ISSN 1225-0244

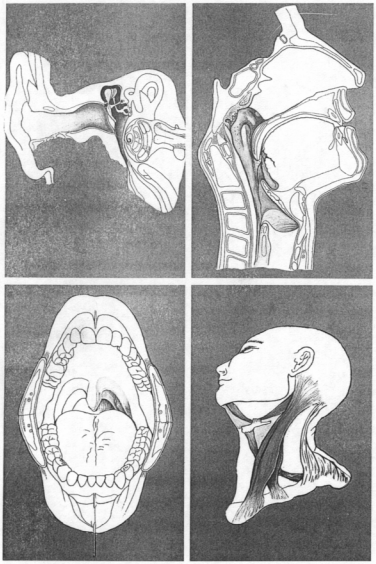
1995. 5. 24 발행

臨床耳鼻咽喉科

第 6 卷 第 1 號

Journal of Clinical Otolaryngology, Head and Neck Surgery

Vol. 6 No. 1



특집 : Laser ····· 1

원 저 ····· 46

임 상 ····· 97

臨床耳鼻
Clin. Otol.

釜山·慶南 耳鼻咽喉科學會

임 상 이 비 인 후 과

제 6 권 제 1 호

1995. 5. 24

목 차

특집 : Laser

레이저의 기본원리 ..... 안 희 영 (1)

비과영역에서의 레이저의 이용 ..... 박 재 훈 (26)

후두의 레이저치료 ..... 김 광 문 (34)

레이저 코골기 수술 ..... 이 정 권 (40)

원저 :

중이진주종 및 만성중이염에서 랑게르한스 세포에 관한 면역조직화학적 연구 ..... 이정헌 외 (46)

경질형동 뇌하수체 수술에 대한 임상적 고찰 ..... 서세훈 외 (56)

구개편도 및 구개궁에 발생한 양성종양에 대한 임상적 고찰 ..... 오병훈 외 (63)

후두암의 임상적 고찰 ..... 이종덕 외 (69)

임상 :

재발성 뇌막염을 동반한 Mondini Dysplasia 치험 1례 ..... 서한규 외 (77)

반충손상을 동반한 측두골절 ..... 조태권 외 (83)

중이에 발생한 타액선분리종 1례 ..... 김준형 외 (90)

부비동내시경수술을 위한 새로운 국소마취에 대한 임상적 평가 ..... 이상훈 외 (94)

원발성 비결핵 1례 ..... 박경윤 외 (98)

비강 및 상악동의 도립유두종에서 유래된 편평상피암 1례 ..... 최충식 외 (102)

하악골의 치계낭종성 병변 2례 ..... 김형진 외 (108)

사골동으로 전이된 신세포암 1례 ..... 이동재 외 (116)

비강 및 부비동에 범발한 혈관종 ..... 안성기 외 (121)

Bleomycin을 이용한 낭포성 히그로마 치험 1례 ..... 정형목 외 (126)

Major Aphthous Stomtitis(Sutton's disease) 3례 ..... 홍대영 외 (131)

하인두암 환자에서 중복하여 발생한 식도암 2례 ..... 문영일 외 (138)

Journal of Clinical Otolaryngology,
Head and Neck Surgery

Vol. 6, No. 1, May, 1995

CONTENTS

The Principles of Laser ····· Hwoe Young Ahn (1)
Laser Therapy in Nose ····· Jae Hoon Park (26)
Laryngeal Laser Surgery ····· Kwang Moon Kim (34)
Laser assisted Uvulopalatoplasty ····· Jeong Gweon Lee (40)
Immunohistochemical Study Langerhans Cells in
Cholesteatoma and Chronic Otitis Media ····· Jung Hun Lee et al (46)
Clinical Study on Transsphenoidal Approach
to Pituitary Gland ····· Se Hoon Suh et al (56)
A Clinical Study of Benign Tumors
of the Palatine Tonsil and Pillar ····· Byung Hun Oh et al (63)
A Clinical Study on the Laryngeal Cancer ····· Jong Duk Lee et al (69)
A Case of Mondini Dysplasia with Recurrent Meningitis ····· Han Kyu Suh et al (77)
Temporal Bone Fracture Accompanied with
Contre-coup Injury ····· Tai Kwon Cho et al (83)
A Case of Salivary Gland Choristoma in the Middle Ear ····· Joon Hyung Kim et al (90)
Clinical Evaluation of New Topical Anesthesia for
Endoscopic Sinus Surgery ····· Sang Hoon Lee et al (94)
A Case of Primary Nasal Tuberculosis ····· Kyung Yun Park et al (98)
A Case of Squamous Cell Carcinoma Arising from
Innverted Papilloma in Nose and Paranasal Sinus
(Follow-up with Flow Cytometry) ····· Choong Sik Choi et al (102)
Two Cases of Odontogenic Cystic Lesions in Mandible ····· Hyung Jin Kim et al (108)
A Case of Metastatic Renal Cell Carcinoma
to the Ethmoid Sinus ····· Dong Jae Lee et al (116)
Hemangioma of the Nasal Cavity & the Paranasal Sinus ····· Seong Ki An et al (121)
A Case of Cystic Hygroma Managed by Bleomycin
Sclerosing Therapy ····· Hyung Mog Jung et al (126)
Three Cases of Major Aphthous Stomatitis
(Sutton's Disease) ····· Dae Young Hong et al (131)
Two Cases of Second Primary Esophageal Carcinoma
in Hypopharyngal Cancer ····· Young Il Moon et al (138)

Published by the Pusan-Kyongnam
Otolaryngological Society
Department of Otolaryngology, College of Medicine,
Pusan National University, 1-10 Ami-Dong, Suh-Ku
Pusan, Korea 602-739

臨床耳鼻：第6卷·第1號·1995
Clin. Otol. pp 1~25
Vol. 6, No. 1, 1995

레이저의 기본원리

경희대학교 의과대학 이비인후과학 교실
안 회 영

The Principles of Laser

Hwoe Young Ahn, M.D.
Department of Otolaryngology, College of Medicine,
Kyung Hee University

1. 레이저의학의 역사와 현황

(1) 서 론

1960년 Maiman은 Ruby결정에 Xe(키세논)의 flashlamp light로 pumping하여 6943A의 적색광의 루비레이저 발진에 최초로 성공하였고 1961년 Snitzer에 의해 Nd 유리 레이저가 발명되었다. 많은 의학연구자들은 이 새로운 현상에 대한 흥분을 함께 나누었고 이 레이저가 암에 대항하는 새로운 무기가 될것을 희망하였다. 그러나 초기 레이저들은 출력의 조절이 어려워 종양의 절제가 완벽하지 못한 단점이 문제가 되었으나 곧 그러한 문제들은 해결이 되었고 루비레이저가 망막에 높게 흡수되기 때문에 안과영역에서 성공적으로 사용되었다. 1960년대 중반 광응고를 위한 루비레이저의 임상적 장치가 사용되었고, 아르곤 레이저도 이때쯤 발명되어 안과 영역의 수술시 루비레이저에 대치되기 시작하였다. 이는 아르곤 레이저의 파장이(0.48μ) 망막과 혈색소에 잘 흡수되고 연속발진이 가능하고 출력조절이 용이하기 때문이다. 1965년에 암치료에 대한 루비레이저와 Nd유리 레이저의 환멸이 깊어지면서 CO_2레이저가 서서히 사용되기 시작하였다. AOC(American optical corporation) 연구실의 Yahr & Strully는 수술용 칼 대신 20 Watt의 집중된 CO_2레이저를 이용한 실험논문을 발표하였다. 이비인후과 영역에서의 이용은 Stahle와 Hoeberg가 내이에, Conti가 내이에 처음 이용하여 초기에는 이과분야에 많이 이용되었다. 그러나 본격적인 연구는 1967년 Jako가 CO_2레이저를 이용하여 개의 성대에 이용한 것이 시초라고 할 수 있다. 그 후 1969년 Jako와 Bredemeier에 의해 내시경에 부착할 수 있는 Coupler가 고안되었고 1972년 Jako와 Strong이 수술현미경에 micromanipulator를 부착하여 확대된 시야에서 사용하여 지혈효과와 함께 조직을 절개 할 수 있었으며 같은 해 Wallace가 기관지경에 레이저를 부착하여 사용할 수 있는 기구를 고안해 냄으로서 내시경을 이용한 레이저 및 후두미세수술에 급진전을 가져오게 되었다.

(2) 레이저외과의 발달

레이저광이 수정체를 투과하며 또한 안저의 망막에 선택적으로 흡수된다고 하는 이점이

KEY WORDS : Laser · Principles · Application

있어서 레이저 조사의 안과이용은 비교적 조기에 발달하였다.

1961년 Zaret의 레이저 광응고 장치의 연구 이후에 1964년 Schapens 등에 의해 쌍안도상검안경을 이용한 것이 개발되어서 1965년에는 Zweng, 野畝 등에 의해 장치가 소형화되어 간편한 직상검안경이 만들어졌다. 1970년대에는 안과용의 광응고장치는 Ruby 레이저에서 Argon 레이저로 치환되었다.

1970년대에 들어와서 출력 30~50W의 고출력 CO_2 레이저를 이용한 외과용메스가 미국, 이스라엘 등에서 개발되어 무혈수술의 기초적 및 임상적 연구가 행하여졌고 신경외과, 성형외과, 이비인후과, 일반외과, 부인과 등에서의 CO_2 레이저가 surgical knife로서 응용이 널리 이용되게 되었다.

1972년 경부터 Nd-YAG 레이저 및 Argon 레이저에서 각각 30~80W, 10~15W의 고출력레이저가 개발되고, 석영화이버나 통상의 광화이버 등의 내시경을 이용한 레이저광 이용이 검토되기 시작하였다. Nd-YAG 및 Argon 레이저는 생체조직의 절개보다는 혈액이나 조직을 응고하는 광응고장치로서 이용되였으며 내시경적 레이저 기술은 소화기에서 시작하여 비뇨기 및 기관지에 응용되어 소화기내의 지혈이나 종양의 파괴, 방광내나 기관지내의 종양의 제거 등 혁신적인 응용이 시작되었다. Argon 레이저는 파장의 특이성을 이용하여 혈관종의 치료로서 주로 성형외과 및 소화기계통에서 유용하게 이용되고 있다. 악성종양에 대한 레이저의 외과적이용은 1970년대에 들어와서 주로 CO_2 레이저의 고에너지에 의한 기화소멸작용(vaporization), 파괴가 중심이었으나 1975년경부터는 각종의 색소투여와 레이저광의 파장특이성을 이용한 광화학적작용(photodynamic action) 즉 acridines orange 와 Argon 레이저, hematoporphyrine 유도체(HpD)와 색소레이저, 비타민 A와 He-Ne 레이저 등을 이용하여 종양의 진단과 치료에 이용하고 있다.

Ruby 레이저나 He-Ne 레이저 등 출력이 약한 레이저광을 생체조직에 조사하면 활성작용이 있으므로 잘 치료되지 않는 괴양이나 욕창의 치료에 이용하며 이런 저에너지 레이저의 생체자극작용은 Nd-YAG 레이저, 반도체레이저에 의한 침치료 등에도 이용되고 있다.

이비인후-두경부외과 영역에서 레이저는 전분야에 걸쳐서 널리 이용되고 있다. 현재 임상적으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 CO_2, Nd:YAG(접촉형, 비접촉형), Argon, KTP, Holmium:YAG, Erbium:YAG 등이며 Free electron laser가 개발되어서 1991년경부터 미국 Vanderbilt대학에 설치되었으며 수년내에 X-ray laser가 실용화 될 것으로 예상되고 있다.

2. 레이저의 원리와 장치

(1) 레이저의 원리

레이저(LASER)란 "방사의 유도방출에 의한 빛의 증폭"(Light Amplification on by Stimulated Emission of Radiation)이란 영어의 머릿글자를 따서 만든 새로운 학술용어이다. 이 말의 뜻한 바와 같이 레이저의 기본적인 원리는 빛과 빛을 생성하여 방출하는 물질계와의 상호작용에 있다. 적외선이나 가시광선, 자외선 등을 포함하는 빛의 본질은 전자파이며 통신수단으로 이용되고 있는 전파, 마이크로파 그리고 의료용으로 많이 이용되고 있는 X-선, r선도 그 물리적 본질이 전자파이다(그림 1). 물질계의 기본적인 구성요소인 원자의 구조는 그 중심에 질량의 대부분을 차지하고 있는 원자핵과 그 원자의 원자번호에 해당되는 갯수의 전자로서 구성되어 있으며 이 전자들은 특정한 궤도에서 주기적인 운동을 하고있다. 이런 원자내의 특정된 궤도를 "양자화된 상태"라 부르며 이런 상태에는 여기에 대응하는 고유한 에너지값을 갖고 있으며 이런 에너지값들을 원자의 에너지준위(energy level)라고 부른다(그림 2). 일반적인 전자기파인 빛은 양자계(quantum system)가 높은 에너지준위(high energy level)에서 부터 낮은 에너지 준위로 천이(transition)될 때 발생한다. 양자계는 여러개의 에너지준위에서 존재할 수 있는데 높은

에너지준위인 Ea에서 낮은 에너지준위인 Eb로의 천이가 일어날 때 그 에너지 차이인 Ea−Eb가 결국 전자기파의 형태로 나타난다. 이 전자기파의 주파수 fab는 Bohr의 식에 의해 2개의 에너지준위의 차이와 다음과 같은 관계를 갖는다. h×fab=Ea−Eb(h는 planck 상수로 6.6×10^{-34}JS) 또한 주파수 f와 파장 λ는 f×λ=c라는 식에 의해 서로 연결되어 있다. (여기서 c는 빛의 속도 3×10^{10}cm/sec).

빛의 자연방출(spontaneous emission of radiation)

고에너지 준위의 원자가 자기 스스로 일정한 확률을 가지고 에너지가 낮은 보다 안정된 준위로 되돌아 가면서 자연방출현상이 생긴다(그림 3).

빛의 흡수

저에너지 준위에서의 원자가 빛에 폭로되었을 때 전자기파의 영역으로 부터 에너지를 흡수하여 흥분된, 즉 보다 높은 에너지 준위로 올라가게 된다(그림 3).

유도방출(stimulated emission of electromagnetic radiation)

흥분된 상태 즉 고에너지 준위인 Ea에 원자가 있을 때 주파수 fab의 빛이 저에너지 준위인 Eb로 원자가 되돌아 가도록 방출을 자극할 수 있다. 이 자극된 빛은 자극하는 빛의 방향과 주파수와 동일하며 같은 위상을 갖게 되고 자극하는 빛의 강도를 추가해서 포함하게 된다. 유도방출과 그것의 성질은 1916년에 Einstein에 의해 첫 기술되었다(그림 3).

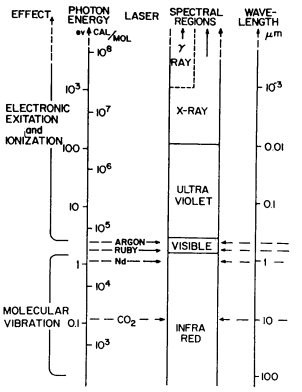


Fig. 1. 각종 레이저의 발진 파장

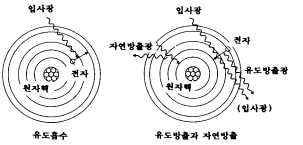


Fig. 2. 원자내의 전자의 고유에너지 분포와 빛의 흡수 또는 방출

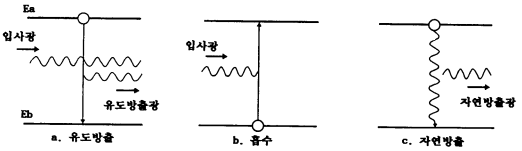


Fig. 3. 빛의 자연방출, 흡수, 유도방출

빛의 흡수와 증폭(absorption and amplification of light)

평행한 빛이 여러 에너지 준위의 원자들이 밀집되어 있는 매질을 통과할 때 저에너지 준위의 원자가 밀집 되어있는 곳이면 입사광을 흡수하여 고에너지 준위로 올라가고 따라서 출사광은 입사광 보다 약해지게 되며 이것을 빛의 흡수라 한다(그림 4a). 또한 고에너지 준위의 원자가 밀집되어 있는 지역에 입사광이 폭로 되면 유도방출이 발생하게 되어 결국 입사광보다 출사광이 커지게 되는 빛의 증폭을 유발할 수 있게 된다(그림 4b).

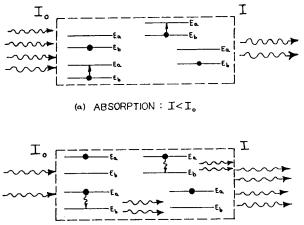


Fig. 4. 빛의 흡수와 증폭

반전분포와 레이저매질(population inversion and laser media)

양자계가 흥분되었을 때는 고에너지 준위의 원자들이 저에너지 준위의 원자 보다 덜 밀집되어 있는 상태가 대부분이다. 그러나 드문 경우에 준비된 매질에 적당한 자극을 줌으로서 고에너지 준위의 원자들이 저에너지 준위의 원자 보다 훨씬 많아지게 되며 이러한 상태를 '반전분포'라고 한다. 또한 반전분포 상태를 만들어 주기 위한 과정을 'pumping'이라 한다.

펌핑방법에는 섬광램프(flash lamp)를 사용하여 빛을 직접 투입시키는 광학적 방법(optical pumping)외에 가스를 방전시켜 에너지를 주입시키는 방법(electric pumping), 고속전자를 주입시키는 방법, 화학반응을 이용하는 방법 등이 있다. 그리고 pumping에 의하여 쉽게 반전분포상태가 될 수 있는 물질계를 레이저 활성매질이라 부르며 고체매질로는 Ruby, Nd-YAG(neodymium-yttrium aluminum garnet), 기체매질은 He-Ne, Argon, N_2, CO_2 그외에 색소, 반도체 등이 있다.

펌핑에 의해 활성매질을 반전분포 상태로 만들어 주고 두 준위 사이의 에너지 차이에 해당하는 공명 진동수를 갖는 빛이 이 속을 통과하면 유도방출에 의해 그 빛이 증폭되지만 실제로는 산란, 흡수 및 기타 원인으로 손실이 생기므로 매질의 양단에 거울을 부착하여 빛이 두개의 거울사이를 계속 왕복하도록 하므로서 지속적인 증폭발진이 가능하도록 하는데 이와 같은 서로 평행으로 마주보고 있는 한쌍의 거울을 광학적 공진기(optical resonator)라고 부른다(그림 5).

이와 같이 레이저는 레이저 활성매질, 반전분포를 만들어주는 pumping장치, 그리고 광공진기의 세가지의 기본장치를 가지고 있다고 할 수 있다.

(2) 레이저 광(光)의 특징

레이저에 의해 방출된 빛은 다른 비 레이저성 광원에 의해 방출된 것과 다음과 같은 차이가 있다.

1. 레이저에 의해 방출된 모든 빛은 범위가 좁으며 거의 평행한 빛의 다발을 형성하나(그림 6a) 비 레이저성 광원에 의한 빛은 공간내의 모든 방향으로 발산한다(그림 6b).

2. 레이저광은 비 레이저광에 비해 훨씬 작은 확산파장을 가진다(그림 6c).

레이저의 특징은 가간섭성(coherent)을 갖는 평행한(collimated) 단색광(monochromatic light)이다. 대표적인 특성은 다음과 같다.

① 가간섭성(coherence) : 일반적으로 파동현상에서 위상사이에 상관이 있는 것을 coherence라 부른다. 레이저 이외의 incoherent

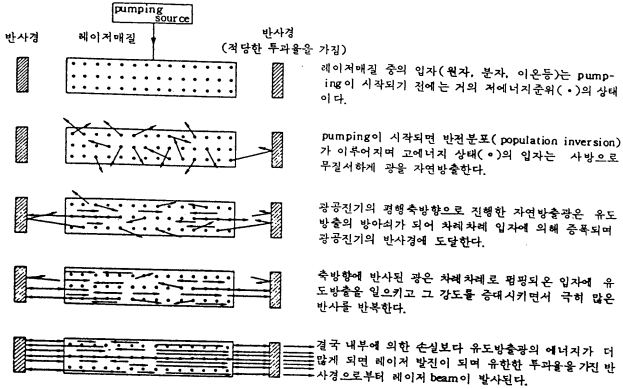


Fig. 5. 레이저 발진이 광공진기 속에서 시작까지의 과정

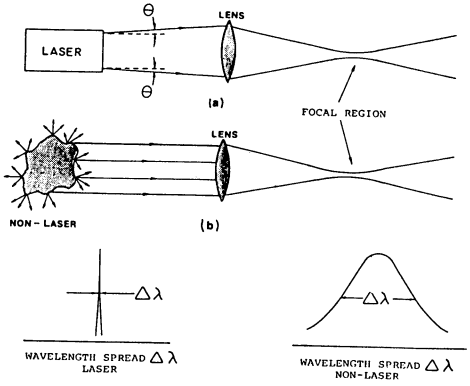


Fig. 6. 레이저광의 특성

light에서는 개개의 원자나 분자가 자연방출에 의해서 전혀 무질서한 여러가지 서로 파장이 틀리는 광을 내기 때문에 광원전체로서 광의 위상이나 진폭이 끝없이 불규칙하게 변화한다. 한편 레이저 매질중의 대부분의 원자나 분자는 입사광에 의해서 차례 차례로 보조를 맞추어 유도방출을 일으키므로 위상이 연속적으로 이어진, 가간섭성이 극히 우수한 빛을 발생할 수 있다. 보통 광원에서 나오는 빛의 coherence length가 수㎜에서 최고 수㎝인데 비하여 레이저광의 경우 이 길이가 수십m에서 수십km에 이르고 있다. coherence의 개념은 보통 두가지가 있는데 시간적으로 틀리는 2개의 wave 사이의 간섭성을 시간적 간섭성, 공간적으로 틀리는 두점간의 wave의 간섭성을 공간적 간섭성이라 부르고 있다(그림 7).

② 단색성(monochromaticity) : 이것은 spectrum의 파장순도 즉 파장적 퍼짐이 좁은 것을 가리키는데 시간적 간섭성에 직접 관련되어 있다. 레이저광은 두개의 반사경 사이에 있는 활성매질에 광학적 또는 전기적 자극을 가해 얻어지는데 거리에 따라 공진하는 진동수가 정해지며 이로 인해 보통램프에서 발생되는 빛을 공학필터에 의해 filtering한 후의 파장폭(대개 수십－수백A)보다 10^{-2} 정도 더 작다.

③ 지향성(directionality) : 레이저광은 광공진기의 광축의 방향으로만 빛의 증폭이 일어나는 관계로 보통 램프에서 나오는 빛처럼 사방으로 퍼지지 않고 수㎜정도의 폭으로 일정한 방향으로 진행한다.

④ 에너지 집중도 : coherent light를 렌즈 등으로 집광하면 원리적으로는 파장정도 크기의 직경에 집중할 수 있게 되므로 초점부근의 단위파장당 에너지 밀도는 태양광을 집속한 경우와 비교해도 현격한 차이로 크게 된다.

⑤ 고휘도성(brightness) : 단색성에서도 지적했듯이 레이저광은 단위파장당의 출력이 대단히 크며 이것은 휘도(밝기)가 극히 높다는 것을 의미한다. pulse 출력이 1kw 정도의 소형의 Ruby 레이저라 해도 그것과 같은 파장폭의 태양의 빨간빛에 비해 약 10^{10}배나 밝은 휘도를 갖고 있다. 단색성이 뛰어난 기체레이저, 고출력 pulse를 발생하는 고체레이저나 CO_2레이저 등은 그 휘도온도가 $10^{17}-10^{23}$K 정도나 된다고 예측되며 탁월한 에너지 집중도에 의해서 얻어지는 강력한 조도와 아울러 레이저광의 기본적 특징의 하나이다.

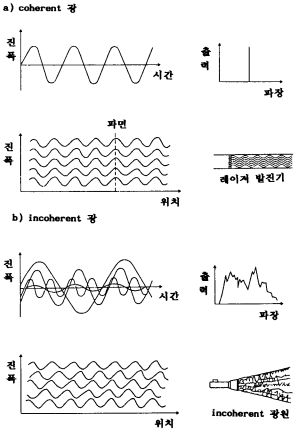


Fig. 7. coherent 광을 발생하는 레이저 발진기와 incoherent광원의 비교

(3) 레이저 장치의 종류와 특성

레이저 장치

모든 레이저 장치는 다음과 같은 요소들로 이루어져 있다(그림 8).

1. 레이저 매질, 일반적으로 긴 관모양이다.

2. 광학강(optical cavity), 2개의 거울과 그 사이의 공간으로 구성되어 있으며 레이저

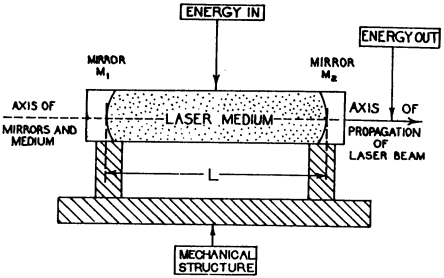


Fig. 8. 레이저장치의 구조

Any laser has the components shown. The optical cavity is formed by the two mirrors (M_1 and M_2) spaced at a distance L and by the space between. The laser medium is in the optical cavity. The mechanical structure accurately maintains the mirror spacing and the coincidence of the mirror axes. Laser light leaves the cavity through mirror M_2, which is partially transmitting. (Reproduced by permission from Andrews, A. H., and Polanyi, T. G.[Editors] : Microscopic and Endoscopic Surgery with the CO_2 Laser. Littleton, Massachusetts, John Wright ● PSG Inc., Publishers, 1982. Copyright © 1982 by John Wright ● PSG Inc.)

매질은 광학강 내에 위치하며 1개의 거울은 일반적으로 레이저의 파장을 완전히 반사시키고 다른 거울은 부분적으로 빛을 통과시키는 특징이 있다.

3. 레이저 매질을 펌핑시키는 에너지 원 광학강 내에서 레이저매질이 펌핑되면 레이저빔이 생겨나고 이것들이 부분적 투과경을 통과해서 빛이 발사되게 된다. 결국 펌핑이 되면 레이저 매질 중의 수많은 원자들이 흥분된 상태로 에너지 준위가 올라가게 되어 모든 방향으로 자연방출이 일어나게 된다. 이 방출된 빛이 거울에 의해 수없이 반사되면서 유도방출을 통해 강도가 증가하게 되면서 일정한 방향성을 갖게되고 결국 반투성 거울을 통과해서 빛이 발사되게 된다.

의용 레이저장치는 일반적으로 발진기와 레이저광의 방사부 및 이것을 연결하는 도광로로 구성되어 있다. 의용레이저 장치는 대상이 인체인 점과 의사가 조작한다는 두가지 사항에 대한 고려 특히 안전에 대한 배려가 중요하며 이런 점에서 다음의 항목들이 요구된다.

1. 레이저 발진기는 소형, 경량으로 이동이 용이할 것이며 전력공급 시스템이 단순하고 냉각계도 폐쇄시스템일 것

2. 레이저시스템의 동작제어가 간단하며 잘못된 동작에 대한 레이저장치의 보호기능을 구비하고 있을 것.

3. 조사형태(연속, pulse)가 변함에 따라 출력도 연속적으로 변할 것.

4. 스윗치는 손과 발 양쪽을 모두 사용할 수 있는 것이어야 함.

5. 도광로는 방사부가 자유자재로 움직일 수 있도록 유연해야 하며 이때 전송시스템에 의한 에너지 손실이 적고 광축이 틀어지는

일이 없으며 레이저의 출력과 강도의 안정성을 유지할 것.

6. 방사부는 렌즈를 사용한 집광계를 갖고 있어서 초점거리를 연속적으로 바꿀 수 있을 것.

7. 적외레이저 등 비가시광의 경우 조사위치를 나타내는 가이드광이 필요하고 적외레이저광과의 축이 어긋나지 않을 것.

8. 미세수술의 경우 수술용 현미경을 방사부에 부착시킬 수 있을 것.

9. 절개시에 발생하는 생체증발연기는 조사를 방해하므로 연기흡인기, 가스분사기를 구비하고 연기의 정화처리시스템을 구비할 것.

10. 레이저빔은 절개메스용으로 단일 횡모드일 것. 이것은 집속성이 좋고 높은 조사파워 밀도를 얻을 수 있기 때문이다.

11. 조사치료에서는 조사부위의 면적당 조사파워 밀도가 중요하며 조사면적을 추정하는 장치 혹은 간편한 방법이 요구된다.

12. 비접촉성이므로 절개부위 깊이를 수술하는 사람이 판단하기 곤란하므로 생체의 절제 심도의 측정지시장치도 필요하다.

레이저 종류

현재까지 많은 레이저들이(레이저 매질) 발견되었고 숫자도 증가하는 추세이다. 그러나 그들 레이저간의 차이를 나타내는 것은 다음의 기본적인 차이들이 각각의 종류에 대한 구분을 지워주게 된다.

1. 파장(wave length)

2. 방출의 양상－－－short pulse(ruby 레이저), continuous 레이저

3. 레이저의 효율성－－－pump power와 beam power 의 비

즉 어떤 레이저를 사용할 것인가는 시행할 수술에 따라서 파장, power, 연속파 혹은 단속파, spot size, 노출시간 등과 절개를 할 것인지 조직의 기화 소멸을 목적으로 할 것인지 또는 조직응고를 시킬 것인지 등을 고려하여 선택하여 이용한다.

CO_2 레이저

적외선 영역에서 10.6 micron의 파장을 갖는 레이저로 매질은 CO_2, Nitrogen, Helium gas로 각각 5 : 10 : 85 의 비율로 혼합되어 있다. 펌핑은 가스혼합물에 전기방전을 통해 일으키며 CO_2 이외의 두가지 가스가 펌핑의 효율성을 상승시킨다. 현재까지 가장 효율적인 레이저로 알려져 있다. 수분을 함유한 조직에 대부분 흡수되며 조직 색조에 관계없이 일정한 에너지를 조사할 수 있어서 에너지 조절이 쉬우며 주위조직에 대한 손상범위가 극히 작아 미세한 수술에 이용하기 쉽다. CO_2 레이저는 hand piece를 이용하거나 현미경 혹은 내시경에 부착하여 사용한다. CO_2 레이저의 최대의 단점은 화이버스코프에 연결하여 사용할 수 없으므로 manipulator의 유연성에 문제가 있다는 점이다. 다른 하나는 현미경에 부착하여 사용할 때 400㎜ 대물렌즈하에서 spot size가 700 micron 정도가 되므로 더욱 정교한 수술을 위해서는 ultraspot micromanipulator를 구입하여 사용해야 한다는 점이다. 1992년에 unimax 2000이 개발되어서 spot size를 100micron까지 줄일 수 있게되어 미세수술에서 CO_2 레이저의 효용성을 아주 높여 주고 있다.

Neodymium-YAG 레이저

적외선 영역의 1.06 micron에서 작동하는 연속파형 레이저로 매질은 Yttrium-Aluminum-Garnet(YAG)의 수정속에 Neodymium ion의 희석액이며 펌핑은 수정(pumping crystal)에 초점을 맞춘 arc lamp에 의해 일어난다. Extinction length가 60㎜ 정도로 주위조직을 응고시키는 성능이 뛰어나 괴양이나 출혈성 병변을 동반한 기도병변에 내시경을 이용하여 많이 사용되고 있다. Hand piece를 이용하여 병변에 직접 조사하거나 연성내시경을 이용하는 방법이 있는데 hand piece를 이용하는 경우에는 contact type과 non contact type의 두가지 방법이 있으며 주위조직의 열응고와 조직괴사가 많은 단점이 많이 개선 보완된 contact type이 최근 급속히 널리 보급되고 있다.

Argon ion 레이저

연속파형 레이저로 0.48 micron, 가시광선영

역의 청색광, 매질은 이온화된 저압의 Argon gas. 펌핑은 high current electrical discharge, 0.1%의 낮은 효율성 때문에 사용상의 제한이 있다(input 1kw 시 output 1watt). 보색인 붉은색에 잘 흡수되므로 선택적으로 조직에 반응하여 단백응고를 시킬수 있다. 특히 argon 레이저는 extinction length(방사광의 90%가 흡수되는데 필요한 물의 두께)가 수mm에 달하므로 안과영역의 수술에 많이 이용된다. 화이버스코프에 부착하여 사용하며 spot size는 0.15 mm 정도이며 선택적인 이비인후과 질환의 수술에 이용되고 있다.

KTP 레이저

0.532μm의 파장을 가진 초록색광으로 아주 작은 spot size(200 micron)로 CO_2 레이저와 같이 주위조직의 손상이 적어 매우 정교한 수술에 이용될 수 있으며 조직을 응고시키는 성능이 뛰어나 출혈성 병변에도 유용하게 사용할 수 있다. KTP/532와 KTP와 Nd : YAG를 결합시킨 KTP/YAG 두가지가 있으며 Nd : YAG와는 달리 CO_2 레이저처럼 현미경과 내시경에 부착시켜 사용할 수도 있다.

Holmium : YAG 레이저

파장 2.1μm의 pulsed 레이저로 250μsec의 pulse 간격을 갖고 있으며 작은 quartz fiber를 통해 레이저가 전달된다. 골과 연골을 자를 수 있어 부비동 내시경수술의 안전하고도 유용한 장비로 쓰일 수 있으며 비과수술 뿐만 아니라 dacryocystorhinostomy, transsphenoidal surgery, optic n. decompression, interstitial photocoagulation 등에 확장해서 사용할 수 있다.

Erbium : YAG 레이저

2.94μm의 파장을 가진 pulsed 레이저로 에너지가 물에 잘 흡수된다. 연부조직과 골조직을 쉽게 용화시키며 고배율시 조직온도를 빨리 상승시켜 조직의 미세폭발 및 조직절편의 비상을 야기시킨다. 연부조직과 골조직에의 효과 때문에 앞으로는 현미경에 부착하여 후두미세수술, 부비동 수술, 이과학 등에 적용될 것이라 사료된다. CO_2 레이저와 마찬가지로 flexible fiber를 통해서는 전달되지 않아 hand piece 혹은 현미경에 부착하여 사용해야 하는 단점이 있다.

Free electron 레이저

continuous, tunable, coherent, monochromatic radiation 으로 자외선에서 적외선까지 영역이 넓으며, 이 레이저는 고 에너지의 전자광으로 구성되어 있으며 주기적으로 바뀌는 static transverse magnetic field를 통과해서 일련의 레이저를 발생하게 된다. 이처럼 주파수영역이 넓어 필요에 따라 선택할 수 있어 내과영역에의 적용이 기대된다. cutting과 coagulation이 가능하다. 주된 제한사항은 delivery system(fiberoptic transmission)이다.

현재 많이 사용되고 있는 레이저는 위와 같으며, 매질에 따라 분류하면 종류가 가장 다양한 기체레이저가 있으며 CO_2 레이저가 가장 대표적이다. 고체레이저의 특징은 비교적 소형의 장치라도 고출력이며 증폭도 될 수 있는 점이다. 그중에서도 실온에서 연속발진이나 고속으로 반복하여 pulse동작이 가능하며 출력도 크고 고품질 재료의 제작이 용이하며 수명이 긴점등에서 Nd : YAG레이저는 용도가 대단히 넓다. 색소레이저는 재료가 되는 색소를 통상 유기용매나 물에 녹여서 사용한다. 중요한 특징은 재료의 종류가 풍부하여 가격이 싸고, 취급이 용이하며 재료를 바꾸어서 근자외선으로부터 근적외선 영역까지 광범위한 가변파장발진을 실온에서 얻을 수 있다. 실용되고 있는 반도체 레이저는 다이오드형이며 그 특색은 다른 레이저에 의하여 현격히 작고, 가벼우며, 고능률이고 여러가지 변조나 제어를 고속으로 처리할 수 있는 점이다. 조작도 간편하며 장치전체의 고체부품화가 가능하고 다량생산이 가능하다(표 1, 2, 3).

3. 생체조직에 대한 레이저 광선의 작용기전

일반적인 광원에서 발생한 광선은 파장도 극히 다양하고 여러방향으로 방사되어. 에너지

Table 1: 실용적인 기체레이저장치의 종류와 특성

종 류	능동물질	주요한 발진파장(㎛)	발진방식	출 력
He-Na	Ne	0.6328, 1.15, 3.39	연속	0.01～100mW
Ar	Ar^+	0.4579, 0.4765, 0.4880, 0.4965, 0.5145(0.43～0.53)의 사이에 약 14개	연속	≤22W (전출력)
	Ar^{2+}	0.3511, 0.3638, 0.5682, 0.6471 (0.33～0.42의 사이에 약 9개)	연속	≤2.5W (전출력)
Kr	Kr^+	0.4792, 0.5309, 0.5682, 0.6471 (0.45～0.87의 사이에 약 23개	연속	≤6W (전출력)
	Kr^{2+}	0.3507, 0.3564 (0.33～0.42의 사이에 약 6개)	연속	≤2W (전출력)
CO_2	CO_2	9.28, 9.6, 10.55, 10.6등 (9.13～9.95, 10.06～11.02의 사이에 50개, 단일 파장으로의 선택발진가능)	연속	≥30W
			연속	고속flow 1W～1kW
			연속	고속flow 1～20kW
			pulse	1J～10kJ
CO	CO	4.8～6.7(약 200개) 5.3	연속	≤20W 50W
HF	HF	2.6～3 2.8	연속	5～150W 10kW
DF	DF	3.6～4 3.8	연속	2～100W 10kW
He-Cd	Cd^+	0.3250 0.4416	연속	≤10mW ≤60mW
He-Se	Se^+	0.45～1.26 (약 46개)	연속	가시성에서 ～5mW
N_2	N_2	0.3371	pulse	200～1mℓ 이 하

손실이 극심하나 레이저광선은 가간섭성이 극히 우수하고 지향성이 뛰어나므로 집광렌즈를 사용하여 광선을 집속하면 초점부위에서 단위면적당 아주 높은 에너지를 얻을 수 있어서 생물체를 순간적으로 기화 소멸 시킬 수가 있다(그림 9).

레이저광은 종류에 따라서 파장이 다르며 파장에 의한 특성은 한마디로 흡수율이 틀리는데 있다. 특히 1m 이하의 가시광선 영역의 레이저는 그 보색에 흡수되기 쉬운 특성을 갖고 있다. 그러나 외과적 메스로 이용하는데는 색조에 상관없이 균등한 흡수가 필요하며 일반적으로 이비인후-두경부외과에서 사용하는 레이저에는 탄산가스 레이저와 Nd-YAG 레이저(접촉형, 비접촉형), 아르곤레이저, KTP레이저 등이 있다. 이러한 레이저는 각기 서로 다른 물리적, 생물학적인 성질이 있다.

Table 2. 실용적인 고체레이저 장치의 종류와 대표적 성능

재 료		Pulse 발 진					연 속 발 진		
		Ruby	Nd : 유리		Nd-YAG		재 료	Ruby	Nd-YAG
		Cr^{3+} : Al_2O_3	Nd^{3+} : 산성유리	Nd^{3+} : 인산성유리	Nd^{3+} : $Y_3Al_5O_{12}$	Cr^{3+} : $BeAl_2O_4$		Cr^{3+} : Al_2O_3	Nd^{3+} : $Y_3Al_5O_{12}$
발진파장		0.6943	1.062	1.056	1.0641, 1.0646	0.700-0.818 (가변)	발진파장 (um)	0.6943	1.058
rod촌법(㎜)		60×120	100×100	100×100	40×50	6.30×78	rod촌법 (㎜)	20×75	50×50
여기광원		Xe flash lamp	Xe 혹은 Kr flash lamp		Xe 혹은 Kr flash lamp	Xe flash lamp	여기광원	수은 arc lamp	Kr arc lamp
반족주파수		-1/60Hz	1Hz	3-30Hz	70Hz	5Hz	동작온도	300K	300K
통상발진	출 력	2J	3J	3J	1J	1J	입 력	3KW	3.6KW
Q스위치 발 진	Peak출력 (pulse폭 : 10-30nses)	수+MW	100MW	100MW	10MW	15MW	출 력	2.4W	105W

Table 3. 파장가변색소 레이저 장비의 주요한 특성

발진방식	발	진 방 식	비 고
연속발진	파장범위	0.362~1,020μ	연속발진기체레이저 여기
	출 력	다중 mode : 1mW~1W(최대 : 12W) 단일 mode : ≤1W	변환요율 : 수~30%
peak 발진	파장범위	0.311~1,285μm	방전관및레이저 여기
	peak 출 력	통상 : 1kW~1MW(에너지 : 1<1J(최대 : 400J)	방전관여기(Xe Lamp)
		통상 : 1kW~1MW(최대 : 100MW)	레이저여기(기체,고체)
	pulse폭	통상 : 수백nsec~수백usec(최대 : ~1msec)	방전관여기
		통상 : ≤30nsec(최소 : 0.03psec)	레이저-여기
	반 복 (고주파)	통상 : 10~30Hz(최대 : 500Hz)	방전관여기
		통상 : 수~100Hz(최대 : 10kHz)	레이저-여기

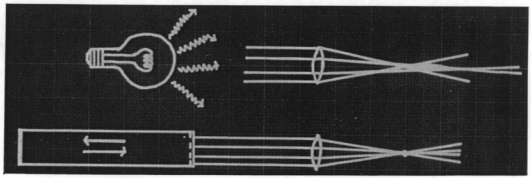


Fig. 9.

(1) 탄산가스 레이저

탄산가스 레이저에 의한 조직절개는 조직내 수분의 순간적인 증발에 의해서 가능하다. 즉 탄산가스 레이저는 조직에 조사되면 색조에 상관없이 거의 완전히 흡수되어 열에너지로 변환된다. 조직의 대부분은 액체성분으로 되어 있으므로 열에너지에 의해서 조직내 수분은 순간적으로 증발하여 조직결손이 생기게 된다.

따라서 레이저 광선을 초점을 맞추어서(focused beam) 메스와 같이 움직이면 조직절개가 가능하고 한곳에 고정하여 조사하면 화산의 분화구 모양의 조직결손이 생기게 된다(그림 11). 또 defocused beam의 상태로 조사하면 단위 면적당 에너지가 감소하여 조직의 응고가 가능하게 된다[12,15]. 레이저 빔을 고정하여 조사하면 조사와 동시에 조직내의 액체성분은 순간적으로 증발하며 그래서 생기는 압력에 의해 상피는 하부조직으로 부터 풍선처럼 불어나 약 25msec후에 파열된다(그림 10-1, 10-2). 파열된 상피의 변연부는 연소탄화되면서 직경을 넓게 하며 분화구로 이행되며 이때에 작은 조직편이 초속 2~3m의 속도로 날려 퍼진다. 이러한 비산조직편은 대부분은 탄화편이며 일부 편평상피도 보이나 이런 세포들은 부분적으로 탄화, 변형, 붕괴된 세포로 조직배양을 하여도 증식되지 않으므로 임상적으로 종양수술시 종양세포의 파종을 염려하지 않아도 된다(그림 12).

육안적 소견으로는 분화구의 내측벽은 다갈색이고 소량의 탄화편이 부착되어 있으며 분화구의 변연은 융기되고 부분적으로 탄화되어 있으며 주위 조직은 정상 점막의 색깔이 아닌 백색으로 보인다.

분화구의 중앙부의 수직 횡단면을 광학 현미경으로 관찰하면(그림 13) 종 모양의 형태로 보이며 가장 내측에는 아주 얇은 탄화층이 있고 다음에 응고 괴사층이며 이어서 정상조직으로 이행된다. 이 응고 괴사층에는 소혈관 및 임파관이 막혀있어서 무혈수술이 가능할 뿐 아니라[10] 종양세포가 퍼지는 것을 예방할 수 있어서 임상적으로 레이저 수술의 큰 장점으로 이용되고 있다. 분화구의 변연부에는 상피는 기저층을 경계로하여 박리 융기되어 있고 그 선단은 탄화되어 있으며 여기서 부터 외측으로 가면서 경미하게 되어 열작용으로 인한 조직내 단백의 열 응고변성에 의한 변화가 정상조직에 이어진다. 이러한 상피층의 변화는 분화구 변연으로 부터 외측으로 약 600μm 내외까지 볼 수 있다.

분화구 주위의 상피 직하부 조직내의 온도 변화를 보면 분화구의 변연에서 가장 가까운 부분(50μm내외)에서는 레이저 조사로 인한 조직내 최고온도는 97℃ 정도이며 변연으로부터 점점 낮아져 약 1.5mm~2mm 떨어진 부분에서는 거의 같게 되어 온도 상승을 거의 알 수 없게 된다.

이상에서 언급한 생물조직에 대한 탄산가스 레이저 조사의 기본적 작용기전을 그림으로 나타낸 것이 그림 14, 15a 이다.

(2) 아르곤 레이저

451.0에서 514.4nm의 주파수를 가진 연속파의 레이저로 청녹광의 가시광선을 낸다. 특히 Hemoglobin이 레이저광을 잘 흡수한다. 전송시스템에 따라 0.15mm까지 접촉면 크기(spot size)를 줄일수 있다. 레이저 조사시 연부조직 초기 반응은 조직이 pallor 해지고, 주위조직의 blanching을 관찰할 수 있게 되며, 상피표면이 상승하게 되고 수포가 형성되게 된다. 좀더 많은 에너지가 폭로되면 수포가 터지게 되고 심부조직에 까지 반응이 이루어지게 된다. 상피상승은 레이저가 상피를 통과하여 상피하층에서 에너지의 확산과 흡수가 일어나 생기게 된다. 일반적으로 탄소화는 심하지 않으며, 대개 선천성 혈관종(congenital hemangioma), 유전성 혈관확장증(hereditary telangiectasia) 등에 사용되며 치유기간은 3주 정도이다.

(3) Nd-YAG 레이저

일반적으로 조직은 Nd-YAG 레이저에 낮은 흡수율을 보여 대부분 표피에서 확산된다. 따라서 초기열작용은 표면확산에의해 발생되며 레이저강도와 작용시간 등에 의해 조직침투

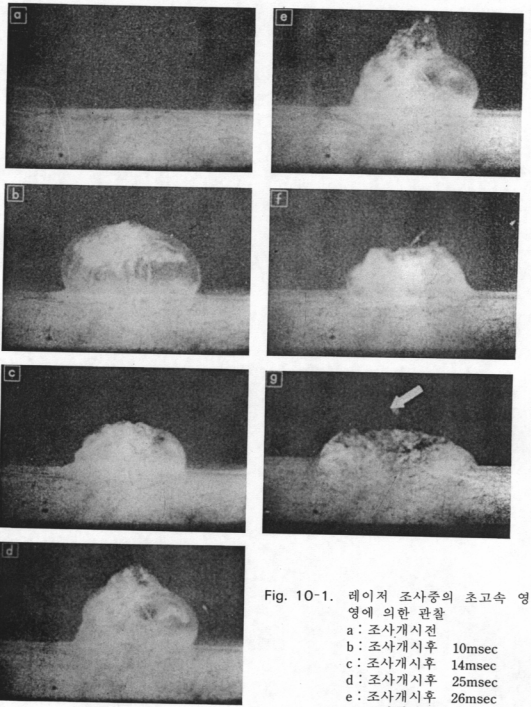


Fig. 10-1. 레이저 조사중의 초고속 영화촬영에 의한 관찰
a : 조사개시전
b : 조사개시후 10msec
c : 조사개시후 14msec
d : 조사개시후 25msec
e : 조사개시후 26msec
g : 조사개시후 200msec
분화구 직상부에 비산조직편이 보임.
(이 사진은 Dr. S. Mihashi의 허락으로 사용하였슴)

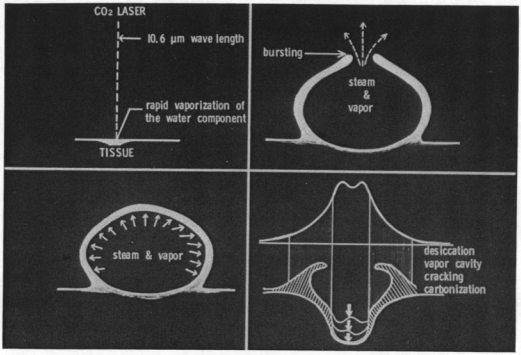


Fig. 10-2. CO_2 레이저의 조직 반응

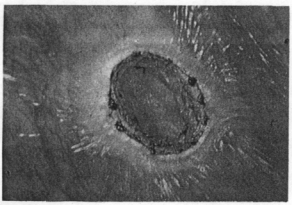


Fig. 11. 구강점막에서의 CO_2 레이저의 급성 반응

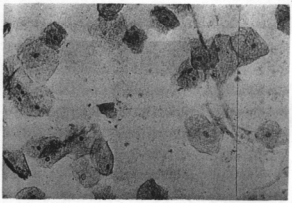


Fig. 12. 레이저조사로 생겨난 비산조직편

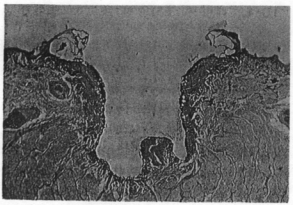


Fig. 13. 분화구의 수직횡단면의 광학현미경적 소견

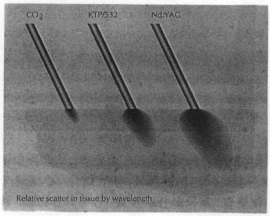


Fig. 16. 각 레이저별 조직 침투 비교

깊이가 달라지게 된다. 지혈효과가 좋으며 대부분 조직치유는 약 6주 정도 소요되는 것으로 보고되고 있다(그림 15b, 16).

4. 두경부외과에서 CO_2 레이저수술

이비인후-두경부 외과에서 실제로 널리 사용하고 있는 것은 CO2, Nd : YAG, KTP레이저의 세종류가 있다. 특정한 외과용 레이저의 임상

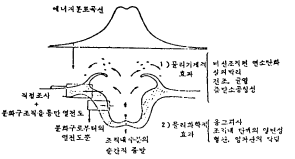


Fig. 14. CO_2 레이저조사의 기본적인 작용기전

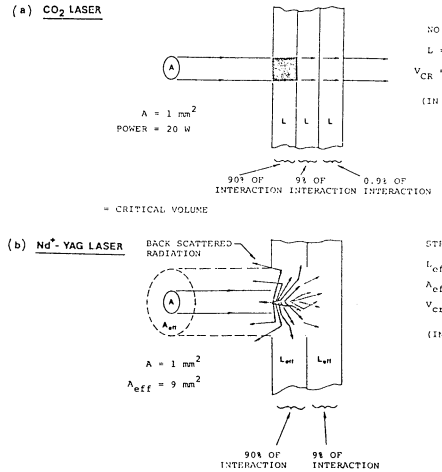


Fig. 15. CO_2 레이저와 Nd : YAG 레이저와의 조직반응의 차이점
This figure is a highly schematized illustration of the profound differences between the interaction with tissues of radiation at ehd wave lengths of the carbon dioxide and of the Nd^+-YAG lasers. The extinction lengths (slab thicknesses) in *a* and *b* are not to scale. L_{eff} in *b* is from 30 to 100 times larger than L in *a*. Scattering of the radiation in *b* increases substantially the effective cross section, A_{eff}, of the laser beam. The critical interaction volumes are typically in the ratio of $3\times10^{-2}mm^3$. to $18mm^3$. or 1 : 600. The nonuniformity of the beam intensity, differences between tissues, the exponential decay of the beam intensity within an extinction length, and the effect of exposure time (i.e., of heat conduction) are all neglected in this simplified interaction picture.

적 응용은 그 레이저의 주파수와 조직에 대한 특수한 흡수성에 의해 정해진다. 그러므로 외과 의사가 특정한 레이저를 선택하여 사용할 때는 주파수를 고려하지 않으면 안된다. CO^2레이저는 구강, 인두, 기관 및 기관지의 병변에, Argon 레이저는 이경화증 및 기타 중이질환에 이용되며 Nd-YAG 레이저는 상악동 종양 등 큰 종과의 제거나 연성 내시경(flexible endoscope)을 이용한 tubed organ의 병변에 주로 이용된다. 여기서는 이비인후-두경부외과에 가장 보편적으로 널리 이용되고 있는 탄산가스 레이저의 임상적 응용에 대하여 기술하고자 한다.

(1) 외과용 CO_2 레이저 장치

일반적으로 레이저 장치는 레이저 발생장치, 발생된 레이저를 임의의 부위까지 보내는 도광로와 manipulator, 레이저광을 집속시키기 위해 집광렌즈를 내장한 handpiece, 수술현미경용 adaptor 등으로 구성되어 있다. 레이저의 외과적 이용방법에는 handpiece를 사용하는 경우, 수술현미경에 부착하여 사용하는 경우 및 레이저 내시경술이 있다.

handpiece를 사용하는 경우는 사용목적에 알맞게 초점거리를 임의로 움직여서 사용한다. 초점면에서 일반적인 외과용 메스와 같이 움직이면 절개가 가능하여 초점을 맞추어서 종물에 조사하면 기화증발에 의해 종물이 제거되며, handpiece를 초점보다 멀리하여 조사하면(defocused) 단위면적당 에너지가 감소하여 조직응고가 가능하게 된다.

수술현미경하에서 레이저 수술을 할 때에는 manipulator를 현미경에 연결하는 adaptor가 필요하며 이것은 현미경과 같은 초점거리를 갖는 집광렌즈와 레이저광의 방향을 미세하게 조정하기 위한 반사판이 내장되어 있으며 Joy stick으로 이 반사판을 움직이므로 레이저광을 목적하는 부위에 조사할 수 있게 된다.

레이저 기관지경에는 특수한 adaptor를 부착하여 레이저조사가 가능하며 마취가스 유입구, 선단조명용 fiber를 갖춘 ventilation bronchoscope에 레이저 조사에 의해서 생기는 연기를 흡수하기 위한 흡입관이 있다. Adaptor에는 ① 기관지경하에 환부관찰을 위한 관찰광학계, ② manipulator로부터 레이저광을 기관지경 선단으로 보내기위한 레이저광 guide광학계, ③ 레이저광을 기관지경내의 임의의 점에 움직이기 위한 scan 기구, ④ 조사점을 명시하기 위한 지표광학계로 이루어져 있다.

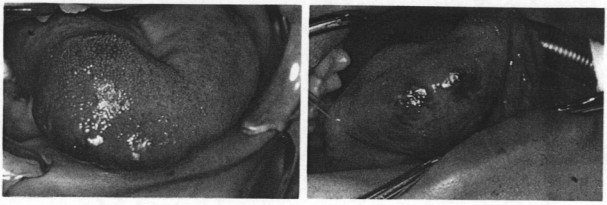
(2) Handpiece를 이용하는 수술방법 (육안적 방법)

handpiece를 사용하여 수술에 응용하는 방법으로서 focused beam을 고정하여 한곳에 조사하면 조직의 spot vaporization이 가능하고 focused beam을 조직의 표면에서 천천히 이동시키면 조직의 절개가 가능하다. 또 defocused beam을 조사하면 육아조직이나, 감염된 조직을 효과적으로 증발시킬 수가 있다.

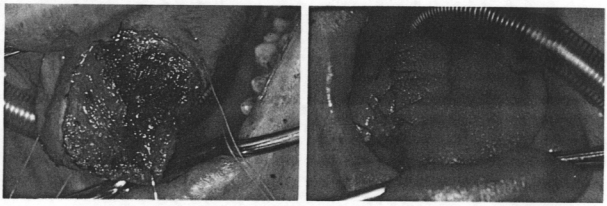
레이저로 조직을 절개할 때는 혈관의 크기에 따라 제한이 있으나(동맥은 0.5㎜까지)무혈 수술이 가능하며 절개된 단면에 위치한 혈관이나 임파관이 막힘으로 종양세포의 전이(dissemination)을 막을 수 있다.

양성종양의 절제시는 종괴의 변연을 따라 lasering하여 excision 할 수도 있고 종양표면에서부터 기화소멸시켜서 전부 증발시킬 수도 있다. 그 예로서 혀에 생긴 양성종양인 경우는 절제 margin을 laser로 marking을 하고 절개면을 감자나 실로 한바늘 떠서 잡아당기면서 excision해낼 수 있다. 대개 출혈이 없이 수술이 가능하며 수술후 절개창을 봉합할 필요 없이 그냥 놓아두면 대개 3주 전 후에 자연 치유가 된다. 이런경우 수술후 통증도 적으므로 당일에 식사도 가능하다. 구강의 혈관종에서도 혀, 구개, 협부 등 어느곳의 병변이든지 거의 같은 방법이 응용되며 종래의 다른 방법보다 거의 완전히 제거 할 수 있고 수술후 기능보존도 훨씬 우수하다(그림 17).

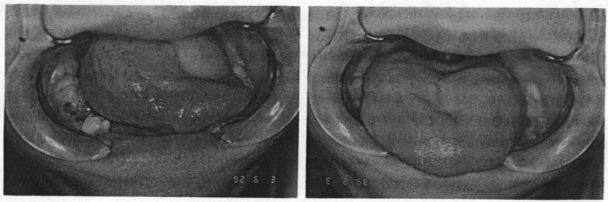
레이저로 악성종양을 절제할 때는 종양의 변연부에서 1.5㎝~2.0㎝ 떨어져서 safety margin을 정하며, lasering하여 mark한 다음 역시



(a)



(b)



(c)

Fig. 17. 설부의 cavernous hemangioma의 Nd : YAG 레이저 절제술
a) 술전 소견
b) 레이저 절제술 소견 및 창상 봉합
c) 술후 35일째 소견

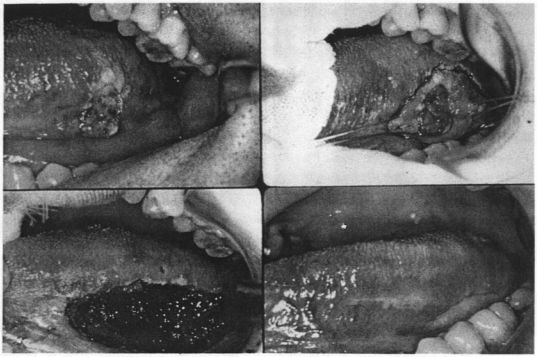


Fig. 18. 설암의 레이저 수술

몇개의 견인사로 종괴를 꿰어서 당기면서, lasering하여 절제해 낸다. 물론 대개는 무혈수술이 가능하지만 큰 혈관에서 출혈하면 재래식의 지혈방법을 병용한다. 설암의 경우 초기암에서 부터 T_2병변까지는 레이저 수술의 좋은 적응이 된다. 이 경우 절제된 종양을 상.하.전.후.좌.우로 표시하여 연속절편을 만들어 병리검색을 시행하여야 한다. 그결과 safty margin이 불충분한 곳이 발견되면 그곳을 다시 lasering 해준다(그림 18). 양성종양과 마찬가지로 악성종양에서도 lasering 한 곳은 봉합하지 않은 채 그냥 2차 치유가 되도록 한다. 대개 4주정도에서 완전히 치유되어 정상적인 혀의 기능을 되찾을 수 있게되는 점이 종래의 혀의 부분절제 혹은 반절제수술에 비해 월등한 장점이다. 설암 이외에도 경, 연구개, 구개수, 편도, 협부, 구강저 및 치육에 생긴 모든 구강암에서 T_2 병변까지는 laser excision의 적응이 될 수 있다. 한편 이때 경부 임파절이 촉지되면 별도로 혹은 동시에 레이저수술 후에 경부곽청술을 실시하여 구강내 병변에는 술후 방사선치료를 시행한다. 진행된 구강암의 경우에는 우선 항암제를 사용하던가 항암제와 방사선치료를 병행하여 국소병변의 remission을 기한후 아직 남아 있는 병변을 laser excision하기도 한다. 이런 경우는 종괴의 크기를 작게 함으로써 chemoradiotherapeutic effect를 훨씬 높일 수 있다.

Handpiece를 이용한 육안적 laser수술은 기술한 바와 같은 여러가지 장점이 있으나 다음과 같은 단점 혹은 제한을 받고 있다. 첫째로는 지혈의 한계점이다. 동맥은 0.5㎜, 정맥은 1.0㎜까지는 지혈이 되어 무혈수술이 가능하나 이보다 더 큰 혈관의 절단시에는 종래의 고식적 지혈방법을 사용하여야 한다. 둘째로는 조직의 절개시간이 재래식 메스에 비하여 훨씬 더 많이 걸리고 큰종물의 기화소멸에도 시간이 걸리는 단점이 있다. 세째는 handpiece의 유연성에 제한이 있어서 구강내와 같은 특정 부위의 수술에 불편한 점이 있다는 점이다. 이상은 handpiece를 이용한 laser 수술의 단점일 뿐 아니라 앞으로 laser공학이 해결해야 할 과제

라고 생각된다.

(3) 현미경을 이용한 laser 수술

주로 후두 미세수술에 이용되고 있다. 성대는 중요한 기도의 입구부일 뿐 아니라 발성기관이므로 후두 수술은 반드시 현미경하에서 섬세하게 조작하여 최대한 조직손실을 작게해야 음성을 보존할 수 있다.

개의 성대를 이용하여 한쪽은 laser로, 반대쪽은 종래의 메스로 성대점막을 절제한 후 치유과정을 조사 한 바에 의하면 lasering한 쪽이 메스로 절제 한쪽에 비해 점막절제 직후나 치유과정 및 치유된 후에도 평활한 표면을 유지하고 있었고, 조직학적으로도 염증이나 과잉육아조직형성 및 반흔형성이 훨씬 적었다. 단지 치유과정이 3주로 메스보다 약 1주일 늦게 치유되었다(표 4). 이러한 실험으로 미루어 보아도 성대수술에는 종래의 방법에 비하여 월등한 장점을 갖고 있다 하겠다. 후두의 수술에도 lasering하는 방법은 focused beam으로 spot vaporization하던가, defocuse시켜서 증발시키기도 하고 또 liner vaporization으로 절개를 하기도 한다.

후두의 양성종물인 후두 폴립, 후두의 육아종, 후두결절 등에도 이용되나 후두유두종의 수술에는 절대적인 적응이 된다. 후두격막증, 성문하 후두협착, 후두혈관종 등에도 laser수술은 절대적 적응이 되며 이런경우에 수술시 병변의 부위가 작은 경우는 괜찮으나 성대의 전연합에서부터 양측성대의 전 1/3이상에 걸친 병변을 lasering한 경우는 치유과정에서 후두격막의 재발이 빈번하므로 양측성대사이에 약 4주 내지 8주간 stent를 설치하여 유착을 방지해야 한다. 표 5는 1984년 부터 1985년에 걸쳐서 경희의료원 이비인후과에서 이미 기술한 방법으로 치유한 후두협착증의 증례이다.

성대의 laser 수술에는 적응증에 따라서 vaporization의 정도(깊이)를 조절할 수 있어서 점막까지, 점막하까지 혹은 성대근육까지 증발시킬 수가 있다. 후두암의 전단계인 성대백반증의 경우는 성대점막 혹은 점막하까지 focused 혹은 defocused beam으로 vaporization 시킴으로 수술 3~4주 후에는 점막이 재생되어 정상음성을 유지할 수 있다. 후두암의 경우는 T_{is} 혹은 초기 T_1병변까지는 laser 단독 혹은 laser 수술후 방사선치료를 함으로서 다른 치료방법과 동등한 치료효과를 거둘 수 있다. 한쪽 성대에만 국한된 성대암(T_{1a})의 경우는 성대근육까지 포함하여 충분히 내시경적으로 절제가능함으로 외부절개를 가하지 않고 수술이 가능한 장점이 있을 뿐 아니라 수술창이 치유된 후에도 거의 정상적인 발성기능을 유지할수 있다. 이상 언급한 바와 같이 레이저를 이용한 내시경적인 후두미세수술은 수술조작시 기구를 병변 부위에 접촉시키지 않으므로 수술시야가 좋고 정확하고 섬세한 종양의 절제가 가능하고 수술시 출혈이 적고 치유과정에서도 반흔조직을 적게 남기는 등 장점이 많으므로 후두의 기능을 보존하는 수술에는 아주 적격이라 할 수 있겠다.

(4) 임상적 적용

적 응 증

1) 이과분야

Table 4. Differences in Postsurgical State between a Cold knife and Laser.

	Laser	Cold knife
1. coagulation necrosis	present	absent
2. inflammatory reaction	not marked	frequently marked
3. epithelization	3 wk	2 wk
4. excessive granulation	none	frequent
5. scar formation	minimum	occasionally marked

Table 5. 6 Cases of laryngotracheal stenosis

Case	Sex	Age	Stenosis	Etiology
1	F	32	Ant. glottic	Laryngeal
2	F	29	T.V.C paramedian fixation due to interarytenoid scar	Laryngeal Tbc.
3	M	41	Supraglottic stenosis	High tracheostomy
4	M	34	Supralottic, glottic, subglottic stenosis	Laryngeal Tbc.
5	M	24	Ant. & post. glottic web	Unkonwn
6	M	24	Subglottic circumferential web	Laryngeal trauma

KMC(1984.9~1985.3)

등골 절제술, 청신경종양, 전정신경 절제술, 고실 성형술

2) 비과분야

비후성 비염, 알러지성 비염, 혈관운동성 비염, 비출혈, 후비공폐쇄증, 내시경적 부비동 수술

3) 구강, 인두분야

췌양성병변, 유두종, 백반증, 낭종, 혈관종, 편도 및 아데노이드 적출술, 구개인두 성형술

4) 후두 기관질환

후두폴립, 결절, 낭종, 육아종, 유두종, 후두격막, 후두 및 기관협착증, 피열 연골 절제술

5) 두경부 악성종양

① laser 단독요법 : 구강, 인두, 후두암 중 T_{is}나 초기 T_1의 경우는 laser 단독치료만으로도 다른 치료방법에 비해 성적이 뒤떨어지지 않는다.

② 병합요법 : 다른 치료방법들과 합병요법으로 레이저를 사용하는 경우인데 이 경우 레이저의 목적은 큰 종물을 기화 소멸하여 크기를 작게하므로 chemoradiotherapeutic effect를 증가시킬 수 있으며 또 상악암의 경우처럼 laser necrotomy를 시행하는 것이다. 병합요법의 적응은 비강, 부비동, 비인강, 구강, 인두, 하인두 등의 악성 종양 중에서 advanced T_1, 대부분의 T_2와 T_3 병변에 적용할 수 있다.

③ 보존적 치료법

㉠ 종양으로 기도가 막힌 경우, ㉡ 구강, 인두, 하인두의 종물로 음식물 섭취가 안될 때 종양의 일부를 제거하거나, ㉢ 악성종양으로 악취가 나거나 외관상 보기 흉한 경우에 종양의 vaporization을 실시한다.

(5) 레이저수술의 장단점

레이저수술의 장점

1. 출력과 조사시간을 조절하여 원하는 병변부위를 극히 정확하게 제거함으로 기능보전이 필요한 미세수술에 유리하다.

2. 절제부위에 직접 기구를 접촉시키지 않고 수술시야를 방해하지 않으며 수술이 가능하므로 tubed organ의 병변제거에 유리하다.

3. 혈관의 크기에 제한이 있으나 동맥 0.5㎜, 정맥 1.0㎜까지는 무혈수술이 가능하다.

4. 혈관, 임파관이 막힘으로 무혈수술이 가능하고 종양절제시 safety margin 확보에 유리하다.

5. 수술후 국소염증반응이 극히 경미하다.

6. 2차치유의 경우 과잉육아형성이 적고 반흔형성이 극히 적다.

7. 거대한 종양의 경우 laser 감량조작에 의해 절제범위를 축소시켜 기능보존이 가능하다.

레이저수술의 단점

1. 재래식 절개방법에 비해 절개속도가 느리다.

2. 조직의 증발시 연기가 발생하므로 흡입, 배기시켜야 한다.

3. manipulator의 유연성에 한계가 있다.

4. 큰 종물의 vaporization에는 시간이 걸린다.

5. 기계가 비싸다.

5. 레이저의 안전관리

레이저 수술시 주의할 점들은 수술중 잘못 조사하여 병변부위 이외의 불필요한 곳에 조사하거나, 지혈감자나 수술기구등 금속성기구에 조사하여 반사광에 의한 각막장애 등이 생길 수 있으므로 아주 조심하지 않으면 안된다. 탄산가스레이저는 수분에 거의 흡수되므로 꺼즈를 물에 적시어서 수술시야 이외의 곳을 덮어주고, 레이저수술실을 출입하는 사람은 누구나 보호안경이거나 그냥 안경(유리 혹은 프라스틱 안경)을 착용하도록 한다. 또 수술자는 handpiece를 절대로 수술시야 이외의 곳을 향하게 하여서는 안되고 수술이 끝나면 즉시 레이저장치의 작동을 중단시켜야 한다. 레이저장치가 있는 수술실에는 문에 반드시 레이저표지를 부착시켜 주의를 환기시켜야 한다.

조직을 기화시킬 때에 연기가 발생하므로 수술시야를 방해할 뿐아니라 수술실내의 공기를 오염시키고 나쁜냄새가 나므로 충분한 배기장치나 시설을 해야한다.

전신마취를 할 경우에는 비인화성 마취제를 사용하고 경구기관 삽관을 할 경우에는 마취 tube를 aluminum foil로 싸든지, 비인화성 금속튜브를 사용하여야 한다. 그리고 수술기구도 무광택기구를 사용하여 레이저 광의 난반사를 방지하여야 한다.

일반적 레이저 안전관리

레이저 안전대책은 레이저광의 방어 뿐만아니고 장치의 전기, 가스, 냉각, 동력원 등이 안전대책과 더불어 레이저 광과 조사 대상물과의 반응생성물의 발생제어 및 제거를 포함한 환경오염 대책에도 주의해야 할 필요가 있다.

레이저 안전대책은 크게 구역관리와 인원관리로 구분할 수 있다.

구역관리의 요점은 다음과 같다.

① 레이저 의료, 연구전용의 관리구역의 설정 : 레이저 실험실, 레이저치료실, 레이저수술실, 레이저검사실등.

② 레이저 장치의 차폐, 밀폐와 원격조작화

③ 관리구역 출입자의 제한, 지정, 허가제도화

④ Fail-Safe기구 : panic botten, interlock, 자동발진 정지 장치 등

⑤ 위험표시, 경보장치(부저, 사이렌, 램프), 불가시 레이저광의 위치지시 장치(가시가이드광)

⑥ 레이저 시설의 안전설계 : 레이저방어창, 저반사 비연소성벽과 바닥 및 기자재보관소, 화학약품, 냉각제, 전원등의 격리, 밝은 조명, 양호한 환기, 공기조절설비의 완비

⑦ 레이저 의료기기의 안전화 : 비광택성 수술등과 수술기기, 불연성 마취튜브

⑧ 레이저가 설치된 방의 정리, 정돈, 금연

⑨ 비폭발성, 비인화성 약제(특히 마취제)의 사용

인원관리는 레이저의료 종사자 즉 의사, 간호원, 기술자 및 환자를 대상으로 한다.

① 레이저 안전교육 훈련 : 관리자, 책임자의 지정

② 레이저 방어구의 착용 : 전용보호안경, 방어복, 장갑, 마스크, 보호크림의 사용.

③ 취업시의 buddy system(복수인원으로 작업)

④ 광택성, 반사성 장신구의 제거

⑤ 명령계통의 체계화 및 명령복종, 엄수

⑥ 레이저 안전관, 레이저 취급면허, 레이저 안전관리교육의 제도화

⑦ 레이저 장해에 대한 의료감시(medical surveillance) : 건강진단(안과, 피부과, 내과), 재해의 치료와 추적, 사고등록, 역학적조사, 재해인정, 장해보장 등

기초의학, 생물학에 있어서 레이저의 안전이용

연구용 레이저 기기는 외과수술에 사용하는 레이저 장치에 비해서 출력이 작고 class II, III의 위험도의 것이 많으나 TV카메라에 의한 원격 조작식 또는 완전 밀폐식의 class V레이저 이외의 것에 대해서 일반 방어대책을 태만히 해서는 안된다. 전용 연구실을 격리 설치하

는 것이 바람직하다.

microbeam의 광축조정, 표적에서 작은 반사에 대한 방어안경, 현미경 filter 등이 필요하다. 특히 가시광 영역의 광은 망막입사시 수만배로 증강되므로 mw이하의 출력에서도 안경을 착용해야 한다. 현미경이나 확대경으로 관찰하면 눈에 입사하는 광량이 확대율의 제곱(2승)에 비례하여 증대하므로 주의를 요하며 filter, 연동 lock 등으로 광량을 조절, 차단해야 한다.

Pulse레이저를 미생물이나 종양에 조사하면 연소가스로 인해 대기오염 뿐 아니라 병원체나 종양의 산 세포가 공중에 밧다하는 일이 있을 수 있으므로 마스크 착용, 흡입 및 배기 등 환기장치, 원격조작 등의 방어대책이 필요하게 된다.

Raman Spectrum 분석에서는 용매에 의한 대기오염, 레이저 발광 분광 분석에서는 시료의 기화, 분진화에 의한 오염에 대한 환기와 청소, 레이저 산란광에 대한 눈과 피부를 방어한다.

대기오염의 관측을 위해 야외에서 레이저를 발진할때는 대기, Smoke, 수증기 등에 의한 (Miel산란, Rayleigh 산란)과 수면, 건조물로 인한 반사에 유의하고 가축, 항공기, 차량, 가스탱크, 사람이 없는가를 확인해야 한다. 관측에 망원경 등을 사용할 때에는 입사광량이 배율의 제곱에 비례해서 망막손상이 오는 것을 염두에 두어야 한다.

임상진단용, 임상치료용의 의용레이저와 안전관리

① 임상검사실의 혈액학, 생화학, 혈청학 분야의 레이저기기로 상품화된 것은 class II, III의 출력레벨이며 계측장치를 포함하여 밀폐되어 있는 class V의 장치가 많다. 세균검사실, 병리검사실에서 사용하는 레이저 현미경에도 filter, 안경의 사용, TV에 의한 관찰 등 이미 언급한 주의가 필요하다.

레이저 투과조명으로 연부조직이나 수족의 병변 검사에 사용되는 He-Ne, Kr, Ruby 레이저 등은 비교적 저출력, 저 power밀도이나 관찰할 때는 직시하지 말고 사진이나 film을 이용해야 한다.

② 임상 치료용 기기인 온열 치료(육아조직이나 창상)나 침구술에 사용되는 저출력레이저는 치료 부위에 광을 밀폐시키고 국소화하여 사용한다. 자외선 살균기에 대해서는 구역관리와 인원관리 특히 방어용 안경과, 피부보호를 위한 까운이나 크림도포가 필요하며 파장역에 따라서 발암성에 관해서 경계하여야 한다.

③ 안과 치료용의 레이저 광응고 장치는 의용 레이저기기의 대표이며 보급이 가장 일반화 되어 있다. Ruby 레이저가 많으며 주로 망막박리, 당뇨병성 망막증, 중심성 망막염 등의 치료에 사용하는 외에도 녹내장에 대한 홍채절개술, 우각절개술 등에도 사용되고 있다. 술자에 대한 장해는 기기설계가 방어대책에 맞도록 되어 있으나 환자의 각막, 수정체를 의도적으로 혹은 오조사 하는 일은 별로 없으나 홍채, 우각, 망막 등의 광응고로 가시광선에 의해서도 열이 발생하여 전도하므로 각막, 수정체에 혼탁이 생긴다는 보고가 있으므로 주의를 요한다.

④ 레이저 진단으로 흥미있는 것은 레이저 형광 내시경 검사법에 의한 체강내의 암진단이다. 광원으로 0.5w 이상의 Argon 레이저를 직접 사용하는 것은 위험도 class IV의 안전대책이 필요하다. 내시경 fiber 선단의 광은 coherency가 저하되어 있다고는 하지만 power밀도가 높으므로 나안으로 응시해서는 안된다.

Argon 또는 Kr 레이저를 1차 레이저로 하고 유기형광색소를 2차로 하는 "파장가변 색소레이저"를 광원으로 할 경우는 최대출력이 1w전후라고 하지만 class IV의 안전대책이 필요하다.

고출력 레이저에 의한 치료와 안전대책

고출력 치료용 레이저는 피부과, 성형외과 등에서 피부종양, 모반 등의 소작치료에 쓰는 Ar, Ruby레이저, 외과용 수술메스로 쓰는 CO_2,

Nd-YAG레이저, 레이저 내시경으로 광응고 치료에 사용하는 Ar, Nd-YAG 레이저 등이 대표적이며 다른 목적으로 사용하는 의용레이저에 비해 100~1000배의 고출력이며 ANSI-A 136.1의 class Ⅳ의 레이저 방어기준(방어대책과 의료감시가 필요)에 의한 엄격한 안전관리가 필요하다.

고출력 레이저에 의한 치료는 반드시 레이저 관리구역, 레이저 방어시설이 준비된 전용 수술실에서 레이저 안전교육 및 훈련을 받은 의사와 간호원, 레이저 기사의 협력하에 시행해야 한다. 특히 의과의사는 일반 수술실기를 충분히 숙지한 후에 레이저 수술을 해야한다.

레이저 수술실이나 치료실의 천정, 벽, 바닥은 물론이고 수술기구, 캬비넷, 수술대, 마취기 등도 모두 비반사성, 비연소성이어야 한다. 흑색 처리된 기기의 레이저광(CO_2, Nd-YAG, Ar) 반사율은 약 1/10 정도 감소된다고 한다. 실내 조명을 밝게하여 동공을 축소시켜 망막손상방지를 도모해야 한다. 실내는 충분한 환기장치를 해야한다. 수술 시야에서 생기는 연기는 레이저 효과를 감소시킬 뿐 아니라 악취를 동반하는 인체 연소 산물이나 병원체 혹은 발암물질을 포함할 가능성이 있으므로 속히 흡인, 배기하는 것이 필요하다.

수술실에는 방어용 안경, 수술복, 마스크의 착용없이 들어오는 것을 금하고 레이저 발진중이란 것을 램프나 부저로 경고하여 불필요한 출입을 삼가하게 한다.

구강이나 후인두, 기관 혹은 식도 등의 레이저 수술시는 연기의 흡인을 빨리, 충분히 하여 국소 마취인 경우 환자의 오심, 구토 및 기침 등을 억제시켜 오조사를 예방하며, 또 레이저광의 산란 및 폐등으로 레이저효과가 격감함을 방지한다. 또 마취 튜부도 알류미늄호일로 감거나 내열, 내연성의 laser resistant tube를 사용해야 한다. 수술시야도 혈액 및 체액등을 제거하여 레이저 효과도 높히고 조직 표면으로부터의 반사 및 산란도 줄일 수 있다. 방어용 안경의 착용은 CO_2 레이저에는 보통의 유리 또는 프라스틱 렌즈의 무색안경도 괜찮으며 측판이 부착된 적외선 작업용의 안경을 이용해도 좋다. Ruby 레이저에 대해서는 Schott BG 18형유리 filter가 들어간 방어안경을, Ar 레이저에는 plexiglass 2422형 filter, Nd-YAG레이저는 Schott BG 18보다 KG_3 filter가 들어간 방어용 안경이 적합하다.

6. 레이저창상의 치료

레이저 열상의 치료와 레이저 소작창의 치료는 일반적인 열상(전기충격상, 화상)의 치료에 준한다. Ruby 레이저에 의한 문신, 모반의 소작후 1~2일간 연고를 바르는 것으로 충분하다. Nd-YAG, CO_2레이저에 의한 피부종양의 소작창은 3~4도의 열상으로 2주이상 치료가 필요하다. CO_2 레이저 절개창은 전기메스에 의한 것에 준해서 처치한다. CO_2 레이저에 의한 1~2도 열상의 치료는 아주 빠르나 Nd-YAG레이저 열상은 잘 낫지 않는다.

7. 레이저의학의 미래

레이저의학은 진단 및 치료분야에서 다양하게 응용되고 있으며 특히 암, 심장병 및 뇌혈관장애 등에 계속 연구가 진행될 것이다. 레이저의학기술의 발달을 위해서는 하드웨어 및 소프트웨어의 개발이 절대로 필요하며 현재 의료용레이저장치의 개발목표는 ① 휴대용(출력 20W), 초소형 CO_2레이저 ② 광 fiber에 의한 CO_2, Nd-YAG, Ar 레이저를 조합장치한 수술실설계 ③ 암치료용 자외선 레이저메스 ④ 의료용 색소레이저 ⑤ 의료용 엑시마(Ex) 레이저 ⑥ 고감도, 소형레이저 발광분광분석 장치 ⑦ 의료용초음파 홀로그라피 장치 ⑧ 레이저 산란오탁도측정장치 ⑨ 휴대용의 간편한 레이저 도플러장치 ⑩ 레이저 형광 암진단장치 등을 꼽을 수 있다.

이와같은 하드웨어의 개발을 실현하기 위하여는 레이저공학과 의학이 협력하는 의용레이

저공학분야가 중요하게 되며 그 기술개발 목표로서는 ① 자외선에서 적외선까지 영역의 광에서 임의의 파장을 가변으로 고출력을 발진할 수 있는 의용 소형레이저 장치의 개발 ② 자외선에서 적외선까지 영역의 광을 전달할 수 있는 flexible 하고 무독성인 의용 광fiber의 개발 ③ 생체조직의 병변, 크기, 심도 등에 따라서 레이저광의 파장, 에너지밀도, 발진모드 등을 감지하여 설정하고 feed-back에 의하여 레이저조사를 조정하는 자동제어형 치료장치 등이 개발되도록 발전해 나갈 것이다. 만일 이러한 레이저기술이 개발되면 다음과 같은 종래에는 불가능하였던 진단이나 치료가 가능하게 되는 시기가 올 것으로 예상된다.

즉 1) 비침습, 무혈수술의 실현, 2) 초 microsurgery에 의한 세포내 수술, 3) 암의 선택적 치료, 4) 레이저 광화학 작용에 의한 암임파선 곽청, 5) 레이저 분광이나 형광에 의한 암의 진단, 6) 모노클로날 항체와 자동세포식별에 의한 암의 진단, 7) 면역거부반응의 예지, 8) 파장가변 레이저에 의한 세포내 대사의 해명, 9) 레이저의 미약한 발광에 의한 생체내 자동산화난 효소과정의 해명, 10) 초음파, X-선 홀로그라피에 의한 생체 장기의 온라인 3차원 영상화, 11) X-선 레이저에 의한 유전자 공학, 12) 광 fiber레이저 통신에 따른 의료정보나 화상의 전송, 13) 고밀도, 고속, 의료데이터뱅크의 실현 등이 가능하게 될 것으로 생각된다.

References

1. 안희영 외 : CO_2 레이저를 이용한 후두 및 기관협착증 치료. 한이인지 28 : 566, 1985
2. 안희영 · 정무권 · 박경준 ·등 : 레이저를 이용한 구강내 혈관종의 치료. 한이인지 30 : 250~255, 1987
3. 안희영 : 이비인후과 영역의 CO_2 레이저 수술. 서울 심포지움 2 : 233~243, 1987
4. 안희영 : 레이저 수술. 최신의학 Vol 30, No 6~7(Series), 1987
5. AnSI : In american national standard for the safe use of lasers. ANSI, Z-136.1, 1973, N.Y.
6. Conti A : Laser radiation of posterior labyrinth. Arch Otolaryngol 105 : 78 : 546~550, 1967
7. George TS, Thomas GP : History of the carbon dioxide laser in otolaryngologic surgery. Otol Clin of North Am Vol 16, No 4 : 739~752, 1983
8. Jako GJ : Laser surgery of the vocal cords. laryngoscope 82 : 2204~2216, 1972
9. Jako GJ, Mihashi S, Strong Ms et al : Laser surgery in otolaryngology : interaction of the CO_2 laser and soft tissue. Ann NY Acad Sci 267 : 263~293, 1976
10. Hall RR : The healing of tissues incised by carbon dioxide laser. Br J Surg, 58 : 222~225, 1971
11. Maiman TH : Stimulated optical radiation in rubby. Nature, 187 : 493~494, 1960
12. Mihshi S, Jako GJ, Ineze J, Strong MS, Vaughan CW : Laser surgery in otolaryngology : interaction of the CO_2 laser in soft tissue. Ann NY Acad Sci, 267 : 263~293, 1976
13. Snitzer E : Optical laser action of Nd in Ba crown glass. Phys,-REv Letter, 7 : 444, 1961
14. Stahle J : Laser and labyrinth. Acta Otolaryngol 85 : 367~370, 1965
15. Stern LS, Abramson AL, Grimes GW : Quantitative and morphometric evaluation of vocal cord lesions produced by the carbon dioxide laser. Laryngoscope, 90 : 792~808, 1980
16. Strong MS, Jako GJ : Lasersurgery in larynx : Early clinical experiance with continuous CO_2 laser. Ann Otol 81 : 791~798, 1972

17. Thomas GP : Laser physics. Otol. Clin. of North Am. Vol 16, No 4 : 753~774, 1983
18. Thomas MG, Strong MS : Surgical lasers and soft tissue interaction. Otol Clin of North Am Vol 16, No 4 : 775~784, 1983
19. Wallace RA, Pejchar J : Endoscopic surgical laser system. U.S. Patent3 : 906~912, 1975
20. Yahr WZ, Strully KJ : Blood vessel anastomosis by laser and other biomedicalapplication. J Assoc Adr Med Instr, 1 : 28~31, 1966