

레이저 치료의 원리와 응용

한서대학교 재활치료학과 · 영동전문대학 물리치료과* · 한서대학교 물리학과**

최홍식 · 윤창구* · 송순달**

A Principle of Laser Therapy and it's Application

Choi, Hong Sik, M.P.H, R.P.T, Yoon, Chang Goo, M.P.H, R.P.T*, Song, Sun Dal, Ph D**

Dept. of Rehabilitation Therapy, Hanseo University

*Dept. of Physical Therapy, Yeong Dong Junior College**

*Dept. of Physics, Hanseo University***

— ABSTRACT —

We discuss the simple concepts of laser physics, absorption of laser radiation by tissue and current application in medical and physical therapy field. The continuing development in the field of laser technology has encouraged collaboration between clinician and physicist. This can be reached through more exactly controlled and regulated laser systems for human. In medicine, surgery and physical therapy a laser should be used when it can be shown clearly established techniques.

The purpose of this article is to provide the connection between pure laser physics and the other clinical application.

Key Words ; Laser therapy, Physical therapy

차 례

서 론

레이저의 기본 요소

레이저 빔과 인체 세포와의 상호작용

물리치료 분야에서의 레이저 사용

안과에 레이저 사용

결석병

결 론

참고문헌

서 론

1960년 Maiman이 파장 694 nm인 루비 레이저를 처음으로 개발한 이래로 2년후 Townes는 의학용으로 레이저 사용을 고려해 왔으며, "Optical lasers and their possible applications to biology"란 논문에서 의학과 생물학 분야에 레이저광선 사용의 길을 열었다.²¹⁾

1963년에는 전문의로써는 처음으로 치료 목

적으로 안과 의사들이 레이저를 선택했다. 실제로 사용은 1970년 중반에 안과뿐만 아니라 치과나 위장병학에서 지혈에 사용되었다. 1974년에는 혈우병 환자에서 치아를 발치했을 때 지혈에 사용되었고, 광섬유의 발달로 레이저 빔 전달이 손쉽게 된 후 1977년경에는 장출혈병에 지혈용으로 사용되었다. 몇 년후에는 피부과에서, 1987년 이후에는 요석이나 담석을 파괴하는데 이용되었고, 오늘날에는 외과나 안과 위장병학, 치과, 비뇨기과, 물리치료 등에서 다양하게 레이저를 응용하여 사용하고 있으며, 그 수가 증가 추세를 보이고 있다.⁵⁾

레이저의 기본 요소

물리적으로 레이저가 되기 위해서는 낮은 에너지 준위에 원자수 보다 높은 에너지 준위의 원자수가 많으면 많을수록 좋고, 손실과 반사를 그리고 이득의 곱이 1 보다 크면 조건이 충족되고, 이 조건이 공명기에서는 스스로 여기되어 10^5 배 이상으로 증가된다.¹⁸⁾ 그림 1에서는 간단한 아르곤 레이저의 모형을 나타내고 있다.

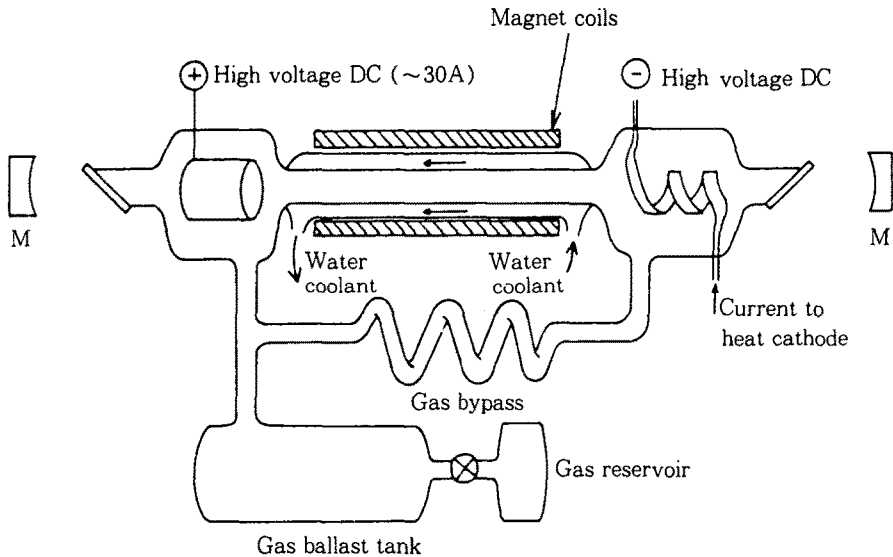


그림 1. 간단한 아르곤 레이저 모형

레이저의 구성 요소로는 첫째로, 유도복사 효과로 충분히 높은 증폭율을 제공하며, 또한 특정 파장을 얻기 위한 매질(기체 : He-Ne, CO₂, Ar. 고체 : Nd:YAG, Ti:Sapphire 등)이 필요하며, 둘째로는 효율적인 되먹임(feed back)이 실현돼야 하며, 이를 위해선 레이저 매질에서 복사되는 빛을 레이저 거울(M)을 통해 다시 매질로 반사시켜 줘야 하며, 이런 거울장치를 resonator(공명기)라 한다. 셋째로는

레이저 매질을 낮은 상태의 에너지 준위에서 높은 상태의 에너지 준위로 끌어 올려 주어야 하는 pumping(power supply)이 필요하며, 펌핑을 하는 방법으로는 다른 광원의 빛(xenon lamp, sunlight, 등)으로, 아니면 anode와 cathode에 높은 전압을 걸어 주는 전기적인 펌핑, 화학 레이저에서는 화학적 결합 에너지를 이용한 펌핑방법이 요구된다.^{12,17)}

위 세 가지 요소가 구비되었을 때 공명기에

서 방사되는 레이저 빔은 독특한 아래 세 가지 특징을 가진다.

첫째로, 모든 파장이 위상이 똑 같으며, 시간적 뿐만 아니라 공간적으로 위상이 똑같아 레이저 빔을 간섭성(coherence)이라 하며, 둘째로, 먼 거리를 빔이 진행하더라도 광속이 서로 서로 평행하게 나아가 분산이 적게 일어나 먼 거리까지 강하게 직진하며, 셋째로, 모든 파동들이 똑같은 파장과 주파수, 에너지를 가졌기에 레이저 빔은 단색광이다.

대부분 의료용 레이저의 출력은 0.1에서 100 W인데, 렌즈를 통해 초점에 집속시키면 거대한 출력밀도(태양 : $5 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$, 100 W 백열등 = 10^{-2} W/cm^2 , He-Ne 레이저 1 mW : $4 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$, Ar-레이저 10 W : $4 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$, CO₂-Laser 10 kW = 10^8 W/cm^2 , pulse 레이저 : 10^{14} W/cm^2)를 얻는다.

의료용 이산화탄소 레이저의 출력은 보통 20~40 W이다.

레이저 빔과 인체 세포와의 상호작용

레이저 기술을 의료용으로 사용하기 위해서는 반드시 치료할 세포와 레이저 빔 사이에 상호작용이 일어나야 한다. 인체에 요석이나 담석처럼 원치 않는 생성물 뿐만 아니라 또는 체세포를 다루는 영역 모두가 해당된다. 물리학적인 면에서 체세포 또는 요석과 레이저 빔 사이에 상호작용은 다음 4가지로 분류할 수 있다.

- 열적인 효과, 응결(coagulation)
- 분리 효과(disruption)
- 제거 효과, 용해(ablation)
- 충격파 효과(lithotripsy)

열적효과는 특히 위장병학이나 안과에서 지혈을 위해 출혈세포를 서로 봉합해야 할 곳에 응용이 된다. 반면에 분리 효과는 체세포를 자르기 위한 곳에 응용되는 역학적인 효과를 나타내며 외과에서 우선적으로 사용된다. 체세포에서 레이저 에너지의 흡수와 이 에너지를 열로

변환하는 역할은 단위 체적당 특정한 조사도에 그리고 체세포의 흡수계수에 따라 달라진다.

표 1. 온도에 따른 레이저 빔의 효과

Temp.(°C)	조직 변화
37	조직 손괴 없음.
40~45	효소유동 수종 부종형성 얇은막 형성 세포 사망
60	단백질 변질 응결, 변성사 시작
80	교원질(collagen) 변질 박막과괴
100	건조
150~	탄화
300>	증발, 가스화

레이저 빔의 온도에 의한 조직 변화

45°C까지는 비가역적인 조직 파괴는 없으며 60°C에서는 단백질이 응결되고 300°C 이상에서는 조직이 증발되고 그리하여 절단될 수 있다. 세포 심부에는 열에너지가 감소되고 세포 온도도 내려간다. 산란으로 인해 조사된 광선이 주위로 흡수되고 다시 방출되어, 동시에 열효과나 열을 혈관으로 전파해서 표피로부터 깊이와 넓이에 따른 온도 기울기가 형성된다.^{1,6,21)}

제거 효과도 역시 역학적인 효과로써 정형외과에서 반월판 수술같은 외과에서 세포절단을 위한 세포분리 등에 우선적으로 사용되며, 충격파 효과는 담석이나 요석의 파괴에 사용된다. 레이저 매질에 의존한 서로 다른 파장범위 때문에 다양한 레이저 종류와 인체의 조직 사이에는 아주 상이한 상호작용이 일어나므로 인체의 특별한 부위인 경우에는 특히 정확한 파장과 노출시간 등 알맞은 데이터의 레이저 종류만 선택 사용하여야 한다. 조직의 종류나 레이저의 노출시간 및 출력세기 등의 운전요소들이 중요한 역할을 한다. 특히 응결 효과와 분리 효과의 분류는 노출시간이 중요한 요소이며

망막응결 방법에서 확실히 예를 볼 수 있다. 비교적 긴 100 ms의 노출시간에는 응결의 결과로 망막이 흰색으로 변화가 일어나며, 제거 효과 이용에서는 노출시간이 중요한 역할이 아니라 치료할 조직의 선택적인 레이저 빔 흡수가 척도가 된다. 살아 있는 세포에서 레이저 빔, 즉 전기적인 에너지가 열에너지로 변환되면서 혈액의 산소분자의 포화가 오며, 더욱 더 온도가 상승하면 세포액이 증발되고 세포의 부피가 줄어들며 표피가 회색 변한다. 달걀을 삶을 때 온도 상승에 따라 단백질이 처음에는 단단해지고 또 회색 되는 것과 똑같이 에너지를 더욱 더 가하면 세포의 증발내지 탄화가 일어난다. 짧은 시간 동안 높은 레이저 에너지를 조사하면 수분의 증발이나 산소의 분리 때문에 세포에서 폭발이 일어나고 표면이 팝콘처럼 찢어진다. 치료할 부분의 세포에 대한 흡수계수가 중요한 인자인데, 계수가 높으면 세포표면에서 레이저 빔이 거의 흡수되어 열로 변환되고, 전혀 세포내 침투가 일어나지 않으므로 세포표면이 타게 된다. 흡수계수가 적으면 세포내 침투가 일어나며, 쪼여진 세포의 깊숙한 곳까지 상호작용을 일으킬 수 있다. 세포의 흡수계수는 당연히 사용한 레이저 빔의 파장에 관계되지만, 한편으로 치료할 세포의 구조적인 모양에도 관계가 된다.

그림 2에서는 ocular media에서 일어나는 흡수 곡선을 나타내며 (a)는 파장에 따른 흡수를 나타내고 (b)의 점선은 상대적인 Xe방출을 나타낸다.

파장 10.6 μm 의 CO_2 -laser 빔은 헤모글로빈에 흡수가 잘 일어나고, 체세포에는 거의 침투가 일어나지 않는다. 파장 530 nm의 아르곤 레이저 빔은 물에 상당히 흡수가 일어나고 그리고 체세포에는 침투가 일어나지 않는다. 그리하여 체세포내의 높은 흡수율은 헤모글로빈이나 멜라닌 등에 선택적 흡수에 지정되어진다. 표피세포의 파괴를 일으키므로 피부과나 optalmologie의 영역에 이용된다. Excimerlaser의 의료용 사용에는 UV의 DNA-파괴 가능성 때

문에 고려가 요구된다. 이 두 레이저는 피부 깊은 곳 치료에는 적당치 않다.

Nd : YAG 레이저는 물에도 헤모글로빈에도 흡수가 일어나지 않으므로 혈관이나 림프관 응결 목적으로 이용되며, 암이나 종양에 초점 맞추어 조사하므로써 병든 세포를 파괴할 수 있다. 오늘날 Nd : YAG 레이저는 결석증 치료에 사용된다.

레이저 빔이 피부표면에 조사되면 레이저 강도는 깊이에 따라 지수함수적으로 감소한다. 그리고 흡수된 에너지는 그 주위에 열로 온도 상승을 일으킨다. 응결에 필요한 에너지는 증발에너지의 약 10%에 못 미치기 때문에 온도 상승은 레이저 빔의 광학적인 침투 깊이에서는 충분하다.

이 광학적인 침투깊이(X_{opt})는 흡수계수(α)로 표시하면

$$X_{opt} = 1/\alpha$$

이 되며 표 2에서 일반적인 연조직에서 다양한 파장에서 침투깊이와 흡수계수를 표시하였다.

여기서 주의해야 할 점은 조직들이 강하게 산란되는 물질이며 강도분포가 투과 깊이에 따른 흡수에만 의존하는 것이 아니라 분산에 의한 영향을 많이 받는다는 것이다.

UV에서의 효율적인 투과깊이는 산란에 의해 10배 이상으로 감소된다.

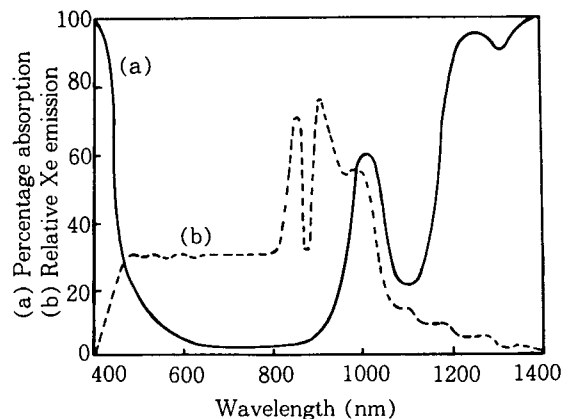


그림 2. Ocular media에서의 흡수 곡선²⁾

표 2. 정상흡수계수 α 와 산란에 의한 수정된 흡수계수 α^* 그리고 흔히 사용되는 레이저파장에 의한 광학적 침투깊이.^{1, 8)}

파장	흡수계수		광학적투과깊이	
$\lambda(\text{nm})$	$\alpha[\text{cm}^{-1}]$	$\alpha^*(\text{cm}^{-1})$	$1/\alpha[\text{m}]$	$1/\alpha^*[\mu\text{m}]$
193	>400	>5000	<25	<2
248	600	5000	17	2
308	200	1670	50	6
351	40	170	250	60
532	12	42	830	240
1064	4	5	2500	1900
2700	1000		10	
10600	600		17	

물리치료 분야에서의 레이저 사용

최근 근골격계와 피부질환을 치료하는 물리치료 분야에서 레이저 치료가 전기치료의 한 부분으로 널리 사용되어지고 있는 치료기구이다.³⁾ 물리치료 분야에서 주로 사용되는 레이저로는 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser), 적외선 레이저(infrared laser), 또는 갈륨-알루미늄-비화물(gallium-aluminum-arsenide[Ga-Al-As] 레이저 또는 두 형태를 혼합한 것이다.¹⁴⁾

과거에는 치료 효과에 대한 논란이 많았지만 최근에는 이 분야에 대한 생리학적 효과나 치료적 효과 위험도에 대한 연구가 증가되고 있다.¹⁵⁾ Beckerman⁴⁾ 등은 메타분석(meta-analysis)을 통해 분석한 결과 치료에 적용한 레이저 용량과 치료효과 사이에는 유의한 관계가 없었고, 류마티스성 관절염, 외상후 관절 질환, 근막동통에는 레이저의 치료효과가 있는 것으로 분석하였다. 그러나 많은 임상연구에서 레이저의 효과에 대해서는 서로 상반되는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 연구방법의 부적합성과, 연구 대상자와 레이저 치료기의 불일치 등으로 발생할 수 있으므로 결과 비교에 어려움이 많다.³⁾ LLLT(low level laser therapy)의 생리학적 효과에 대한 해석도 마찬가지로

실험 대상이 다르고, 레이저의 형태나 적용 용량이 다르기 때문에 결과를 비교하는데 어려움이 있다.

물리치료 분야에서는 피부의 상처 치유나 근골격계에서의 연부조직 치유, 골조직 치유, 통증의 감소에 레이저치료가 어떤 생리학적 영향을 미치는지에 대한 것에 관심이 집중되어 있다. 지금까지 다양한 동물과 건강한 인간 그리고 다양한 병리나 병소에 레이저가 어떤 효과가 있는지 연구되어 왔다.

LLLT의 생리적 효과에 대한 연구에서 Karu¹³⁾는 광이 분자기전(molecular mechanism)에 미치는 영향은 단기간 전자이동고리(electron transport chain)가 활성화되고, ATP의 합성이 증가되고, 세포내의 pH가 감소한다고 보고하였다. 또한 조직치유(연부조직, 신경조직, 골조직)에서 LLLT의 효과는 초음파의 효과와 유사하다는 보고도 많다.¹⁵⁾ Basford²⁾ 등은 LLLT가 세포의 분열, 식균, 면역, 호흡의 변화를 일으킨다고 하였다.

Snyder-Mackler와 Bork²⁰⁾는 말초신경에 LLLT를 적용한 결과 전도속도가 감소되었고, 잠복기(latency)가 증가하여 통증완화의 효과가 있다고 하였다. 반면 전혀 변화가 없다는 보고도 있다.¹¹⁾

Gogia¹⁰⁾ 등은 수치료와 적외선 레이저로 상처를 치료한 결과 완전한 치유가 되었다고 보고하였다. 그러나 이 경우 비록 인체에서 레이저를 적용하였지만 두 환자만을 가지고 연구한 것이기에 연구의 적합성이 낮다. Basford²⁾ 등은 돼지의 상처치유에 레이저의 효과를 연구한 결과 유의한 효과가 없었다고 하였다.

Basford²⁾ 등은 엄지손가락에 골관절염이 있는 환자에게 헬륨 네온 레이저 치료를 한 결과 유의한 효과가 없었다고 하였다. Klein과 Eek¹⁶⁾ 등은 요통이 있는 환자에게 운동만 시킨 군과 운동과 레이저를 병행해서 치료한 환자들을 이중맹검법으로 치료의 효과를 비교한 결과 두 군간에 치료효과에는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.

Snyder—Mackler¹⁹⁾ 등은 경부와 요부에 압통점(trigger point)이 있는 환자에게 헬륨—네온 레이저를 조사한 후 피부저항(skin resistance)과 동통에 차이가 있는지 알아보기 위하여 위약(placebo)을 사용하여 결과를 비교한 결과 피부저항이 증가하였고, 통증이 유의하게 감소했다고 보고하였다.

이처럼 임상연구에서 그 효과에 대한 논란이 되고 있는 것은 레이저의 종류나 치료 용량, 시간, 파장, 치료 횟수, 치료 대상자, 치료 부위, 결과에 대한 측정방법, 그리고 치료하는 질병 등이 서로 다르기 때문에 서로 비교분석을 한다는 것은 매우 어려운 일이다. 새로운 치료법의 적당한 용량과 치료 횟수를 결정하는 것은 매우 어려운 일이며, 심지어 최소효과 용량도 대부분 밝혀지지 않은 상태이다. 앞으로 레이저 치료를 물리치료 분야에 치료의 한 방법으로 사용하기 위해서는 적당한 파장, 강도, 치료 시간, 결과 측정법에 대한 더 객관적인 연구가 요구된다.

안과에 레이저 사용

파장 488 nm의 아르곤 레이저가 이 분야에서는 가장 많이 사용되는 레이저 종류이다. 파장 568 nm Krypton 레이저도 사용되고, Nd : YAG 레이저를 주파수 배가해서 파장 532 nm를 눈의 코아굴레이션에 성공적으로 사용했다. 광섬유를 통한 레이저 빔의 사용은 눈의 endo-photo 응결에 사용되었다.

근시나 난시의 치료에 레이저는 유일무이한 장점을 가진 치료기구이다. 특히 astigmatism에 excimerlaser를 사용해서 펄스당 μm 보다 적은 깊이로 각막세포를 고르게 뜯어낼 수 있다.

결석병

NS(10^{-9}sec)영역에서는 레이저 펄스가 100 MW/cm^2 에 이르면 이 값에서는 소위 말하는 레이저 여기에 의한 파괴(LIB=laser-induced

breakdown)가 물질에서 일어난다. 이 과정은 최소화된 파괴로 표현할 수 있고, Felix과 Ellis⁹⁾ 그리고 De Michelis⁷⁾는 LIB에서 다양한 위상에 관한 것을보고하였다.

레이저를 이용한 담석이나 요석 파괴는 벌써 60년대에 CO₂-레이저나 혹은 루비 레이저(Ruby-laser)를 사용해서 이루어 졌다. 그 당시에는 아직 충격파 요법을 시험해 보지 못했고, 상당 부분 CW 레이저를 이용해서 담석이나 요석이 가열되고, 녹거나 증발이 되었다. 그래서 주위의 세포가 동시에 해를 보게 되었다. 그럼에도 불구하고 인간과 동물에 이용되었고, 펄스 동작의 레이저가 사용될 때까지의 80년대까지 계속되었다.

결 론

레이저의 기본적인 개념과 빔과 세포와의 상호작용 및 흡수계수에 대해 간략히 서술하고, 물리치료 분야에서의 레이저 사용 그리고 안구 치료 및 결석제거에 레이저 사용을 설명했다. 고출력이든 저출력 레이저이든 인체부위에 따라 빔이 집속이되면 인체에 크게 손상을 일으킬 수 있다. 그러므로 최대허용 노출한계값을 ANSI(American National Standards Institute)에서 규정하여 사용하는 레이저의 인체에 대한 안전도를 높이며, 광선의 파장과 출력에 따라 4 범주(class 1 : 0.4 uW, class 2 : 1 mW, class 3 : 3a : CW-1-5 mW, 3b : 5-500 mW, class 4 : 500 mW 이상)로 나누며, 각각에 따라서 엄격한 규제와 통제가 이루어진다.

레이저 빔과 인체 세포와의 상호작용은 표피 세포의 흡수계수가 파장, 노출시간에 의존하며 UV의 사용은 DNA-파괴에 관계되어 지금까지 치료 분야에서 이론적인 명백한 정립은 없으며 사용에 대한 규제가 요구되고 있다. 문신 제거나, 반점(port wine stain)제거에도 사용되고 있으며 He-Ne laser나 GaAs-laser는 미용실에서 사용이 증가되고 있다.

물리치료 분야에서도 통증 완화와 상처치유

에 사용이 증가하고 있으며, 많은 연구가 진행되어 왔지만 연구 결과는 서로 다른 경우가 있다. 이러한 차이는 연구 방법이나 측정방법의 타당도의 차이로 발생한 것인지 아니면 레이저 치료 자체의 효과가 통증치료와 상처치유에 효과가 불명확한 것인지는 앞으로 지속적인 연구가 필요한 부분이다.

참 고 문 헌

1. Anderson RR, Parrish JA. The optics of human skin. *J. Invest Dermatol* : 77 13-19, 1981.
2. Basford JR, Hallman HO, Sheffield CG, et al. Comparison of cold-quartz ultraviolet, low-energy laser, and occlusion in wound healing in a swine model. *Arch Phys Rehabil* 67 : 151-154, 1986.
3. Baxter GD, Bell AJ, Allen JM et al. Low-level laser therapy : current clinical practice in Northern Ireland. *Physiotherapy* 77 : 171-178, 1991.
4. Beckerman H, de Bie RA, Bouter LM, et al. The efficacy of laser therapy for musculoskeletal and skin disorder : A criteria-based Meta-analysis of randomized clinical trials. *Phys Ther* 72 : 483-491, 1992.
5. Carruth JAS, Mckenzie AL. Medical lasers, science and clinical practice. Adam Hilger Ltd, 1986.
6. Carslaw HS, Jaeger JC. Conduction of heat in solids. London : Oxford University Press, 1959.
7. De Michelis C. Laser induced gas Breakdown; A bibliographical review. *IEEE J. of Quantum Electronics* : QE-5, 188, 1969.
8. Esterowitz L. Hoffman C. Tran D. Levin K. Storm M. Bonner R. Smith P. Leon M. Angioplasty with a laser and Fiber optics at 2.94 um. In : *Optical and laser Technology in Medicine*. SPIE : 605. 32-36, 1986.
9. Felix Mp. Ellis AT. Laser induced Liquid breakdown a step-by-step account. *Appl. Phy. Letters* : 19 : 484, 1971.
10. Gogia PP, Hurt BS, ZIRN TT. Wound management with whirlpool and infrared, cold laser treatment. *Phy Ther* : 68 : 1239-1242, 1988.
11. Greathouse DG, Currier DP, Gilmore BL. Effects of clinical infrared laser on superficial radial nerve conduction. *Phy Ther* 65 : 1184-1187, 1985.
12. Guimaraes WON, Lin CT, Mooradian A. Lasers and applications. Springer series in optical science. Springer-Verlag. 1985.
13. Karu TI. Molecular mechanism of the therapeutic effects of low intensity laser radiation. *Lasers in Life Science* 2 : 53-74, 1988.
14. King PR. Low-level laser therapy : A review. *Lasers in Medical Science* 4 : 141-150, 1989.
15. Kitchen SS, Partridge CJ. A review of low level laser therapy. Part I : Background, Physiological effects and Hazards. *Physiotherapy* 77 : 161-168, 1991.
16. Klein RG, Eek BC. Low-energy laser treatment and exercise for chronic low back pain : Double-blind controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 71 : 34-37, 1990.
17. Meyers RA. Encyclopedia of lasers and optical technology. Academic Press Inc. 1991.
18. O'shea DC, Callen WR, Rhodes WT. Introduction to lasers and their applications. Addison-Wesley Publishing Co. 1978.
19. Snyder-Mackler LS, Barry AJ, Perkins

- Al, ey al. Effects of Helium—neon laser irradiation on skin resistance and pain in patients with trigger points in the neck or back. *Phys Ther* 69 : 34—39, 1989.
20. Snyder—Mackler L, Bork CE. Effect of helium—neon laser irradiation on peripheral sensory nerve latency. *Phy Ther* 68 : 223—225, 1988.
21. Svaasand LO, Boerslid T, Oeverraasen M. Thermal and optical properties of living tissue : Application to laser—induced hyperthermia. *Lasers in Surgery and medicine* : 589—602, 1985.
22. Townes CH. Optical lasers and their possible application to biology. *Biophysical Journal* 2 : 325—329, 1962.
23. Trokel SL, Strinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am. J. Ophthalmol* 96 : 710—715, 1983.