

## 레이저의 이해와 그 의학적 응용에 관한 고찰

김현수, 김귀언, 추성실  
연세대학교 의과대학 방사선 종양학과

### 초 록

레이저를 의료에 응용하는데 있어서 그 근본원리는 일반적인 레이저 응용기술과 차이가 없다고 할 수 있으나 응용대상이 인체라는 점에서 특수한 연구분야라 할 수 있다. 레이저를 의료에 응용하는 경우 종래의 의료기술과는 근본원리에 있어서 다른 경우가 보통이므로 새로운 의학기술로서의 연구개발이 수행되어야 할 것이다. 본 논문은 레이저 기초 물리학을 비롯하여 레이저광과 생체조직의 상호작용, 치료 및 진단기술, 의료용 레이저와 광파이버 기술, 레이저 안전등에 관해 기술하고 있으며 레이저의 의학에의 전망에 대해 논의하고 있다.

### 1. 서 론

레이저라는 새로운 광원이 출현하면서 이를 의료에 응용하고자하는 시도가 일찍부터 시작되었다. 1961년 Compell은 Ruby 레이저를 사용한 안과용 응고기(coagulator)를 제안하여 세계의 큰 주목을 받았다. 그 후 1970년대에 들어와서 레이저 수술기가 등장하면서 레이저의 의료 실용화 시대가 시작되었다고 할 수 있으며, 우리나라에서도 70년대 후반부터 레이저 수술장비가 도입되어 현재 각급 병원에서 레이저 수술장비를 비롯하여 여러가지 레이저 의료기기들이 다수 운용되고 있고 그 수요도 급격히 늘어날 것으로 전망된다.<sup>(1,2)</sup>

레이저빔이 생체조직에 입사되면 보통은 낮은 출력에서는 세포의 파괴없이 특정한 화학적 반응과 신진대사 반응을 일으키고 높은 출력에서는 조직의 온도를 높여 열 파괴작용이 발생한다<sup>(3,4)</sup>. 또한 극히 높은 출력에서는 열 파괴작용이 발생하기 전에 분자 그대로 조직을 순식간에 파괴시킨다<sup>(5)</sup>.

레이저의 의료분야 응용은 크게 수술을 포함한 치료적 응용과 진단적 응용으로 나누며 치료적 응용은 주로 레이저의 집속성과 고휘도성에 의거한 열적 이용과, 특정 파장의 빛을 사용 조직 내 화학적 변화를 일으키는 광화학적 이용이 있고, 진단적 이용은 레이저의 가간섭성(coherent) 특성을 이용하여 생체 또는 검체의 검사를 행하는 계측적 이용이 있다.<sup>(6,7)</sup>

임상에서 수술용으로 널리 이용되는 레이저로  $\text{CO}_2$ ( $\lambda=10600$  nm), Argon( $\lambda=488, 514$  nm), Nd : YAG( $\lambda=1060$  nm)레이저를 들 수 있다.  $\text{CO}_2$ 의 조직 내 침투 깊이는 0.02mm, Argon이 0.5mm, Nd : YAG( $\lambda=1060$  nm)레이저가 5mm로  $\text{CO}_2$ 레이저의 경우 조직 표면에서 흡수가 용이하므로 정밀한 절개(cutting)와 기화(vaporization)등에 널리 이용되나 혈액의 응고에는 부적합하다<sup>(8)</sup>. Argon 레이저는 혈관과 색소를 포함한 조직의 광응고에 유용하며

또한 파장이 짧기 때문에 조사부위를 작게 할 수 있어 미세수술(microsurgery)에 널리 이용되고 있다<sup>(9)</sup>. Nd : YAG 레이저는 이들 레이저와 상호 보완적으로 쓰이며 제 2고조파( $\lambda=532 \text{ nm}$ )로 변조되어 높은 첨두출력을 갖는 펄스레이저로 변조되어 결석 제거 등에 활용되고 있다.<sup>(10)</sup>

레이저를 의료에 응용하는데 있어서 그 근본원리는 일반적인 레이저 응용기술과 차이가 없다고 할 수 있으나 그 응용대상이 인체라는 점에서 특수한 연구분야라 할 수 있다. 레이저를 의료에 응용하는 경우 종래의 의료기술과는 그 근본원리에 있어서 다른 경우가 보통이므로 새로운 의학기술로서의 연구개발이 수행되어야 할 것이다. 본 논문은 레이저 기초 물리학을 비롯하여 레이저광과 생체조직의 상호작용, 치료 및 진단기술, 의료용 레이저와 광파이버 기술, 레이저 안전등에 관하여 기술 하고 있으며 레이저 의학의 전망에 대해 논의하고 있다.

## 2. 레이저 기초

레이저라는 새로운 광원으로부터 얻은 빛과 종래의 보통 광원에서는 얻는 빛과는 그 생성과정이 다르기 때문에 물리적 특성에 큰 차이가 생기게 된다. 레이저에서 얻은 빛은 유도방출에 의해서 생기는 데 반하여 보통광원에서 나오는 빛은 자연방출에 의해서 생기게 된다<sup>(11)</sup>

자연방출의 경우 독립된 원자나 분자들이 각기 서로 연관 없이 제멋대로 빛을 방출하기 때문에 빛은 모든 방향으로 방출되는 데 반하여, 유도방출인 경우 들어오는 전자파의 영향하에 빛을 방출하기 때문에 들어오는 빛과 같은 방향을 갖는 빛이 생성되게 된다. 이렇게 유도방출에 의해서 생성되는 빛은 방출되는 방향 뿐 아니라 파장, 편광, 위상등 물리적 성질이 똑같은 빛을 방출하게 된다. 쉽게 표현하여 자연방출에서 얻은 빛들은 서로 일정한 관계를 유지하는 정돈된 빛이라 할 수 있다. 이러한 레이저광의 물리적 특성 때문에 레이저광은 종래의 광원과는 다른 우수한 특성을 지니고 있다.

### (1) 단색성(monochromaticity)

레이저는 두 개의 에너지 준위차, 즉 여기 에너지와 기저 에너지 차에 해당하는 파장의 광파만이 증폭되기 때문에 단색성이 극히 뛰어나다. 따라서 일반적인 광원으로는 불가능했던 간섭, 편광 실험이 가능해 극히 정확도가 요구되는 다양한 기초의학의 실험이 가능하게 되었다<sup>(12)</sup>

### (2) 지향성(directionality)

광파가 공진기 내를 왕복할 때, 축방향으로 진행하는 광만이 유도방출에 의해 증폭되기 때문에 방향성이 극히 뛰어난 광속이 얻어진다. 그러나 레이저의 지향성은 빛이 파동이기 때문에 갖고 있는 회절현상에 의하여 한정되게 된다. 회절에 의한 발산각  $\theta$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta \sim \lambda / D \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 파장이고,  $D$ 는 레이저빔의 구경이다. 표 1은 주요한 의용 레이저의빔 발산각도이다.

표 1. 레이저 빔의 발산각

Laser :	He-Ne	Ar <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	Ruby	Nd : YAG	Nd : Glass	sGaAs
Beam divergence(mrad)	0.2-1	0.5-1	1-10	1-10	2-20	0.5-10	20-200

### (3) 고위도와 높은 Power 밀도

주어진 전자파의 휘도의 단위 표면적당, 단의 입체각이 극히 작아 휘도가 대단히 크다. 따라서 아주 작은 면적에 광을 집중할 수 있어 생체조직의 절개나 절단등에 용이하다. 태양의 휘도가 1300W/cm<sup>2</sup>-sr 인데 비하여 흔히 사용되는 mW급 He-Ne 레이저의 경우 그 값이 10<sup>6</sup>W/cm<sup>2</sup>-sr 이고, Q-switch된 Ruby레이저의 경우 10<sup>12</sup>W/cm<sup>2</sup>cm-sr 이란 큰 값을 갖게 되는 것이다. 레이저 광속을 이용하여 집중시키면, 그 초점에 높은 출력을 집중시킬 수 있다. gaussian 광속의 경우spotsize,  $d$ 는 이론적으로 대략 다음과 같이 주어지게 된다.

$$d = f \cdot \lambda / D \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 집중렌즈의 초점거리이고,  $\lambda$ 는 파장이고,  $D$ 는 레이저빔의 구경이다.

### (4) 가간섭성(coherence)

가간섭성이란 파동이 갖고 있는 파동적 성질의 질서도를 표현하는 개념으로서 레이저가 다른 광원과 근본적으로 구별되는 특이한 성질이라 할 수 있다. 앞서 열거한 여러가지 레이저의 다른 특성들도 본질적으로 볼 때 이로한 레이저의 높은 가간섭성에 기인한다고 할 수 있다. 특히 레이저를 파동이라는 측면에서 응용할 때는 이 성질이 기본적으로 이용되고 있다고 할 수 있다.<sup>(6,7)</sup>

## 3. 레이저와 생체조직의 상호작용

### (1) 생체조직 내의 광 분포

레이저와 생체조직간의 반응과정은 물리, 화학, 생물학, 의학등의 과정이 복합적으로 관련된 매우 복잡한 과정으로서 크게 생체조직 내에 흡수되는 광에너지에 의한 열적 반응과 광화학적 반응이 있다. 전자는 주로 복사 및 비복사 전이를 포함하지만 에너지의 대부분이 열로 전환되는 비가역반응이며 후자는 생물분자와 광자와의 비탄성충돌에 의한 과정으로 대체로 생물학적 변화를 수반하는 반응이다. 그림 1은 레이저광이 생체조직에 조사되었을 때 일어 날 수 있는 다양한 반응과정을 보여주고 있다 <sup>(1,3)</sup>.

일정량 이상의 레이저광이 생체조직에 흡수되면 조직의 탈수 및 수축현상이 일어나고 이에 따른 급격한 온도상승으로 국부적인 조직의 파괴가 생겨 이상조직을 절개 또는 제거할 수 있다. 따라서 레이저와 생체와의 상호작용에 있어서 중요한 변수는 광흡수 특성이라 할수 있으며 조직내의 선량분포와 직접 관련되고 있다.<sup>(37,38)</sup>

레이저의 이해와 그 의학적 응용에 관한 고찰

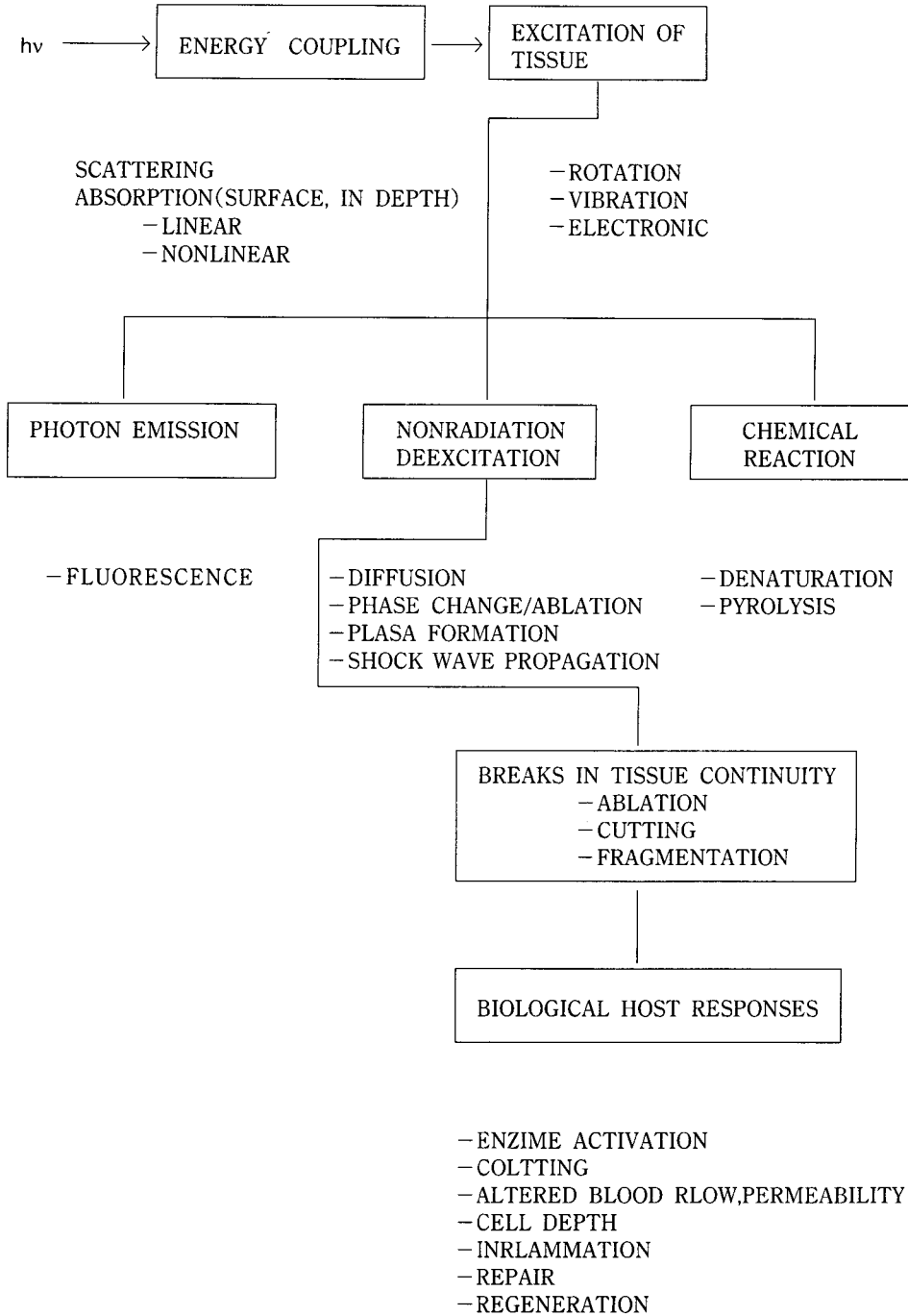


그림 1. 레이저광에 의한 생체조직의 물리적, 화학적 반응

빛은 산란에 의한 확산을 무시하면 투과거리가 증가함에 따라 그 세기는 지수함수적으로 감소한다. 입사광의 강도를  $I_0$ 라 하고, 투과거리를  $x$ 라 하면, 투과광의 세기  $I$ 는 다음과 같다.

$$I = I_0 \exp(-\sigma x) \quad (3)$$

여기서  $\sigma$ 는 감쇄계수이며  $1/\sigma$ 에 해당하는 거리를 감쇄거리라 한다.

생체조직의 표면은 레이저광에 비하여 상당히 거칠고 또한 광학적으로 불균일하므로, 빛은 조직표면에서 산란을 일으키며 조직 내부의 물, 카로틴, 헤모글로빈, 단백질 등에 의해 흡수된다. 빛을 흡수하는 물질은 파장에 따라 달라지는데 단백질과 DNA는 파장이 200-350nm의 자외선을 물은 2.5 $\mu$ m 이상의 적외선을 그리고 헤모글로빈은 청색과 녹색(455-572 nm) 파장의 빛을 흡수한다. 파장이 600-1200 nm 빛은 조직에서 가장 적게 흡수되며 그러므로 조직 내 침투깊이가 깊다. 그림 2와 3은 레이저광의 조직 내 침투특성을 보여주고 있다.

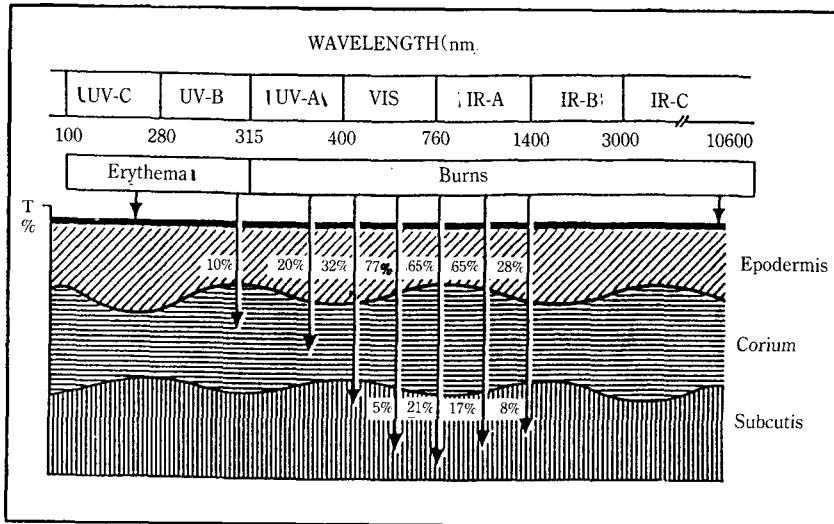


그림 2. 표피조직에 대한 레이저 광의 침투깊이

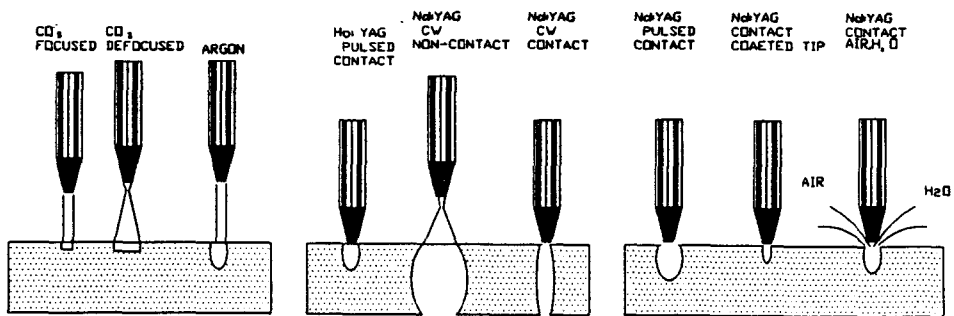


그림 3. 레이저의 종류에 따른 침투상태

레이저의 이해와 그 의학적 응용에 관한 고찰

생체조직과 같은 비균질 매질 내에서의 광 분포 특성을 기술하기 위한 이론으로는 해석적 이론과 수송이론이 알려져 있다<sup>(16,17)</sup>. 해석적 이론은 맥스웰 방정식으로부터 출발하여 물리적 현상을 수학적으로 기술 할 수 있지만 계산상의 어려움으로 인해 실제로는 거의 이용되지 않고 있는 실정이다. 반면에 수송 이론은 파동방정식으로 시작하지 않고 매질 내외에서의 에너지 전달을 직접 다루는 이론으로서 비록 해석적 이론에 비해 물리적인 논리성이 결여되어 있긴 하지만 실제적으로 상당한 수의 연구에 적용이 가능하다는 사실이 밝혀져 있기 때문에 널리 쓰이고 있다.

(2) 레이저에 의한 열 효과

레이저광이 생체에 흡수되면 그 에너지의 대부분이 열로 변환된다. 생체조직은 비균질 매질로 열전도도, 열확산도, 비열 등이 조사광의 모드, 조사시간 등에 따라 다양하게 변화한다. 본질적으로 온도가 생체조직에 미치는 영향은 레이저광이 도달하는 부위에서부터

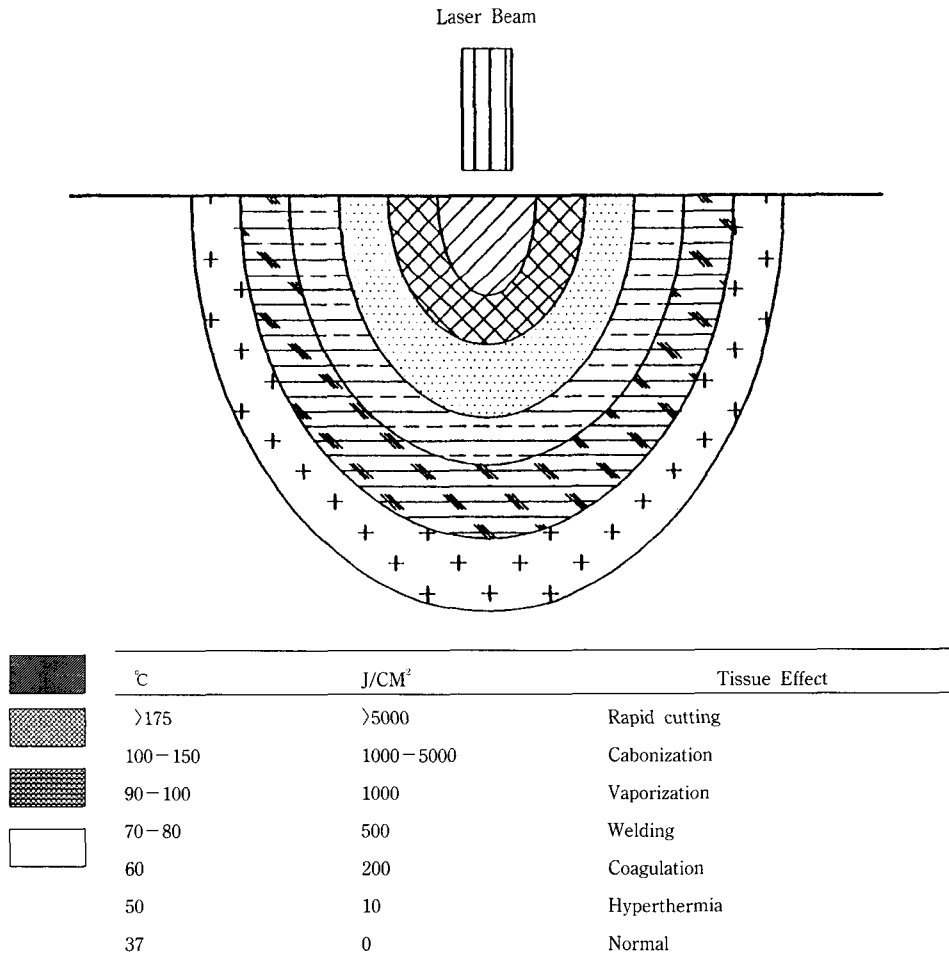


그림 4. 레이저광 조사시 생체조직내에서의 온도분포

깊이에 따라 지수적으로 감소한다<sup>(18)</sup>.

레이저의 치료적 이용은 대부분 이러한 열효과를 이용하고 있으며 광박리, 조직용접, 결석 제거, 조직 절단 등이 모두 이 범주에 속하고 있다. 생체조직이 레이저 빔에 의해 열에너지를 흡수하게 되면 온도가 높아지게 되는 데 40°C 이하의 온도에서는 약간의 조직 수축이 일어나나 영구적인 손상은 발생하지 않는다. 70-80°C에서는 비가역성 세포단백질의 변성과 조직의 표백(blanching)이 시작되고 광 응고(coagulation)현상이 시작된다. 100-300°C에서는 조직 내의 수분(세포액)이 기화(vaporization)하며 조직의 탄화(carbonization)가 일어나고 300°C 이상에서 결국 세포가 파괴되고 기화해 버린다. 그림 4는 레이저가 생체조직에 조사 되었을 때 생체조직 내의 온도 분포를 나타내고 있다.

비균질 매질로서 생체 내에서의 온도 분포, 즉 열확산 방정식의 해를 정확히 구하는 것은 불가능하다. 그러나 표적조직의 크기에 비해 조사부위의 면적이 충분히 작다고 가정하면 방정식의 해를 근사적으로 구할 수 있다. 열이 공급되는 동안 생체 조직의 상 변화가 일어나지 않는다고 가정하면 다음과 같은 열확산 방정식을 만족한다.

$$\frac{dT}{dt} - D \cdot \Delta^2 T = \frac{I}{\rho c} \quad (4)$$

여기서  $D=K/P$ 로 열확산도이며  $I$ 는 광원의 세기,  $K$ 는 열전도도,  $\rho$ 는 밀도,  $c$ 는 비열이다. 이 방정식의 해는 해석적으로 계산 할 수 없으며 Simpson 공식 등을 이용하여 열 확산도, 측정위치, 조사시간 등에 따라 온도 분포를 컴퓨터를 이용하여 계산한다.

생체조직에 대한 광음향(photoacoustics) 연구는<sup>(19,20)</sup> 생체 분자의 열 효과에 대한 많은 물리 화학적 정보를 제공하고 있다. 변환된 열 에너지는 셀의 온도 변화를 유발시키고, 온도 변화는 셀의 압력 변화, 압력 변화는 광 음향신호로 배출 되기 때문이다.

### (3) 광 화학 작용

레이저빔이 생체조직에 입사되면 보통은 낮은 출력에서는 세포의 파괴없이 특정한 화학적 반응과 신진대사 반응을 일으킨다. 낮은 출력의 연속파를 생체에 조사하는 경우 광에너지가 열에너지를 흡수하여 조직 내 분자가 여기된다. 여기된 분자는 열, 형광 또는 화학 변화의 형태로 에너지를 방출한다. 이것은 광 에너지를 열적으로 다루기 보다는 광자의 조직을 구성하는 분자와의 비탄성 충돌로 다루는 것이다.

광화학적 작용의 대표적인 것으로, 광감응제(photosensitizer)를 이용한 암세포의 진단과 치료 기술이 있다. 이른바 광역학적(Photodynamic Therapy : PDT) 치료는 오늘날 임상실험 단계를 넘어 다양한 의료분야에 이용되고 있으며 기초의학 물리적 연구가 크게 확산되고 있다<sup>(32,35)</sup>. 광 감응제로는 Hematoporphyrin Derivative(HPD), Photofrin 등이 있다. HPD는 불완전한 화학 구조로 말미암아 정상조직보다 암세포에 더 오래 체류하며 이때 자외선 광이나  $Ar^+$  레이저광을 조사하면 가시영역의 형광을 발한다.



(5)식은 레이저광에 의해 유도된 HPD가 암세포를 파괴하는 주요 경로이다. 레이저광으로 여기된 암조직 내의 HPD분자는 삼중항( $T_1$ ) 상태로 전환되며, HPD의 산소 분자와 결합하면서 기저상태로 돌아가고( $S_0$ ) 산소를 방출한다. 이 방출산소가 암세포를 파괴함으로써 암을 치료할 수 있다(그림 5).

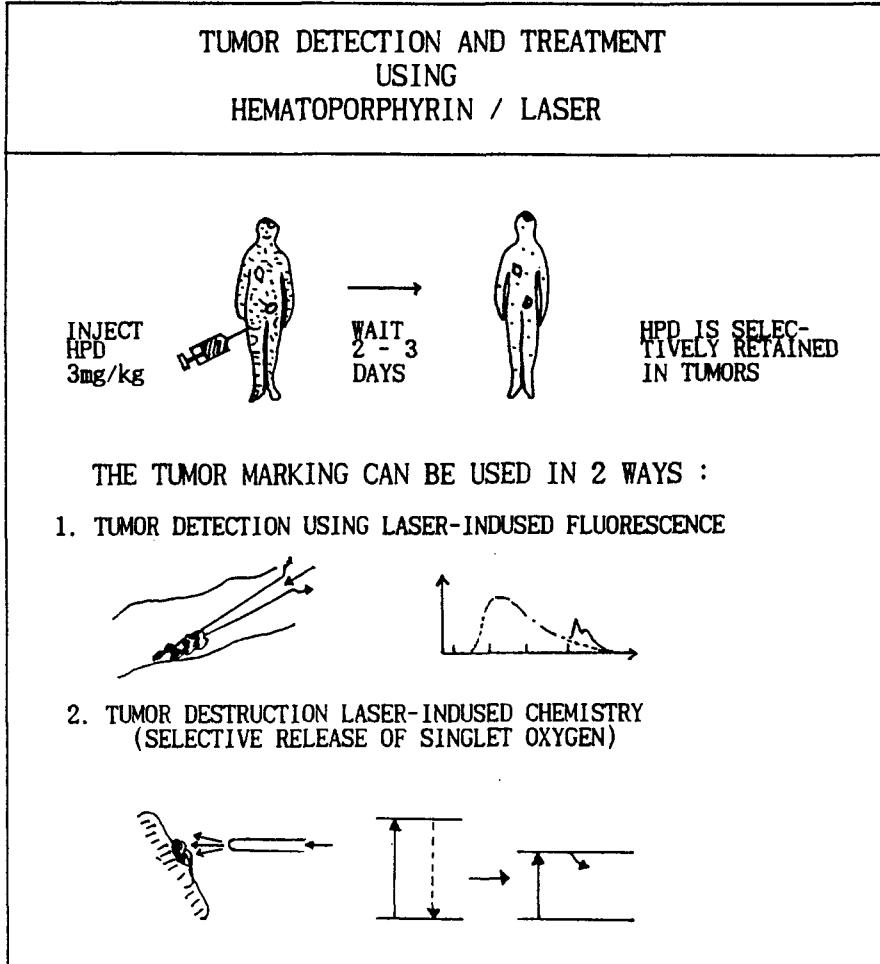


그림 5. HPD를 이용한 암의 진단 및 치료

#### 4. 의료용 광파이버 기술

광파이버는 의료용 레이저 시스템의 성능과 응용을 결정해 주는 중요한 소자이다. 레이저 의료기기의 본격적 실용화는 저손실 광파이버의 실용화가 이룩된 1970년대 중반 이후에야 이루어졌다고 볼 수 있다. 광파이버는 유연성이 좋아 표적 부위에 쉽게 도달할 수 있으나 레이저의 출력을 접근키 어려운 지점은 환부까지 전달해 주는 도광도로 (catheter)로 유도되는 내시경을 이용한다.

내시경은 레이저 출력을 환부까지 전달하기 위한 power fiber, 환부의 관찰을 위한 image bundle, 환부의 상태를 진단하기 위한 fiber optic sensor 등을 한개의 도관에다 합쳐 놓은 것으로 광역학 치료(photodynamic therapy : PDT), 혈관 성형술(angioplasty) 등에 필수적인 장비이다<sup>(21,22)</sup> (그림 6).



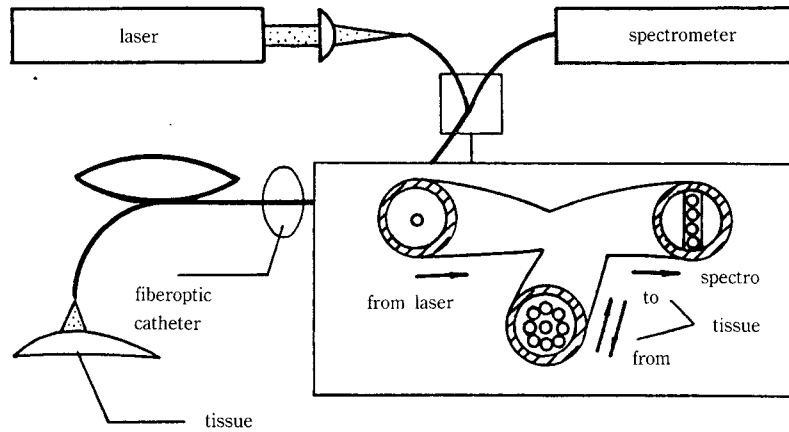


그림 6. 형광 진단법을 위한 Y형 캐서터(catheter)

power fiber는 보통 200-600  $\mu\text{m}$  사이의 직경을 가지며 10-100 mJ 사이의 에너지를 전달하는 데 만약 펄스폭이  $10^{-9}$  -  $10^{-6}$  초 이면 파이버 코어에 대략  $10^6$ - $10^7$  W/cm<sup>2</sup>의 에너지가 걸리는 데 이 정도의 에너지는 파이버 주위의 물에 충격파를 발생시킬 수 있어 이 충격파에 의해 파이버 자체에 손상을 입을 수 있다. 그러므로 파이버 단에는 특수한 tip을 부착한다(그림 7) .

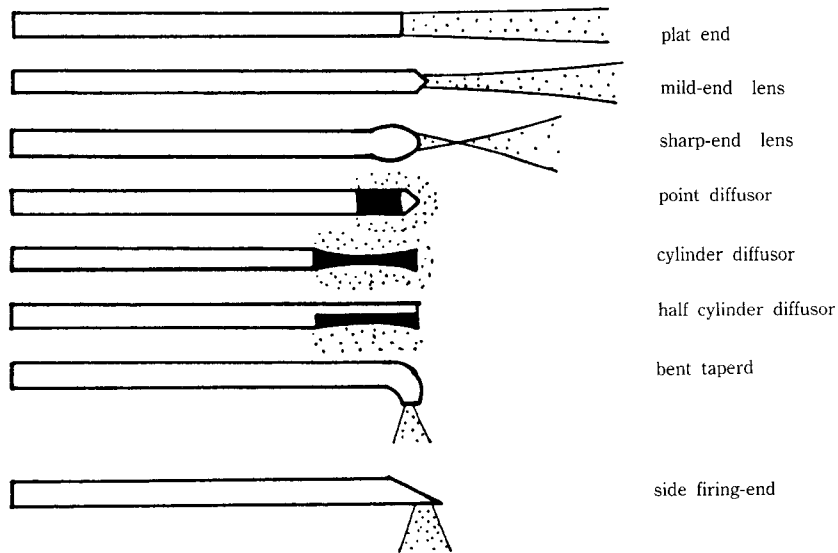


그림 7. 치료와 수술용 파이버 팁(fiber tips)

image bundle 은 광 파이버의 다발로 전단과 끝단의 광파이버 배열이 불규칙적인 조사용 bundle과 규칙적인 imaging bundle로 분류된다. 광파이버의 배열이 규칙적이며 전단에서 받은 영상은 그대로 끝단에서도 같은 위치에 배열될 수 있으므로 imaging bundle은 주로 영상을 전송하기 위해 사용되며 그렇지 못한 조사용 bundle은 강한 광원을 전송하는데 사용된다.

가시영역의 레이저와 적외선 레이저는 물론이고 XeCL(308 nm), XeF(351 nm)와 같은 엑시머 레이저의 경우 보통 quartz fiber를 사용 할 수 있으나 KrF(248 nm)나 ArF(193 nm)와 같은 파장이 짧은 레이저의 경우는 사용하기 곤란하다. CO<sub>2</sub> 레이저 빔은 quartz fiber에 흡수가 많이 되어 사용할 수 없으며 최근에 개발된 multipolymer fiber를 사용한다. 최근엔 레이저 및 전자 기술, 파이버 기술 등이 발달하여 medical laser system이 소형화되고 있는 추세이다.

## 5. 의료용 레이저

### (1) 진단용 레이저

레이저가 도입되면서 레이저가 갖고 있는 가간섭성, 지향성 등의 특징을 이용한 레이저 진단 기술이 발달하고 있다. 레이저의 진단은 생체의 정상, 질병 또는 치료 평가제로써 생체와 기능의 측정진단을 행하는 생체 검사법과 생체에서 얻어진 미생물, 액체, 조직 등의 병리학, 생화학 및 생리적 검사를 행하는 검체 검사법이 있다.

생체검사법에는 대표적으로 자외선 레이저를 이용하여 암을 진단하거나 레이저 홀로그래피를 이용한 안저검사 혹은 레이저 형광 내시경 등을 들 수 있을 것이다<sup>(23)</sup>. 검체 검사에는 도플러 변이(Doppler shift)에 의한 LDCVI(Laser Doppler Velocity Interferometer)방법을 이용한 혈류의 유속 측정을 들 수 있다. 혈액은 생명 유지를 위한 자양분을 보내 주고 노폐물을 운반하는 중요한 기능을 갖는다. 인체 각부의 혈류 상태는 의료상의 귀중한 정보이며, 혈액의 유속측정은 중요한 의미를 갖는다. 표 2 에 레이저는 진단 기술을 정리하였다.

표 2. 레이저 진단 기술

파장영역	종 류	파장(nm)	진 단	측 정 기 술
자 외	Xecl	308	레이저의 형광 내시경, Hp 유도체의 암 진단, 심근의 흥분전위 측정	형광 스펙트럼 측정
	He-Cd	325, 441.6	혈관 조영, 혈류 속도 측정	형광 측정, LDVI
가 시	Ar <sup>+</sup>	488, 514	고막진동 검사, 골격근의 구조요동	광 간섭, 미소변위 측정
	Hr-Ne	632.8	안구강막 두께측정, 망막 해상력 측정,	간섭호를 이용한 광도계
	Dye	570-650	국소혈행 동태측정, 폐암 진단	Speckle 측정, 투과 광량 측정
	Ruby	694.3	안저 검사, 내시경 Holography	Endoscopic Holography
적 외	Nd : Glass	1061	백내장 입자계측	후방산란 패턴측정

최근 유전병을 조기에 진단 할 수 있는 새로운 광학적 응용방법이 개발되었다<sup>(23,24)</sup>. 손가락의 피문에 푸리에 광학 변환계 (Optical Fourier Transform System)를 이용하여 피문의 선 밀도를 측정하고 이를 돌연변이의 염색체의 변화로 분석하여 유전병을 진단 할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 실험 결과와 함께 이 방법의 가능성이 검토되고 있다(그림 8).

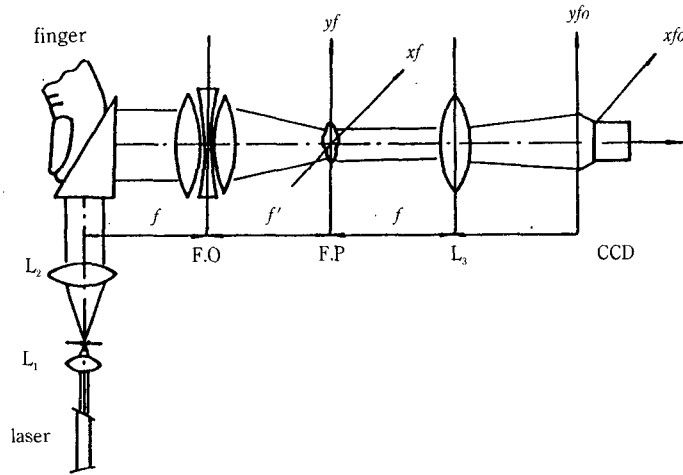


그림 8. 유전병을 조기에 진단 할 수 있는 새로운 광학적 응용방법 : 푸리에 광학 변환계(Optical Fourier Transform System)를 이용한 피문의 선 밀도 측정

## (2) 열과피용 레이저

레이저의 치료적 이용은 대부분 열효과를 이용하고 있으며 광박리, 조직용접, 조직 절단 등이 모두 이 범주에 속하고 있다. 레이저를 열원으로 사용하는 의료용 레이저로 레이저 수술장비를 들 수 있는데  $CO_2$ , Nd:YAG,  $Ar^+$ , Dye 레이저가 대표적이다.

생체조직의 대부분을 차지하고 있는 물의 경우 2900nm에서 흡수력이 최대가 되고 다시 10,000nm에서 높아진다. 그러므로  $CO_2$ (10,600nm) 레이저가 가장 보편적인 열 파피용 레이저로 이용되어 왔다<sup>(26)</sup>. 헤모글로빈은 400nm 와 577nm에서 각각 최대 흡수파장을 갖는데 피부표면 가까이에 위치한 혈관질환 치료에 최대 흡수파장 577nm 에서 발진하는 Copper vapor 레이저나 Dye 레이저를 이용하고 있다<sup>(27)</sup>.

레이저를 조직에 조사하는 방식에는 연속파형과 펄스형의 두가지 방식이 있다. 똑같은 평균 에너지로 조사 할 경우, 펄스방식은 조직의 냉각이 펄스와 펄스 사이에 이루어져 열분산이 연속파형 보다 적게된다. 에너지를 짧은 시간에 전달 할 수록 인근조직에로의 산란 및 열분산이 적어 정밀한 열효과를 얻을 수 있으므로써 정밀한 절개를 위하여는 펄스 레이저가 보다 이상적이며, 주위의 큰 종양을 제거하여야 할 경우는 열분산 효과를 높이기 위해 저출력으로 장시간 에너지를 전달하는 것이 효과적이다.

레이저 수술의 장점으로는 (1) 레이저 응고작용으로 지혈효과를 수반하기 때문에 무혈 수술이 가능하다. (2) 절개과정에서 주변조직 층에 대한 손상을 극소화 할수 있어 회복이

빠르고 수술후의 통증과 후유증을 줄일 수 있다. (3) 비접촉(혹은 접촉) 수술이므로 보통 수술시에 일어날 수 있는 오염이 적다. (4) 응고, 지혈효과를 이용하여 보통의 방법으로 불가능하였던 인체부위에 대한 수술이 가능하다.

### (3) 고출력 펄스-비 열적 레이저

고 출력 펄스 레이저를 생체조직에 조사하면 펄스의 “optical breakdown”이라고 하는 과정에 의해서 세포를 파괴되는 데 그 과정은 레이저 빔에 의한 빠른 충격파에 의해서 세포분자의 화학결합이 파괴되는 현상을 말한다. 조직의 탄화(carbonization)나 증발(vaporization)에 의한 열 파괴 현상과는 구별되고 있다. 이때 최소의 열현상이 일어나기 때문에 목표부위가 극히 정밀하고 인근 조직에 대한 파괴가 없는 장점을 지니고 있다<sup>(29)</sup>.

비 열적 의료용 레이저에는 대표적으로 eximer, pulsed tunable dye, Q-switch Nd : YAG 레이저가 있다. eximer 레이저는 안과에서 각막 수술에 이용되고 있고 혈관벽에 형성된 콜레스테롤을 제거하여 혈관을 넓이는 혈관성형술(angioplasty)에 이용되기도 한다. Q-switch Nd : YAG(SHG) 레이저는 담도 및 요로 결석 파괴용으로 이요되고 있으며 최근에는 혈관성형술에도 그 가능성이 인정되고 있다<sup>(30)</sup>. (그림 9)

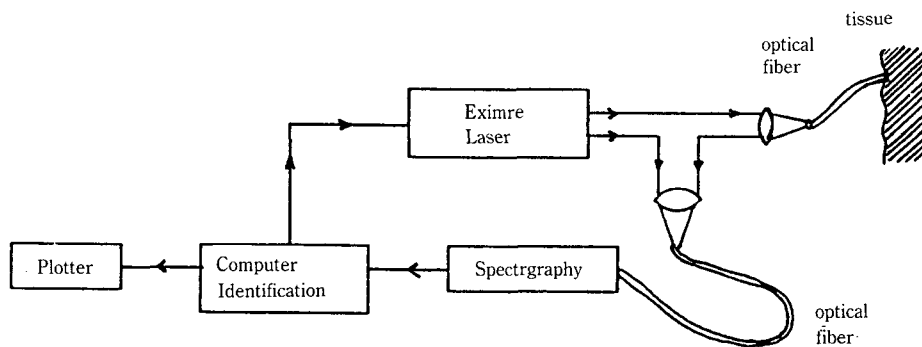


그림 9. Excimer 레이저를 이용한 혈관 성형수술(angioplasty)

### 4. 저출력-대사 촉진용 레이저

최근 저출력의 연속형, 혹은 펄스형 레이저를 이용하여 생체의 기공등을 자극하여 대사작용을 촉진시키기 위한 신진대사용 레이저가 개발되고 있다. He-Ne(632 nm) 레이저는 육창성 위궤양의 교원질(collagen) 생성과 그 치료에 탁월한 효능을 보여왔다. 또한 저출력의 Nd : YAG(1054 nm) 레이저를 이용하여 세포의 파괴없이 DNA 합성을 못하게 한다는 사실도 밝혀지고 있다.

한방에 쓰이는 침이나 뜸 혹은 안마용의 물리치료 기구를 레이저를 대치하려는 시도가 이어지고 있으며 실제로 좋은 반응을 보이고 있다. 최근에는 기존의 전자 자극적 방법과 레이저의 자극을 동시에 이용하는 연구가 발표된 바 있다<sup>(31,36)</sup>. 표 3 에 치료용 레이저를 정리하였다.

표 3. 레이저의 의료분야에의 응용

Lasers	Power	Wavelength	mode	Discipline	Procedure
Argon	0-18 W	488 & 514.5nm	cw	Otolaryngology Gastroenterology Gynecology Dermatology  Urology  Burn therapy Oncology	Bleeding lesions Bleeding lesions Menorrhagia Port-wine stain Spider nevi Varicose vein excision Tattoo excision Skin cancer Bladder tumor excision Urethral stricture Bladder hemorrhage Eschar excision Photoradiation of tumors
Argon	0-16 W	488 & 514.5 nm	pulsed & Q-switch	Ophthalmology	Retinal bleeding Retinal reattachment Iridectomy Glaucoma Senile macular degeneration
Carbon Dioxide	0-80 W	10.6 μm	cw & pulsed	Otolaryngology  General Surgery Gynecology  Plastic surgery  Dermatology Netuosurgery  Urology	Polyp excision TM soft tissue Papillomas Cord tumors Scalpel Conization Vaginal sdenosis Fallopian tube reconstruct Herpes Infertility Maxillofacial Blepharoplasty Lipectomy Mammoplasty Seborrheic keratoses Tumor excision Meningioma&glioma excision Kidney stones Renal surgery Bladder tumor Penile cancer Urethral structure Uretral condyloma BPH

레이저의 이해와 그 의학적 응용에 관한 고찰

Laser	Power	Wavelength	mode	Discipline	Procedure				
Carbon Dioxide	0-8 w	10.6 μ m	cw & Pulsed	Thoracic surgery	Heart revascularization				
				Burn therapy	Debridement Eschar excision				
				Oncology	Tumor debulking				
				Orthopedics	Joint surgery Arthroplasty Synovectomy Bone tumor excision				
Nd : YAG	0-100 W	1.06 μ m	cw, pulsed, Q-switch	Ophthalmology	Glaucoma Lens capsule				
				Ophthalmology	Polyp excision Hemostasis				
				Pulmonary	Tumor palliation				
				Gastroenterology	Hemostasis Tumor palliation Tumor cure Gall stone fragmentation				
				Gynecology	Menorrhagia Conization				
				Dermatology	Port-wine stain Strawberry mark Spider nevi				
				Neurosurgery	Tumor excision				
				Urology	Kidney stone Bladder tumor Penile cancer Bladder bleeding				
				Thoracic surgery	Lung cancer				
				Cardiology	Heary restriction				
				Dental	Soft&hard tissue removal				
				Dye	0-4 W	variable	cw & pulsed	Ophthalmology	Senile macular degeneration
								Dermatology	Port-wine stain Strawberry marks Spider nevi
Urology	Kidney stone								
Excimer	0-15 W	193-351 nm	pulsed	Ophthalmology	Corneal surgery				

## 6. 레이저 안전

레이저 안전에 대한 가장 기본적인 주의는 시력 보호이다. 치료도구나 거울 등과 같이

반사가 큰 표면들은 레이저광의 경로를 변경시킬 수 있으므로 치료에 참가하는 스테프와 환자는 시력보호 안경이 필요하다. 특히, 환자의 눈은 다소 습기가 있는 패드로 보호하는 것이 좋다. 레이저광에 대한 시력보호 안경은 레이저의 종류마다 다르므로 주위가 필요하다.

치료부위가 아닌 다른 부위에는 젖은 헝겍등으로 보호하고 레이저 조사에 의해 생체 조직이 증발 할 때 발생하는 미세먼지들을 제거 할 수 있는 배출기를 준비해야 한다. 또한 광파이버를 생체조직에 접촉해서 사용하는 경우에는 파이버 끝에 생체조직의 파편들이 부착되어 온도의 증가와 치료효율에 영향을 주므로 이를 제거하기 위해 공기 흡입기나 냉각수를 사용 할 수 있다. 레이저 주위에 폭발성 물질이 있을 때에는 레이저광이 조사되지 않도록 주의해야 하며 사용자들은 치료전 레이저 작동법을 충분히 숙지해야 한다.

고출력 및 저출력 레이저의 생물학적 장애에 대한 연구가 최근 비이온화 방사선의 인체의 영향에 대한 많은 연구분야에서 조사되고 있다<sup>(55,56)</sup>. 생체조직은 neumuscular active, 거대한 샘 분비작용(glandular secretion), 세포막 작용(cell membrane)과 성장, 조직의 복구(repair) 등과 같은 생리적 조절의 복잡한 기구에 중요한 역할을 하는 전기장과 자기장애 내성적(repair) 등과 같은 생리적 조절의 복잡한 기구에 중요한 역할을 하는 전기장과 자기장애 내성적(endogenous)이다. 전기장 및 자기장과 관련된 인체조직의 인위적으로 생산된 가능한 영향들이 보고되고 있다.

## 7. 논 의

1970년대에 들어와서 레이저 수술기가 등장하면서 레이저의 의료 실용화 시대가 되었다고 할 수 있으며, 우리나라에서도 70년대 후반부터 레이저 수술장비가 도입되어 현재 각급 병원에서 레이저 수술장비를 비롯하여 여러가지 레이저 의료기기들이 다수 운용되고 있고 앞으로 그 수요도 급격히 늘어날 것으로 전망된다. 최근엔 레이저 공학, 전자공학, 광파이버 기술등이 발달하여 medical laser system이 소형화, 기능의 극대화가 이루어지고 있다.

레이저를 의료에 응용하는 기술은 그 근본원리는 일반적인 레이저 응용기술과 차이가 없다고 할 수 있으나 그 응용대상이 인체라는 점에서 특수한 연구분야라 할 수 있다. 레이저를 의료에 응용하는 경우 종래의 의료기술과는 그 근본원리에 있어서 다른 경우가 보통이므로 새로운 의학기술로서의 연구개발이 수행되어야 할 것이다.

레이저를 이용한 의학적 연구영역을 분류한다면 다음과 같다.

- 1) Medical Hardware와 관련되는 광전자계(optoelectronic system)연구<sup>(39,40)</sup>, optical fiber sensor 연구<sup>(41,42)</sup>, 의학용 레이저 연구<sup>(43,44)</sup>
- 2) Medical Software에 속하는 control system 연구<sup>(45,46)</sup>, 생체조직 내의 광 분포에 관한 실험 및 이론적 모델 연구<sup>(16,17)</sup>,
- 3) Biomedical Spectroscopy 영역에 속하는 형광(fluorescence), 흡수(absorption), imaging 연구<sup>(47,48)</sup>, Ramann 및 시간분해 분광 연구<sup>(49,50)</sup>, photodynamic therapy 및 microscopic technique 연구<sup>(51,52)</sup> 등과
- 4) 임상연구 영역<sup>(53,54)</sup> 을 들 수 있을 것이다. 이에 대한 세부적 언급은 본고의 논의 사항으로 접어둔다.

레이저 의학 및 의료산업의 개발은 레이저의 의학에의 응용기술을 국내에 진흥시키고, 나아가서 의용 레이저 산업의 토대를 국내에 조속한 시일 내에 정착시킨다는 뜻에서 중요한 연구개발 과제라 할 수 있다. 또한 이 연구 과제는 물리학, 생물학, 의학, 화학 등 여러 분야의 전문가들이 협동적으로 수행함으로써 성공적인 결실을 얻을 수 있는 학제간 연구(interdisciplinary research)가 된다는 점에서도 중요한 뜻을 지니고 있다.

### 참 고 문 헌

1. T.S.Dover, S.L.Kilmer and R.R.Anderson : What's New in Cutaneous Laser Surgery : J.Dermatological Surgery and Oncology, 19, 295-298(1998)
2. T.Tadakuma : Possible Application of the Laser in Immunology : Keio J. Med., 42(4), 180-182(1993)
3. S.L.Jacques, D.J.Mcauliffe : The melanosome : Threshold for explosive vaporization and internal absorption coefficient during pulsed laser irradiation : Photochem. Photobiol., 53, 769-775 (1991)
4. J.T.Walsh, R.R.Anderson : Pulsed Co<sub>2</sub> laser tissue ablation : Effect of tissue type and pulse duration on thermal damage : Lasers Surg. Med., 8, 108-118(1988)
5. D.S.Stern, R.W.Schoenlein, C.A.Pulafito : Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers at 532 and 625 nm : Arch Ophtholmol., 107, 587-592(1989)
6. S.Svanberg : Medical application of laser spectroscopy : Phys. Scripta., T26, 90-98(1989)
7. B.C.Wilson and S.L.Jacques : Optical reflectance and transmittance of tissues : principle and application : J. Quant., Electr., 26, 2186-2199(1990)
8. L.I.Deckelbaum, J.M.Isner, R.F.Donaldson : Use of pulsed energy delivery to minimize tissue injury resulting from Co<sub>2</sub> laser irradiation of cardiovascular tissues : J.Am.Coll. Cardiol., 7, 898-900(1986)
9. R.A.White, G.Kopchok, C.Donayre : Argon laser-welded arteriovenous anastomoses : J.Vasc., Surg., 6, 447-453(1987)
10. R.Brindmann, W.Meyer, R.Engelhardt : Laser induced shockwave lithotripsy by use of a 1 microsecond alexandrite laser : Proc. SPIE, 1200, 90-93(1990)
11. O.Svelto : Principles of laser : Translated by David C. Hanna(1980)
12. E.Okada, H.Minamitani, Y. Fukuika, C.Ohshio, M. Suematsu, M.Suzuki, M.Tsuchiya : Laser Doppler microscopy for high accurate velocity measurement of microcirculation : Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 10,1321-1323(1988)
13. S.Thomsen : Pathologic analysis of photothermal and photochemical effects of laser-tissue interactions : Photochem. Photobiol., 53, 825-853(1991)
14. R.Birngruber : Laser output characteristics : Health Phys., 56,606-611(1989)
15. F.Hillenkamp : Laser radiation tissue interaction : Health Phys., 56, 613-616(1989)
16. A.Isjmaru : Wave propagation and scattering in random media : Academic Press, New York (1978)
17. 최동락 : 수송이론에 의한 생체 내에서의 레이저 광분포 특성에 관한 연구 : 연세대학교 대학원 물리학과, 박사학위 청구논문(1991)
18. D.Slinet, M.L.Wolbarsht : Future applications of lasers in surgery and medicine a review J.R. Soc. Med, 82, 293-296(1989)



19. Y.H.Pao : Optoanoustic spectroscopy and detection : Academic Press, New York(1977)
20. V.P.Zharov, V.S.Letohov : Laser optoacoustic spectroscopy : Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, York(1985)
21. H.Barr, N. Krasner, P.B.Boulos : Photodynamic therapy for colorectal cancer : A quantitative pilot study : Br.J.Surg., 77, 93-96(1990)
22. A.T.Mizuno, M.Sakurada, A.Mitamoto, K.Arakawa, M.Suda : Combined guidance technique using andioscope and fluroscope images for CO<sub>2</sub> laser anhioplasty : in vivo animal experiment : Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng., 1425, 191-197(1991)
23. S.Saski and H.Fukuda : Endoscopic laser surfery for TIGlottic : Keio J.Med.,42(4), 196-198 (1993)
24. H.S.Kim, Zharov, S.S.Chu : Fourier transform application in dermatoglyphics : Laser Surg. Med., in print(1995)
25. M.Landthaller, D.Haina, W.Waidelich, O.B.Falco : Clinical and histological exeaminations on laser therapy in dermatology : Optoelectronics in Medicine, Proc. 5th Int. Congress, 81-89(1982)
26. J.T.Walsh, T.J.Flotte, R.R.Andreson, T.F.Deutsch : Pulsed CO<sub>2</sub> laser tissue ablation : effet of tissue type and pulse duration on thermal damage : Lasers Surg. Med., 8, 108-118(1988)
27. J.Green, S.Rosen, R.R.Andreson : Comparative histological studies of the tunable dye(at 577 nm) laser and argon lagon : the specipic vascular effects of the dve laser : J,Invest. Dermaltol., 77, 305-310(1981)
28. R.R.Anderson, J.A.Parrish : Selctive photothermolysis : Predcise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation : Science, 220, 524-527(1983)
29. O.T.Tan, S.Murry, A.K.Kurban : Action spectrum of vascular specific unjury using pulsed irradiation : J. Invest. Dermatol., 92, 868-871(1989)
30. Z.Gligori, H.S.Kim, V.Zharov : Current state and possible developments of laser angioplasty : Technology and Health Care, in print,(1995)
31. J.R.Basford : Low-energy laser therapy : controversies and new research findings : Lasers Surg. Med., 9, 1-5(1989)
32. 박전환 : Chloroporphyrin Derivative인 Porphyrin A의 종양세포에 대한 photodynamic therapy효과 : 연세대학교 대학원 의학과, 박사학위 청구논문(1988)
33. 김현수 : 시간분해 분광학을 이용한Hematoporphyrin Derivative와 Chloroporphyrin Derivative의 광 에너지 전달과정 연구 : 연세대학교 대학원 물리학과, 박사학위 청구논문(1993)
34. T.J.Dougherty : Future of photodynamic therapy : is ther one ? : SPIE Institute for Advanced Optical Technologes, IS6, 1-4(1990)
35. S.L.Marcus : Photodynamic therapy of human cancer : Clinical status, potential, and needs : SPIE Institute for Advanced Optical Technologies,IS6, 5-56(1990)
36. T.Karu : Photobiology of low-power laser effects : Health Phys., 56, 691-704(1989)
37. S.L.Jacques : Simple theory, measurements, and rules of thumb for dosimetry during photodynamic therapy : Proc. SPIE 1065, 100-108(1989)
38. W.R.Potter : PDT dosimetry and respons, Proc. SPIE 1065, 88-89(1989)
39. V.V.Savransky, G.A.Sitnikov,P.N.Levedev : Laser projection microscope : principle and applications in biology : Springer-Verlag, New York, 21-24(1981)
40. L.P.Cordella A.Pirri : Optimization criteria for television-based image digitizers : Springer

- Verlag, New York, 44—47(1981)
41. A.Katzir : Optical fibers in medicine : Sci. Am., 260, 120—125(1989)
  42. J.A.Parrish : LAaser medicine : great possibilities, guarded prognosis : Lasers Surg. Med., 10, 1—3(1990)
  43. T.M.Tkachuk, V.V.Shumilin : Operation of YLF—ER laser at near infrared(0.85—2.9 micron) : SPIE Proceedings, 1403(2), 805—808(1990)
  44. C.A.Brau : Free—electron laser : Science, 239, 1115—1121(1988)
  45. H.Wayland, P.C.Johnson : Erythrocyte velocity measurement in microvessels by a two—slit photometric method : J. Appl. Physiol., 22, 333—337(1967)
  46. D.W.Slaaf, J.P.Rood, G.J.Tangelder, T.J.Jeurens, R.Alewijnse, R.S.Reeman, T.Arts : Abidirectional optical(BDO) three—stage prism grating system for on line measurement of red blood cells velocity in microvessels : Microvasc. Res., 22, 110—122(1981)
  47. W.Dietel, P.Dorn, W.Zend, M.Zielinski : Laser induced fluorescence of biological tissue : Proc. SPIE 1403, 653—658(1990)
  48. S.YuEgorov, A.A.Krasnovsky : Laser induced luminescence of singlet molecular oxygen : eneration by drugs and pigments of biological importance : Proc. SPIE 1403, 611—621(1990)
  49. M.Lutz, T.Mattioli, P.M.Loccoz, Q.Zhou, B.Robert, CEN Saclay : Resonance Raman studies of photosynthetic membrane proteins : Proc. SPIE 1403, 59—62(1990)
  50. P.Song : Piosecond time—resolved fluorescence spectroscopy of phytochrome and stentorin : Proc. SPIE 1403, 590—599(1990)
  51. E.I.Ouahabi, CRG Guttman, S.G.Hushek, A.R.Bleir, K.Dasher, P.Dikkes : MRI guided interstitial laser therapy in a rat malignant glioma model : Laser Surg. Med., 13, 503—510(1993)
  52. E.Okada, H.Minamitani : Spurious frequenct spectra caused by the scattered lights from transparent channel wall in the laser Doppler velacimetry : Jpn. J.Appl. Phys., 26(P1), 941—946(1987)
  53. S.Cavaliere, P.Foccoli, P.L.Farina : Nd : YAG laser bronchoscopy. A five year experience with 1,396 applications in 1,000 patients : Chest, 94, 15—51(1988)
  54. Y.Hiki, H.Shimao : Endoscopic treatment for gastric cancer : Surg. Endosc., 5, 11—13(1991)
  55. J.H.Bernhart : The esabishment of frequence dependent limitss for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects : Radiat. Environ and magnetic fields and eevaluation of indirect effects : Radiat. Environ. Biophys. 27, 1—27(1988)
  56. IRPA85a Iternational Radition Protection Association/International Non—Ionizing Radiation Committee : Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1 nm : Health Phys. 49, 341—359(1985)

김현수, 김귀연, 추성실

## Laser Understandings and Prospects of its Applications in Medicine

Hyun Soo Kim, Ph. D., Gwi Eon Kim, M.D, Sung Sil Chu, Ph.D.  
Department of Radiation Oncology, Yonsei Medical College, 120-749, Korea

The use of lasers in medicine has opened up entirely new fields of therapy and diagnosis. The process in biotechnical applications of laser is basically different from traditional one in other technical field because of critical account to the human body. This paper surveys the principle of biomedical applications as well as possible future developments in laser medicine. In particular, the following subjects are extensively presented : 1) laser-tissue interaction, 2) therapeutic, and diagnostic technique, 3) laser optical fiber for medicine, and 4) laser safety.