고 및 수분의 증발로 조직을 기화시키는 열효과를 보이다⁶⁾. 따라서 굴곡성 기관지경을 통해서 조사할 수 있고 출혈성 병변에서의 지혈효과가 우수하며⁶⁾, 방사선요법이나 항암화학요법과는 달리 기도폐쇄를 즉각적으로 완화시킬 수 있으면서도⁷⁾ 전신적 부작용이나 총투여량이 제한이 없으므로 필요하면 얼마든지 반복조사할 수 있다는 독특한 장점을 갖고 있다⁸⁾. 폐암의 기도폐쇄에 대한 Nd-YAG 레이저 치료는 1980년도 이후 구미 및 일본에서는 실용화되어 고무적인 치료효과를 보이고 있는데, 기도내강이 확장되어 환자의 증상이나 폐환기능검사에서 객관적인 호전을 보이는 경우가 평균 80% 정도로서^{6,9)} 기도의 완전폐쇄보다 부분폐쇄상태에서의 치료효과가 더 좋다고 보고되고 있다¹⁰⁾. 이처럼 우수한 치료성적에도 불구하고 치명적인 합병증도 그간 수에 발생하여 레이저 요법 수술 자체로 인한 사망율로 높게는 10% 정도까지 보고되었는데¹¹⁾, 가장 문제가 되는 것이 저산소혈증과 기도 및 대혈관의 천공이며¹²⁾ 이 외

에도 기도내에서의 발화, 기흉, 부정맥, 감염의 전파 등이 합병될 수 있다^{6,7,13)}.

환자의 생명과 직결되는 기도 및 대혈관의 천공은 Nd-YAG 레이저의 출력을 낮추면 발생률이 감소하여 수술 자체로 인한 사망율도 0.3~0.4%까지 떨어진다고 보고되어 있지만^{7,12,14)}, Nd-YAG 레이저 조사시 조직의 투과정도를 예측할 수 없기 때문에¹⁵⁾ 어느 정도의 출력으로 얼마동안 조사하는 것이 안전하다는 기준은 정립되어 있지 않다. 특히 기도는 해부학적으로 전·후면에 따라 조직의 성상이 상이하고 또한 근위부에서 원위부로 이행할수록 기도벽의 두께가 얇아지기 때문에 일괄적으로 호흡기영역에서의 안전조사량을 결정한다는 것은 불가능하며, 설혹 이러한 안전조사량이 결정된다 하더라도 레이저의 조사효과는 레이저의 출력 및 조사시간, 조사각도, 레이저 전달물질로 이용되는 석염성염의 형태 및 첨단부(tip)와 피사체간의 거리 등의 영향을 받아서 일정한 피사체에 같은 용량의 레이저를 조사해도 그 효과는 달라질 수 있다⁸⁾. 그리고 기도가 폐쇄된 상태에서는 폐쇄이하부위의 무기폐 등으로 인하여 기도분포가 달라지므로 조사각도가 예상과는 전혀 달라질 수도 있다¹⁶⁾. 따라서 환자에게 Nd-YAG 레이저 요법을 수술할 때에는 조사효과에 영향을 미칠 수 있는 모든 인자가 고려되어야 하고, 적응이 되는 환자와 기관지경의 선택이 적절해야만 합병증을 줄이고 치료의 안전성을 높일 수 있다^{17~19)}.

Nd-YAG 레이저 조사효과에 명확한 영향을 미친다고 알려져 있는 인자들은 실제 수술시 그 영향이 충분히 감안되지만, 어떤 영향을 미치는지 불확실하거나 막연한 경우에는 안전하다고 추정되었던 조사용량에서도 전혀 예측밖의 결과를 초래하는데, 피사체의 색채를 한 예로 들 수 있다. 색채가 레이저 효과에 확실히 영향을 미친다는 주장은 Hayakawa 등²⁰⁾이 실험을 통하여 처음으로 개진하였으며, Torty 등²¹⁾은 멜라닌이나 혈액소로 착색된 표면에서의 레이저흡수가 상대적으로 크므로 메틸렌블루를 임상적으로 사용해 볼 것을 제안하기도 하였다. 이후로 Nd-YAG 레이저는 색채에 따른 효과의 차이가 있어 조사면이 어두울수록 흡수가 증가한다는 주장이 반복되었으며^{6,22~24)}, 특히 Shapshay^{5,25)}의 보고에 의하면 레이저는 착색표면에 대한 친화력이 커서 청색 및 흑색에서의 흡수가 가장 큰 반면에 옅은 색의 표면에 대해서는 투과가 큰 것으로 되어 있다. 그러나 Mc-

Elvein등²⁶⁾은 레이저효과와 색채와는 아무런 연관이 없다고 상반된 주장을 하였다.

이론적으로 어떤 물질이 그 물질 나름대로의 색상을 띠는 것은 그 색상에 해당하는 파장의 빛만을 반사시키고 다른 색상으로 보이는 영역의 파장의 빛은 모두 흡수하기 때문이다. 따라서 가시광선 중 파장이 가장 긴 빨강색은 상대적으로 장파장의 빛은 반사시키고 단파장의 빛을 흡수하는 성질을 가지며, 파장이 가장 짧은 보라색은 빨강색과 상반되는 성질을 갖는다고 할 수 있다. 이러한 이론을 Nd-YAG 레이저에 적용시키면, Nd-YAG 레이저는 파장이 1064 nm로서 가시광선보다도 파장이 다소 길기 때문에 검정색과 백색을 제외하면 빨강색에서 그 흡수가 가장 적고 보라색에서의 흡수가 가장 크다고 예측할 수 있다. 그러므로, Nd-YAG 레이저를 조사할 때 피사체의 색채에 따른 효과의 차이가 분명히 있다는 주장이 논리적으로 합당하다고 생각된다.

연구재료중 색상지의 바탕지는 지질이 모두 동일한 것이기 때문에 조직처럼 두께가 서로 조금씩 다르다거나 동물마다 색채가 약간씩 틀리는 것과 같은 비뚤림을 배제할 수 있었고, 8가지 색체의 색상지를 선택한 이유는 상아색이 비교적 정상 기도나 식도—점막의 색채와 가장 유사하였고 검정색은 색채중 빛의 흡수가 가장 크다고 잘 알려져 있고, 또한 한국색채미술사의 제품중 색채가 부합되는 색상지가 없었던 남색을 제외하면 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑 그리고 보라색은 빛을 프리즘으로 분광시켰을 때 나타나는 대표적인 색상으로서 파장이 잘 알려져 있기 때문이다. 그리고 기도나 식도의 크기가 인체의 것과 비교적 비슷하면서 쉽게 구할 수 있는 돼지를 실험동물로 사용하였으며, 연골조직을 제외하면 외양이나 기본구조가 서로 유사하며 실제 Nd-YAG 레이저 요법이 폐암은 물론 식도암에서도 많이 이용되므로 기도와 식도를 함께 실험하였다. 또한 주황색, 노랑색, 초록색 그리고 보라색으로 염색가능한 시약이 없었기 때문에 자연색, 빨강색, 파랑색 그리고 검정색의 4가지 색체만을 대상으로 하였고, 돼지의 기도는 후면에도 연골이 중첩되어 있어 인체기도의 해부학적 구조와는 상이한 점이 관찰되었지만 인체기도의 후면막부위는 기본구조가 식도와 비슷하며 식도의 실험결과가 기도와 동질의 것이기 때문에 이러한 해부학적 차이에 의한 비뚤림도 배제될 수 있다고 생각된다.

레이저기기는 출력은 10~100 w 범위에서, 조사시간

은 0.1~9.9초 사이에서 조절할 수 있는²⁷⁾ Medilas 제품을 사용하였으며, 레이저 조사효과에 영향을 미치는 조사각도 및 레이저 침단부와 피사체간의 거리를 표준화 하였으므로 이에 의한 비뚤림현상도 완전히 배제할 수 있었고 생체내(in vivo) 실험에서는 이러한 표준화가 불가능하여 생체의 실험으로 시행하였다.

레이저 조사량은 예비실험조사—결과에 의하여 결정하였는데, 색상지에서 조사량에 따라 천공크기에 변동이 있는 영역에서는 1~2J씩 조사량을 증가시켰고 천공크기에 별다른 변화가 없는 20 J 이상의 조사량에서는 10 J씩 증량하였다. 이처럼 상대적으로 고출력에서 천공에 별 변화가 없는 이유는, 레이저 조사단면의 크기(spot-size)가 천공보다도 작기 때문에 색상지에는 더 이상의 레이저가 조사될 수 없었기 때문이라고 추정된다. 돼지의 기도 및 식도를 대상으로 하는 실험은 레이저 조사량이 광범위하여 각각의 조사량에서 손상의 정도를 병리조직학적으로 검정하기가 곤란하고 통계처리가 아주 어렵기 때문에 육안적으로 조직손상의 정도를 결정하였는데, 육안적 분류는 동일한 조사량에서 같은 육안적 손상을 보이는 경우라도 [조사출력×조사시간]의 조합에 따라 병리조직학적 손상의 정도는 서로 다를 수 있다²⁸⁾는 점이 무시되었다. 그리고 기도의 실험에서 레이저 조사량을 100 J로 제한한 이유는 80 J 이상의 조사량에서 피사체의 색채에 따른 차이가 전혀 없었기 때문이며, 식도에서도 100 J 이상의 용량에서 큰 변화가 관찰되지 않았기 때문에 조사량의 증가폭을 25 J로 하였다.

본 연구의 성적에 의하면, 피사체의 색채에 따라 Nd-YAG 레이저는 그 조사효과에 유의한 차이를 보이며 이러한 차이는 색상지나 돼지의 기도 및 식도조직에서 모두 동일한 양상으로 나타났다. 따라서 피사체의 색채에 의한 레이저 조사효과와 상대적 차이에 조직의 성상에 따른 영향은 별로 없고, 동일한 조사량에서 조직손상의 정도가 빨강, 주황, 노랑, 초록, 보라 그리고 파랑의 순서로 증가한 것은 레이저 조사효과와 색채의 파장이 비교적 서로 반비례하는 양상을 보인다고 해석할 수 있다. 그러나 색채의 파장과 레이저 조사효과가 반비례한다는 관점에서 보면 파랑색과 보라색의 순서가 바뀌었는데, 이는 레이저 조사효과에 영향을 미치는 것이 파장만은 아니라는 점을 암시해주고 있으며 빛의 흡수에 관여하는 분자구조에 의한 영향이 아닌가 추정된다.

본 연구에서는 색채에 따라 Nd-YAG 레이저 조사효

과에 차이가 있다는 사실은 확인하였으나 그 차이에 대한 구체적인 계량화가 이루어지지 않았으므로 이러한 차이를 실제 임상에 응용하기 위해서는 앞으로 이에 대한 보완이 필요하며, 이를 위해서는 육안적 분류보다 병리 조직학적 검정을 통하여 조직손상의 정도를 실측하는 것이 바람직하다고 하겠다.

결 론

Nd-YAG 레이저 조사효과는 피사체색채의 파장과 비교적 반비례하는 양상으로 피사체의 색채에 따라 유익한 차이를 보이며, 이러한 차이는 호흡기영역의 실제 임상에서 폐암조직 등의 조사목표물을 파랑색이나 검정색으로 염색하여 Nd-YAG 레이저요법을 시행함으로써 치료효과를 증대시키고 주변의 정상조직에 대한 피해를 최소화하는 데에 이용될 수 있다.

앞으로는, 레이저 조사시 조직손상의 정도를 병리조직학적 방법으로 실측하여 피사체의 색채에 따른 Nd-YAG 레이저 조사효과의 차이를 계량화하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Mountain CF: A new international staging system for lung cancer. *Chest* **89** (Suppl):225, 1986
- 2) 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
- 3) Arabian A, Spagnolo SV: Laser therapy in patients with primary lung cancer. *Chest* **86**:519, 1984
- 4) Cohen MH: Lung cancer, Clinical diagnosis and treatment, 2nd ed. p 97. New York. Grune and Stratton Co, 1983
- 5) Shapshay SM: Laser applications in the trachea and bronchi: A comparative study of the soft tissue effects using contact and noncontact delivery systems. *Laryngoscope* **97**(suppl):1, 1987
- 6) Unger M: Neodymium-YAG laser therapy for malignant and benign endobronchial obstructions. *Clin Chest Med* **6**:277, 1985
- 7) Brutinel WM, Cortese DA, McDougall JC: Bronchoscopic phototherapy with the Neodymium-YAG laser. *Chest* **86**:158, 1984
- 8) Hetzel MR, Nixon C, Edmondstone WM, Mitchell DM, Millard FJC, Nanson EM, Woodcock AA, Bridges CE, Humberstone AM: Laser therapy in 100 tracheobronchial tumours. *Thorax* **40**:341, 1985
- 9) Brutinel WM, Cortest DA, McDougall JC, Gillio RG, Bergstralh EJ: A two year experience with the Neodymium YAG laser in endobronchial obstruction. *Chest* **91**:159, 1987
- 10) Hetzel MR, Millard FJC, Ayesh R, Bridges CE, Nanson EM, Swain CP, Williams IP: Laser treatment for carcinoma of the bronchus. *Br Med J* **286**:12, 1983
- 11) Allen MD, Baldwin JC, Fish VJ, Goffinet DR, Cannon WE, Mark JBD: Combined laser therapy and endobronchial radiotherapy for unresectable lung carcinoma with bronchial obstruction. *Am J Surg* **150**:71, 1985
- 12) Dumon JF, Shapshay S, Bourcereau J, Cavaliere S, Meric B, Garbi N, Beamis J: Principles for safety in application of Neodymium-YAG laser in bronchology. *Chest* **86**:163, 1984
- 13) Gelb AF, Epstein JD: Laser in treatment of lung cancer. *Chest* **86**:662, 1984
- 14) Goodman RL, Hulbert WC, King EG: Canine tracheal injury by Neodymium-YAG laser irradiation. *Chest* **91**:745, 1987
- 15) Shapshay SM, Dumon JF, Beamis JF: *Endoscopic treatment of tracheobronchial malignancy, Experience with Nd-YAG and CO₂ lasers in 506 operations.* *Otolaryngol Head Neck Surg* **93**:205, 1985
- 16) Joyner LR, Maran AG, Sarama R, Vakaboski A: Neodymium-YAG laser treatment of intrabronchial lesions. A new mapping technique via the flexible fiberoptic bronchoscope. *Chest* **87**:418, 1985
- 17) McDougall JC, Cortese DA: Neodymium-YAG laser therapy of malignant airway obstruction, A preliminary report. *Mayo Clin Proc* **58**:35, 1983
- 18) Ossoff RH, Karlan MS: Safe instrumentation in laser surgery. *Otolaryngol head Neck Surg* **92**:664, 1984
- 19) Personne C, Colchen A, Leroy M, Vourc'h G, Toty L: Indications and technique for endoscopic laser resections in bronchology. A critical analysis based upon 2,284 resections. *J Thorac Cardiovasc Surg* **91**:710, 1986
- 20) Hayakawa K, Oho K, Amemiya R: Photodynamic effects of laser surgery on the trachea and bronchi

- of mongrel dogs. Bronchology: research, diagnostic, and therapeutic aspects. Proceedings of the second world congress for bronchology. 1st ed, p 543, Hague, Martinus Nijhoff Publishers, 1981
- 21) Toth L, Personne C, Colchen A: Bronchoscopic management of tracheal lesions using the neodymium yttrium aluminum garnet laser. *Thorax* **36**:175, 1981
 - 22) 한성구, 정희순, 심영수, 김건열, 한용철, 황태숙 : 기도에서 Nd-YAG 레이저 조사의 효과 및 안전성에 관한 실험적 연구. *결핵 및 호흡기질환* **36**:73, 1988
 - 23) LoCicero III 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
 - 24) Ossoff Rh, Duncavage JA, Toohill RJ, Tucker GF Jr: Limitations of bronchoscopic carbon dioxide laser surgery. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **94**:498, 1985
 - 25) Shapshay SM, Beamis JF: Safety precautions for bronchoscopic Nd-YAG laser surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* **94**:175, 1986
 - 26) McElvein RB, Zorn GL: Indications, results, and complications of bronchoscopic carbon dioxide laser therapy. *Ann Surg* **199**:522, 1984
 - 27) Parr GVS, Unger M, Trout RG, Atkinson WG: One hundred Neodymium YAG laser ablations of obstructing tracheal neoplasms. *Ann Thorac Surg* **38**:374, 1984
 - 28) Rutgeerts P, Vantrappen G, Geboes K, Broeckaert L: Safety and efficacy of Neodymium-YAG laser photocoagulation: An experimental study in dogs. *Gut* **22**:38, 1981