

의학에서의 레이저의 응용

울산대학교 의과대학 의공학교실
허 수 진

I. 서 론

Einstein이 1917년에 레이저에 대한 기본 원리를 발표하였고, 1960년에 Maiman이 처음으로 인조 루비를 이용하여 레이저의 발전에 성공한 이래, 레이저의 연구 및 응용은 눈부시게 발전하고 있다. 루비 레이저가 발견된 다음해에 안과 영역에서 루비 레이저는 망막박리에 대한 광응고요법의 광원으로 사용되었고, 그 후 루비, He-Ne, 알콘, Nd-글라스 등의 각 레이저는 의학, 생물학의 연구에 이용되고 있고 현재는 안과, 피부과, 산부인과, 정형외과, 소화기내과, 비뇨기과, 신경외과, 일반외과, 성형외과 등 거의 모든 임상과에서 이용되고 있다. 레이저(LASER, Light Amplification by Stimulated Emission Radiation)는 일정한 파장의 에너지를 흡수할 수 있는 분자나 물질에 의해 흡수되어서 빛에너지로 부터 열에너지로 바뀌어 작용을 나타내게 된다.

의학에 있어 레이저의 응용은 크게 검사, 수술 및 치료로 나누어 진다. 검사 분야에 있어 레이저의 응용은 레이저 빔의 coherent(파면의 질서도가 시간 및 공간적으로 뛰어난 빛) 특성을 이용, 체내조직, 체액 또는 분비물 등이 화학성분 변화, 색깔 변화, 형태 변위, 조직경도 변화, 농도 변화 등을 측정하여 질환의 발견 및 진행정도를 파악하기 위한 것이다. 레이저 도플러법, 레이저 현미경, 레이저 형광진단법 등이 의학분야에 응용되고 있다.

레이저 수술은 레이저 빔의 집속성과 높은 에너지에 의한 국소적인 열작용을 이용하여 생체조직이나 근육의 절개 및 절단 그리고 혈관 응고 및 지혈하는 것을 말한다. 레이저 수술은 통상 기존의 메스에 의

한 것보다 수술에 긴 시간이 소용되거나 필요 부위에만 빔을 전달할 수 있으므로 환부의 크기를 극소화시킬 수 있고 지혈작용도 갖고 있다. 특히 광 화이버를 이용한 내시경에 의한 빔전달은 기존의 메스에 의해서 힘이 들었거나, 큰 절개에 의해서만 가능했던 신체내부 부위와 같이 접근이 어려운 곳의 수술을 내시경의 외경(수 mm)에 해당되는 절개만으로도 가능하게 하므로 수술이 간단하고 수술후 환자의 고통 감소 및 회복도 빠르다.¹ CO₂레이저의 이용에 의해 무혈수술용의 메스로서의 분야가 열렸으며 Nd:Yag 또는 알콘 레이저는 광 화이버를 사용하여 내시경 기기로서도 발전하여 왔다.

레이저의 치료적인 응용은 레이저 빔의 집속성을 이용한 고 에너지 대신에 낮은 에너지를 이용하는 것이다. 이것은 레이저 빔의 열적인 작용보다는 비열적인 작용을 이용한 것이다. 낮은 에너지 빔을 이용하여 인체의 맥점이나 피부를 침이나 뜸과 같이 자극시킴에 의해 피부나 근육의 통증제거 또는 환부의 완치를 촉진시킨다. 또한 어느 특수한 광감수성 물질이 악성종양에 선택적으로 모이며, 약한 레이저 빔에 여기(exciting)되면 그 물질이 광화학적 반응을 일으켜서 악성종양을 치료하는 기법이 개발되고 있고 레이저 혈관내 성형술도 발전하고 있다. 레이저의 또 하나의 작용은 짧은 펄스의 충격파로서 요로나 담관의 결석의 파괴에 이용되고 있다.²

1. 레이저의 발생원리와 특징

레이저 빔의 발생 원리를 간략히 설명한다. 모든 물질의 기본 요소인 원자는 양자와 중성자로 구성된 핵과 핵주위를 도는 전자들로 이루어져 있다. 어떤

원자에 충분한 에너지의 빛을 가할 경우 전자가 광자에너지를 흡수하여 현재 돌고 있는 전자각에서 그 다음 높은 전자각으로 점프하여 원자핵 주위를 돌지만 불안한 상태이므로 결국은 광자를 방출하고 원래의 전자각으로 돌아가 안정상태를 갖는다. 이때 방출되는 빛의 파장은 원자를 여기시킨 빛의 파장과는 무관하고 여기된 원자의 종류에 의해 결정된다. 즉 방출되는 빛은 여기된 원자의 전자각의 에너지 차이에 의해서 결정되는 것이다. 만일 여기되는 물질이 한 원소로만 구성되어 있을 경우 단파장의 빛이 방출될 수 있으며 원자를 여기시키기 위하여는 고에너지가 필요하다. 고에너지의 광자로 한 원소로만 구성되어 있는 물질을 여기시키면 거의 모든 원자들이 낮은 전자각으로 떨어지면서 동상의 단파장의 빛을 방출하게 된다. 이렇게 동상이며 단파장인 빛을 평행한 레이저 빔으로 만들기 위해 공진기내에서 반사거울을 이용한다.

레이저의 특징은 파장의 분포가 단일 주파수 즉 하나의 색(highly monochromatic)을 갖고 있으며, 산란되지 않고 일정한 방향(highly directional)으로 진행하며, 동일 위상(highly coherent)의 파장이므로 간섭을 잘 일으킨다. 또한 레이저를 렌즈로 집속하면 아주 작은 한점에 모을 수 있어서(sharply focused) 단위 면적당 대단히 큰 에너지를 얻을 수 있다.

2. 조직과 레이저 빔의 상호작용

인체는 70-90%가 수분으로 구성되어 있으므로 레이저 메스의 열작용은 물분자에 의한 레이저 빔 에너지의 흡수에 의하여 일어나며, 치료의 경우에는 피부의 색소, 산화헤모글로빈, 헤모글로빈 등에 의한 흡수가 중요한 역할을 한다. 조직표면에 레이저 빔을 조사하면 표면에서 다른 빛과 마찬가지로 반사, 산란, 투과, 흡수가 일어난다. 이때 레이저 빔의 파장, 파워밀도, 작용시간 및 생체조직의 광특성, 온도 특성 등에 의해 여러 생체 반응이 생긴다. 물체내에서 레이저 빔의 감쇠정도는³

$$I = I_0 e^{-a\ell} \quad (1)$$

로 표시되며 여기서 I_0 는 조직 표면에서 입사빔 강도, I 는 거리 ℓ 만큼 침투하였을 때의 입사빔 강도,

a 는 흡수계수, ℓ 은 침투깊이를 나타낸다. I_0/I 가 대략 0.37 정도가 되는 침투깊이 1을 흡수장(absorption length)이라 하며 0.1이 되는 길이를 소광장(extinction length)이라 하는데 소광장은 흡수장의 2.3배가 된다. ℓ 의 파장 및 조직의 성분에 따른 변화가 그림 1이며 다음의 몇 가지 사실을 알 수 있다.⁴

-수분의 경우는 가시광 영역을 중심으로 감쇠율이 좌우로 증가하는 경향을 보이고 있다. 조직을 절개하는 수술에는 파장이 1 μ m 이상인 레이저가 적합하다. 관절부의 수술과 같이 유체를 통해 수술부위에 접근해야 하는 경우는 레이저 팁을 수술부위에 밀착시켜야 한다.

-가시광 영역에서는 피부의 색소, 헤모글로빈 등에 의한 감쇠가 큰 영향을 미친다. 치료의 경우는 가시광 영역의 레이저가 일반적으로 적합하다.

-파장에 따라 레이저의 흡수장이 다르다. ArF 엑시머(excimer) 레이저는 흡수장이 1 μ m이하, YA-G:Er는 1 μ m 정도, YAG:Nd는 1mm 정도, YAG:Ho는 0.5mm이하, 녹색의 Ar-ion과 YAG:Nd의 제 2고조파는 대략 수 100 μ m 이하가 된다. 실제 레이저 빔의 조직내 침투깊이는 흡수장보다 훨씬 크므로 레이저 빔 에너지의 수술부위 주변에서 멀리 떨어져 있

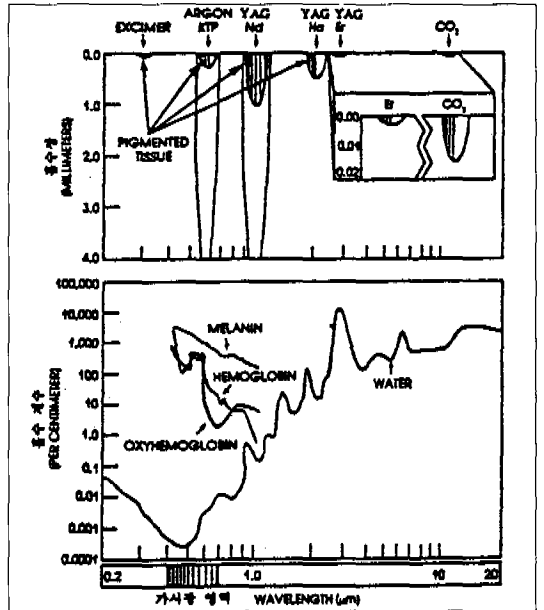


Fig 1. Absorption Length and Coefficient of Wavelengths by Human Tissues

는 정상조직까지 열작용의 영향을 받게되므로 다른 문제를 야기시킬 수 있으므로 레이저 메스로 사용시에 유의해야 한다.

3. 레이저 기기의 구성

레이저를 얻기 위해서는 유도방출을 시키기 위한 레이저 매질(laser media)과 원자를 들뜨게 하는 여기매체, 레이저 발진이 일어나서 한 종류의 빛만을 증폭하는 공진기(optical cavity)의 3가지가 필요하다. 레이저 매질에는 기체, 액체, 고체, 반도체가 있고 여기매체로는 전기방전, 전류, 섬광램프 등의 매질에 따라 사용되고 있다. 고체레이저에는 섬광램프, 기체레이저에는 전류, 액체레이저에는 용집(coherent)광원이 이용되고 있다. 공진기 튜브에서는 일반적으로 2개의 반사거울이 사용되며 평면형인 것과 구면형인 것이 있다.⁵

레이저 기기에서 중요한 구성부분 중의 하나는 레이저 출력을 원하는 곳으로 전달해 줄 수 있는 도광로(導光路)이다. 도광로에는 거울로 반사시키는 다관절형, 수술현미경의 아답터에 부착하여 현미경의 대물렌즈와 광축을 맞추어 사용하는 것, 내시경(복강경, 인두경 같은 rigidscope)에 부착 사용하는 것, 광ファイ버를 이용하는 것 등이 있다. 주로 많이 사용되는 도광로는 내시경 형태로 레이저의 출력전달을 위한 화이버(power fiber), 환부 관찰을 위한 영상관(image bundle) 그리고 환부의 상태 진단을 위한 광화이버 센서가 하나의 도광로에 묶여져 있다. YAG나 알콘 레이저의 경우 유연한 수정 광섬유를 통하여 질소, 산소 또는 압축공기 등의 기체를 보내기도 하고 광섬유를 냉각시키기 위해 물을 순환시키기도 한다. 광섬유는 유연성이 좋아 병변부위에 레이저 빔을 조사할 수 있는 장점이 있으나 광섬유를 통과하면서 출력의 저하가 발생한다. 또한 광섬유를 통과한 빔은 그 내부에서 수 많은 굴절을 함으로서 레이저 빔의 평행성을 잃고 발산하게 되는데 그 정도는 빔의 파장, 화이버의 직경, 화이버 팁의 표면상태 등에 따라 결정되며 팁에 렌즈를 부착하면 스폿의 크기를 수 십분의 1 mm로 만들 수 있다.

4. 레이저 기기의 예

그림 2는 실제로 많이 사용되는 기체 레이저인 탄

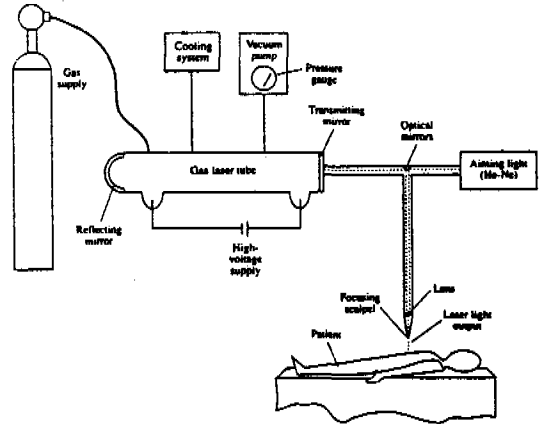


Fig. 2. CO₂ Laser Black Diagram

산가스(CO₂)레이저 장치이다. 튜브내에는 탄산가스, 질소, 헬륨의 혼합 개스가 낮은 압력으로 들어있다. 튜브의 양단에 고전압을 가하면 튜브내에 가스 원자가 에너지를 받아 기저상태에서 여기상태로 이동하게 된다. 이때 지속적으로 튜브양단에 전압을 가하면 음극에서 방출되는 전자가 양극으로 이동하면서 여기된 가스 원자와 충돌하게 된다. 전자와 충돌된 원자는 광자들을 방출하게 되고 이들 광자들은 다음 원자와 충돌하여 더 많은 광자를 방출시키고 계속적으로 반복해서 진행된다. 이 광자들은 튜브 양단에 설치되어 있는 완전 반사경과 일부 투과(수 %)되는 반사경 사이를 왕복하게 된다. 일부 투과 반사경에 증폭된 광자들이 도달했을 때 대부분의 광자는 반사되고 나머지 광자가 튜브 밖으로 나와 거울과 렌즈로 구성된 다관절 반사경 광학시스템을 통해 조직에 전달된다. 조직에 가해지는 에너지 밀도를 결정하는 초점의 크기는 출력 렌즈 시스템에서 조정한다. 초점의 크기는 레이저를 실제 사용하기 전에 조정되어야 하나 탄산가스 레이저는 눈에 보이지 않으므로 He-Ne의 저출력 조준 빛을 이용하여 미리 조정한다. 탄산가스 레이저는 그 출력이 20-100W에 이른다.⁶

레이저의 파장에 따라 조직에서 선택 흡수가 일어난다. 알콘 레이저가 물에 흡수되지 않고 어두운 조직 즉 멜라닌을 갖는 조직, 헤모글로빈 등에 흡수가 잘 되므로 조직의 절개보다는 응고에 효과적이라면 탄산가스 레이저는 대부분 물에 흡수되므로 조직의 절개에 적합하다.⁷

레이저 장치는 장기간 사용하지 않는 경우라도 한 달에 한번 정도는 10-20분간 최대출력으로 동작시키며, 고전류로 사용하는 것 보다 가능한 낮은 전류로 사용하면 일반적으로 기기의 수명을 연장시킬 수 있다. 냉각방식이 수냉식이면 물의 진동이 없게 하여 진동에 의한 튜브와 거울의 위치가 변하지 않도록 하여야 한다. 레이저 장치 부근에는 쉽게 붙어 붙을 수 있는 물건들은 치우거나 불투명한 것으로 덮어 두어야 한다.

5. 의료용 레이저의 특징과 응용

의학적으로 응용되는 레이저에는 표 1과 같이 고

Table 1. Wavelengths and Applications of Medical Laser Types

Laser Type	Wave Length (nano-meter)	Application
Excimer Gas Laser		
Argon Fluoride (uv)	193	ophthalmology
Xenon Chloride (uv)	308	surgery
Gas Laser		
Argon	(blue) 488	surgery, ophthalmology
	(green) 514	surgery, ophthalmology
Krypton	(red) 647	ophthalmology
Xenon	(white) multiple	surgery
Carbon Deoxide (FIR)	10,600	surgery
Metal Vapor Laser		
Copper Vapor	(green) 510	cosmetic surgery
	(yello) 570	cosmetic surgery
Gold Vapor	(red) 627	cosmetic surgery
Solid State Laser		
Doubled Nd:YAG	(green) 532	surgery
Neodymium:YAG	(NIR) 1,064	surgery
Erbium:YAG	(MIR) 2,940	surgery, dentistry
Holmium:YAG	(MIR) 2,100	surgery, dentistry
Chromium Sapphire(ruby)	(red) 694	surgery, cosmetic surgery
Dye Laser		
Rhodamine 6G	(VIS) 570-650	surgery, ophthalmology
Coumarine C30	(green) 504	surgery

체, 기체, 반도체, 액체의 각종 레이저 기기가 있으며 발견되는 레이저빔의 파장은 자외선영역에서 적외선영역에 이르기까지 광범위하다. 모든 파장의 레이저 빔은 생체조직에 입사된 경우 다음과 같은 반응을 일으키게 된다.⁸ 매우 낮은 출력에서는 세포의 파괴 없이 특정한 화학적 반응과 신진대사 반응을 일으키고, 높은 출력에서는 조직의 온도를 높여 파괴하며, 매우 높은 출력에서는 열에 의한 파괴작용이 발생하기 전에 문자 그대로 조직을 폭발시킨다.

5.1 화학적-신진대사용 레이저(Chemical-metabolic laser)

저출력 He-Ne(632nm)레이저는 육상성 케양의 콜라겐의 생성과 치료에 좋은 효과를 보여왔고 YAG(1,064nm) 레이저를 이용하여 저출력으로 같은 효과를 보였다. 같은 종류의 레이저라도 파장을 달리하면 신진대사 작용에 다른 효과를 보인다.⁹ 레이저의 치료적 응용은 LLLT(low level laser therapy)로 알려진 낮은 에너지 빔을 이용하여 그 비열적 전자(電磁)작용에 의해 생화학물질의 활성 또는 세포의 부활작용이 있으므로 창상치유, 난치성 케양의 치료, 혈류촉진, 소혈관, 장관, 정관 등의 문합(吻合), 통증제거 등에 이용되고 있다. 또한 이차적으로 발생하는 열팽창에 의한 충격파 또는 증발에 의한 압력파를 발생시켜, 담석 또는 결석 제거를 가능케 한다. 인체내의 종양에 잘 모여드는 유도체를 이용, 이 유도체에 특정 파장의 레이저빔을 조사하여 광화학적 반응을 유도시킴으로서 종양세포를 치료하는 PDT(photodynamic therapy, 광선 역학적 치료)에 관한 연구가 진행중이다.

5.2 열파괴용 레이저(Thermal destructive laser)

레이저 수술은 레이저 빔을 집속성과 고에너지성에 의한 국소적인 열작용을 이용하여 조직의 절개, 혈관의 응고 및 지혈을 함으로써 필요부위에만 빔을 전달할 수 있어 환부의 크기를 극소화시킬 수 있다. 열파괴용 레이저는 수술시 절개 및 조직의 파괴용으로 널리 이용되고 있다. 레이저 수술의 중요한 장점은 높은 정밀도와 열파괴의 조절 능력이며 기존의 전기 수술기에 비해 레이저의 출력, 조사시간, 파장, 조사방법 등의 수 많은 조합으로 원하는 목적을 달

성할 수 있다는 데 있다.

조직이 얼마만큼 레이저를 흡수하는가 하는 것은 레이저의 파장과 밀접한 관계가 있다. 생체 조직중에서 물과 헤모글로빈의 흡수 스펙트럼이 관심의 대상이다. CO₂레이저는 수분에 흡수되기 때문에 생체의 표면에 작용하며, 알곤 레이저는 적혈구의 적색에 흡수되기 쉽고 Nd:Yag 레이저는 알곤 레이저에 비해 생체조직의 보다 심부에 침투하여 그 영향을 미치는 등 각각의 특색이 있다. 레이저 빔의 효과를 올리기 위해 그 레이저 광의 보색에 해당하는 색소를 생체에 주는 것은 이 때문이다. 가변 색소(tunable dye)레이저와 구리 증기(copper vapor)레이저를 이용하여 헤모글로빈의 최대 흡수파장인 577nm를 만들어 냄으로서 알곤 레이저 대신에 피부 표면 가까이에 위치한 혈관질환 치료에 좋은 효과를 얻고 있다. 색소 레이저는 소위 tunable의 레이저로서 임의의 파장을 발진하여 의학에 이용되고 있지만 그 파장이 반드시 임의 선택적인 것이 아니다. 따라서 임의의 파장을 자유롭게 발진할 수 있는 자유 전자 레이저가 개발되고 있다.

레이저의 파장 이외에 열파괴의 특성을 결정하는 변수로서 레이저 빔의 전달 속도가 있으며 이를 fluence라고 한다. 어떤 부위에 50W로 2초간 전달된 에너지와 100W로 1초간 전달된 에너지는 같지만 그로 인한 열효과는 다르다. 그것은 에너지를 짧은 시간에 전달할수록 인근 조직으로 산란 및 열 분산이 적어 정밀한 열효과를 얻을 수 있으므로 정밀한 절개를 위하여는 가능한 최대의 fluence가 이상적이며 큰 부위의 종양을 제거해야 하는 경우는 열분산 효과를 높이기 위해 저출력으로 장시간 에너지를 전달하는 것이 효과적인 방법이다.

레이저는 펄스파와 연속파로 발진되며 그 발진파장은 레이저 재료에 의하여 고유의 특성을 지닌다. 즉 레이저 매질이 결정되면 그에 따라 발진되는 레이저빔의 파장이 결정된다. 레이저의 시간 동작 모드는 에너지가 전달되는 방법에 따라 분류된다.¹⁰⁾

Continuous wave(CW) 레이저는 안정된 출력으로 동작하며 고출력 시스템에서는 출력 조절이 가능하다 He-Ne 같은 낮은 출력 시스템에서는 출력이 고정되어 있으며 사용시간에 따라 성능이 저하된다. Single pulsed 레이저는 일반적으로 지속시간이 수

백 μ s부터 수ms에 이르는 펄스를 발생한다. 이 모드의 동작을 보통 정상모드라고 부른다. Single pulsed Q-Switched 레이저는 레이저 매질이 최대의 에너지를 저장케 하는 내부지연(Q-switched cell)의 결과로서 발생한다. 8-10초 동안 이 펄스들은 106-109W의 피크치를 갖는다. Repetitively pulsed 레이저는 초당 3-20,000 펄스의 고정된 pulse rate으로 동작한다. Mode locked 레이저는 레이저 출력의 특성에 영향을 미치는 공진기의 공명 모드(resonant mode)로서 동작한다. 이 모드에서 동작하는 규칙적인 간격으로 펄스를 발생하며 그 지속시간은 femto(10^{-15})에서 pico(10^{-12})초이며 출력은 Q-switched 모드로 동작하는 레이저보다 대단히 높아 그 피크값이 10^{12} (tera) Watt가 된다.

5.3 비열적, 기계적 레이저(Nonthermal mechanical laser)

5.3.1 엑시머 레이저

엑시머 레이저는 매체의 구성 성분에 따라 높은 출력의 157-351nm의 자외선을 발생시키는데 파장이 짧기 때문에 열에 의한 조직의 손상은 미미하며 조직은 일차적으로 photodissociation에 의해 파괴된다. 이것은 레이저빔이 세포분자의 화학결합을 파괴하는 현상을 말한다. 최소의 열손상이 일어나기 때문에 목표부위가 극히 정밀하고 인근조직에 대한 파괴가 없는 장점을 갖는다.

이 엑시머 레이저는 안과영역에서 각막절제술 등에 이용되고 있으며 혈관벽에 형성된 콜레스테롤을 제거하는 혈관성형술(angioplasty)에도 사용된다.

5.3.2 Q-switched 레이저

매우 높은 에너지를 발생시킬 수 있는 방법으로서 펄스 방식의 레이저가 있는데 일반적으로 펄스폭이 짧아질 수록 첨두출력의 크기는 커진다. 이 기법은 μ s의 펄스폭을 사용할 경우 정밀도는 높아지고 열분산은 감소하게 된다. 예로서 안과용 YAG 레이저는 매우 높은 출력과 nano(10^{-9})초의 매우 짧은 펄스폭을 갖는데 이러한 기법을 Q-switching라고 한다. 이 기법의 원리는 레이저 에너지를 극히 짧은 시간에만 출력시키고 다음 펄스가 나올 동안 레이저 공진기내에 에너지를 저장하고 증폭시켜 첨두출력을

극대화시키는 것이다. Q-switched 레이저는 매우 정밀도가 높은 안과영역에서 사용되며 또한 담도 및 요로 결석과피에도 사용되며 모반, 문신제거에도 효과적이다.

5.4 레이저의 검사에의 응용

생체검사용으로서 레이저 투과를 이용한 광량 측정, 레이저 발광 분광분석으로서 형광스펙트럼측정, 압형광분석, 혈액산소포화도 측정, 호흡중 알콜검사, 국소혈행 동태측정, 비관혈적 혈액 성분 동정이 있으며 레이저 간섭계로는 조직의 경도측정, 안구각막 두께측정, 레이저 청진기, 변형검출, 체벽미소진동검출, 망막해상력측정등이 있고 레이저 도플러를 이용한 망막혈관 혈류계, 혈관내 혈류프로필 측정등이 있다. 자극역치 측정기로서 통각,온감,색감계가 있다. 레이저 홀로그래피로서 안저카메라가 있고 초음파 홀로그래피로서 연부조직(유방, 신장, 근육, 건, 태아 등)의 3차원 영상을 들 수 있다. 스펙트럼패턴의 응용으로서 안구 굴절이상 검사용으로서 쓰인다.

검체 검사용으로는 레이저 미립자 광계측을 이용하여 자동세포분별을 할 수 있으며 레이저산란을 이용하여 정자영동도 계측 및 현탁계로 이용한다. 레이저 도플러 유속계로서는 항원, 항체 반응검사용으로 쓰인다. 또한 레이저 현미경, 레이저 분광분석을 들 수 있고 화상치료로서 혈구 분별 및 세포진용으로 쓰인다.

VI. 레이저의 안전

레이저로 인한 상해는 크게 피부와 눈으로 구분할 수 있다. 레이저 빔은 인체 내부까지 침투되지 않고 피부 표면에만 일부 흡수된다. 따라서 강력한 레이저 빔을 받게 되면 화상으로 끝나는 것이 보통이지만 레이저 빔이 눈의 수정체에 입사되면 렌즈 역할을 하는 수정체에 의해서 집광되어 망막위에 초점을 만들어 망막을 태워 시력을 잃게 할 수 있다. 레이저 기기 주변에는 “레이저 위험” 등으로 쉽게 알 수 있는 표시를 하고 출력이 큰 레이저는 경보기 등을 설치해야 한다.

VII. 앞으로의 전망

레이저의 의료분야로의 응용은 활발히 연구되고 있다. 현재 레이저 과학에 따른 조직과의 상호작용 및 침투특성에 대한 보다 깊은 연구를 바탕으로 광대역 동조 가능한 Ti:Sapphire 자유전자 레이저 개발이 진행중이며, 소형, 고출력 반도체 레이저의 발전은 각기 파장이 다른 반도체 레이저들의 조합에 의한 광대역 동조가능 레이저 기기의 개발도 가능케 할 것이다. 또한 다른 전자 의료기기와 마찬가지로 레이저 기기도 진단 수술기능이 다채널 분석기와 결합된 형태로 되어, 환부의 상태를 실시간으로 감시해가며 수술과 치료를 병행 가능케 할 것이다. 현재 개발되고 있는 금속 플로라이드, 중금속 할라이드 등의 새로운 광대역 광화이버의 등장은 보다 효율이 좋은 레이저빔 에너지 전달 시스템의 개발을 가능케 할 것이다. 검사분야에 있어서는 flow cytometry와 같이 복합 검사시스템의 개발이 촉진될 것이다.

참 고 문 헌

1. 손정영 : Lasers in medical science. 전기학회지 1993 ; 42(6) : 18-25.
2. 美和産 : 레이저 의학의 새로운 동향. BME 1987 ; 1(7) : 499-502.
3. T.F. Deutsh : Medical Applications of Lasers. Physics Today 1988 ; 41(10) : 56-59.
4. J.M. Yarborough : Taking the Confusion of Matching Medical Lasers to Applications. Photonics Spectra 1992 ; 26(10) : 88-90.
5. 허수진 외 : 의공학 개론, 여문각, 1995 ; 305-310.
6. Richard Aston : Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement, Macmillan, 1991 ; 333-337.
7. J.J.Carr, J.M. Brown : Introduction to Biomedical Equipment Technology, Prentice Hall, 1993 ; 480-492.
8. 김남현 외 : 의용공학 입문, 신광출판사, 1992 ; 292-302.
9. J.R. Basford : The Clinical Status of Low En-

ergy Laser Therapy in 1989. J. of Laser Applications 1990 ; 12(1) : 57-61.
10. Rockwell Laser Industries : Laser Type and

Operaton. internet : ftp : //ftp.rli.com/pub/RLi/
laser-tutor, 1995.