

# 치과용 레이저의 종류와 물리적 특성



교수 김 여 갑

경희대학교 치과대학 구강악안면외과학 교실

레이저가 치의학 분야에 도입된 이후 조직을 자르거나 구멍을 뚫거나 지혈을 시키는 등 기존에 쓰이던 수술용 칼이나 하이스피드 엔진드릴, 전기소작기 등의 역할을 점진적으로 대체하여 나가고 있는 것은 레이저가 그만큼 편리하고 정확하며 또 효율적이기 때문이다. 레이저는 일종의 응집된 빛(photon)이기 때문에 수술용 칼이나 전기드릴, 전기소작기와는 다른 방식으로 조직을 자르거나 절제하는데 특히 레이저가 편리한 이유는 주위 조직에는 거의 영향을 끼치지 않으면서 목적하는 조직만을 정밀하게 그리고 출혈없이 절제하거나 자를 수 있기 때문이다. 또, 시술부위를 무균적으로 유지할 수 있으며 일부 증례에 있어서는 마취없이 무통적으로 치료 할 수 있는 등 많은 장점이 있다.

## 1. 레이저의 물리적 특성

### 1) 레이저와 조직과의 상호작용

레이저란 어느 물질에 에너지를 가하였을 때 그 물질로부터 방출되는 빛의 입자를 한 방향으로 모아서 증폭시킨 일종의 전자기파(electromagnetic wave)이다. 그러므로 레이저는 에너지를 가진 빛의 응집된 형태라고 말할 수 있으며 어느물질에 에너지를 가하여서 빛이 생성되는가에 따라 생성되는 빛의 형태와 특성이 달라지고 이에 따라 레이저의 종류가 구별된다.

태양광은 헬륨가스의 연소로 빛이 생성되며 백열등은 텅스텐선에 전기에너지를 가하였을 때 우리가 볼 수 있는 밝은 빛이 나오는 것처럼 아르곤 가스, 이산화탄소 가스, Neodymium과 같은 활성매질에 에너지를 가하여 거기서 방출되는 빛을 증폭시키고 한 군데로 모은 것이 치과용 레이저이다(그림 1).

백열등에서 나오는 빛은 우리가 볼 수 있으나 CO<sub>2</sub> 레이저에서 나오는 빛은 우리눈으로 볼 수 없다. 이것은 활성매질에 따라 생성되는 빛의 형태 즉, 파장이 다르기 때문이다. 빛의 입자(광자, photon)는 파동의 형태로 이동하는데 빛의 종류마다 각기 다른

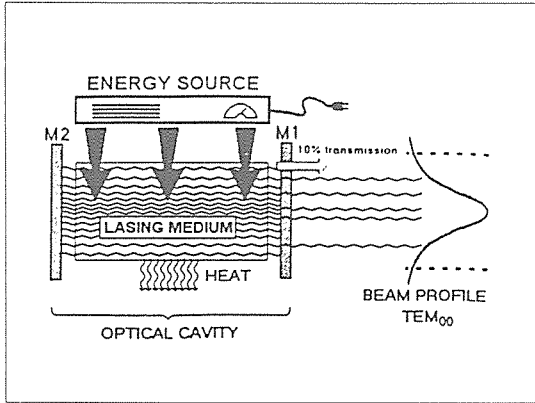


그림 1. 레이저 기기에서 레이저가 발생되는 모식도. 외부에서 지를 lasing medium에 가하여 생성되는 빛을 거울 M1과 M2에서 증폭하여 한 방향으로 방출되게 한다.

파장(wave length)을 가지고 있으며 빛의 성질은 이 파장에 따라 달라지는 특성을 가지고 있다. 백열등이나 태양으로부터 나오는 빛을 우리 눈으로 볼 수 있는 것은 이 빛의 파장이 350-750nm인 가시광선 영역에 속하기 때문이며 가장 긴 파장인 라디오파로부터 마이크로파, 적외선, 가시광선, 자외선, X선, 그리고 매우 짧은 파장인 감마선까지 각각 고유의 파장에 따라 빛의 성질, 특히 조직에 조사되었을 때 침투깊이와 침투강도가 달라지며 특정 색소나 특정세포에 선택적으로 흡수되는 정도가 달라진다(그림 2).

레이저광에 대한 조직반응은 기본적으로 레이저광 에너지에 의한 조사조직의 온도상승의 효과로 나타난다. 즉 그림 3에 나타낸 바와 같이 레이저가 조사됨에 따라 조사영역의 온도가 상승되어 광응고, 광절제, 기화, 절개 등의 효과가 일어나며 그 정도는 특정파장을 가진 레이저의 종류에 따라 조직에 흡수, 투과 산란, 반사되는 정도가 다르기 때문에 각 레이저마다 독특한 반응 양상을 갖게 된다. 일반적으로 파장이 짧을수록 조직에 깊숙히 그리고 강력한 에너지를 전달하는데 파장이 짧은 감마선이나 X선은 뼈조직 등을 투과하므로 방사선 촬영 등에 이용되고 태양광 같은 가시광선은 흡수력이 약하여 검은색 물체에서는 표층에만 많이 흡수되나 흰색의 물체에서

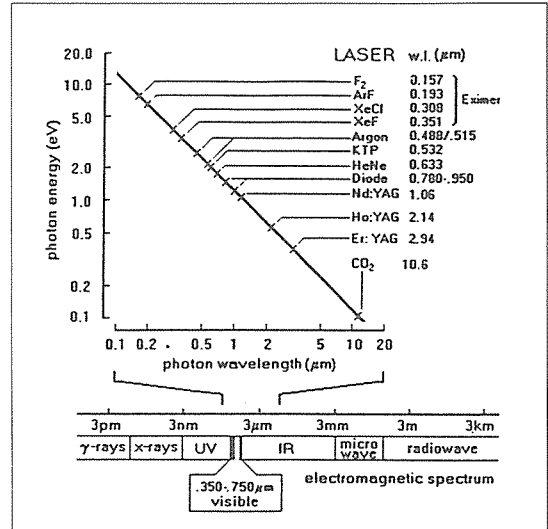


그림 2. 전자기파의 파장에 따른 스펙트럼. 치과용 레이저는 원적외선 파장으로부터 근자외선영역의 파장을 가진 빛을 이용한다.

는 거의 반사되어 버린다. 치과용 레이저는 목적하는 조직에만 흡수되고 주위 조직이나 조직심부에는 영향을 끼치지 않아야 하므로 가시광선 영역의 파장을 사용하거나 원적외선, 중적외선 및 근자외선 파장을 가진 빛을 이용하게 되었다. Argon레이저같은 가시광선영역의 레이저는 태양광처럼 색소체, 특히 멜라닌이나 헤모글로빈, 헤모시테린 등에 강력하게 흡수되고 물이나 투명한 조직에는 거의 영향을 주지 않고 투과하여 피부과등에서 피부착색 병소제거에 많이 쓰인다. 이에 반하여 원적외선 파장을 가지고 있는 CO<sub>2</sub>레이저나 중적외선 영역의 Holmium, Erbium레이저는 색소체에는 거의 흡수되지 않으나 물에 잘 흡수되며 조직을 강력하게 절단할 수 있다. 구강내 연조직은 거의 수분으로 이루어져 있고 치아 경조직도 수분이 많으므로 레이저가 조사되는 부위에서 강력하게 흡수되며 주위조직에는 거의 상해를 주지않고 절제 혹은 절개가 가능하다. 또 중적외선 영역의 Neodymium 레이저는 역시 물에 흡수가 잘되나 색소체에도 흡수가 잘되어 광범위하게 적용범위를 갖는다. 자외선 영역의 레이저(엑시머 레이저)

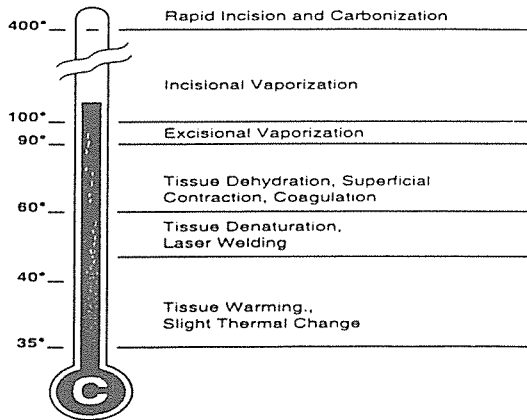


그림 3. 레이저광의 조직에 대한 광열효과. 레이저가 조직에 조사되었을 때 레이저의 효과는 기본적으로 온도가 상승됨에 따라 조직효과가 달라지게 되는 광열효과에 의한 다.

등은 파장이 짧고 침투력이 강력하므로 조직을 단번에 절제할 수 있다.

## 2) 레이저 방출양식

레이저가 방출되는 양식은 연속파 형태(continuous mode)와 펄스 형태(pulsed mode)로 나눌 수 있다. 연속파 양식이란 백열등에서 나오는 빛처럼 레이저가 작동되는 동안 계속적으로 빛이 방출되는 것이며 따라서 단위시간당 많은 에너지가 전달되어 같은 시간동안 조사된다면 펄스형태보다 훨씬 큰 조직상해를 일으킬 수 있다. 이에 반하여 펄스형태의 광원은 섬광등처럼 매우 짧은 시간에 빛이 반복되어 방출되는 것으로 빛이 방출되지 않는 펄스 사이동안에 조직이 냉각될 수 있기 때문에 주위조직에 대한 상해가 훨씬 적으며 똑같은 출력의 연속파형태보다 더 많은 에너지를 전달할 수 있다. 그러므로 펄스형 레이저는 낮은 출력으로 조직상해가 적으면서도 강력한 효과를 낼 수 있다. 또 펄스형 레이저의 커다란 특징중의 하나는 레이저 펄스가 방출되는 순간에 조직이 절제되지만 펄스 지속기간이 매우 짧아 말초신경이 통증을 전달하는 체계에 혼란을 야기하는 일종의 전기

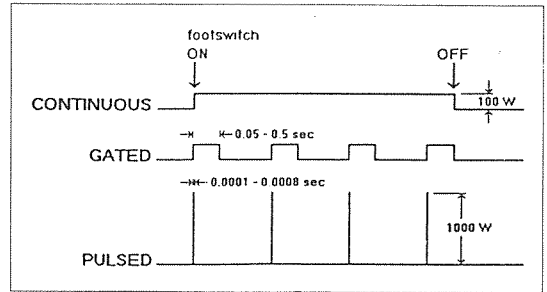


그림 4. 연속파형, 펄스형, 단속파형태의 레이저 방출양식. 펄스형 레이저는 같은출력으로 조직상해가 적으면서도 강력한 효과를 낼수 있다.

생리학적인 전자파 효과를 일으키기 때문에 연속파형의 레이저 시술보다 훨씬 무통적으로 시술할 수 있다는 것이다. 특히 Nd : YAG 레이저의 펄스 형태는 비접촉식으로 치아에 사용된다면 일부가 치수에 도달하여 일종의 가역적인 치수진탕을 일으켜 마취 효과를 나타내며 연조직의 신경통에도 다양하게 적용시킬수 있다(그림 4).

현재까지 개발된 많은 레이저 기기들은 연속파형과 펄스형의 2가지 레이저 방출양식을 동시에 가지고 있으며 펄스형 레이저를 방출할 수 없는 몇몇 기체 레이저(CO<sub>2</sub>레이저)등은 연속적으로 방출되는 레이저광의 전방에 전자식 개폐기를 부착하여 단속적인 형태(gated mode)의 레이저광을 방출하는 형태를 띠고 있다.

## 3) 전달체계

레이저광이 발생되어 목적부위까지 이르게 되는 전달체계(Delivery system)도 레이저 파장의 특성에 따라 달라진다. 오늘날 흔히 쓰이는 광섬유(수정 실리카 섬유)를 통해서 레이저 빛을 전달하려면 파장이 2500nm이하이어야 하며 CO<sub>2</sub>레이저광처럼 파장이 긴 원적외선 레이저는 광섬유에 강력히 흡수되기 때문에 광섬유전달계를 가질 수 없다. 그러므로 CO<sub>2</sub> 레이저의 초기단계에서는 적당히 거울이 배열된 접힘팔(articulated arm)로서 레이저광을 전달하였다.

그러나 접합팔이 수동으로 움직일 때 구강내에 시술하기에는 크고 불편하므로 1990년에 파도관기술(hollow waveguide technology)이 개발되었다. 이러한 형태는 1.2mm의 유연한 관을 통하여 레이저 빔이 전달되기 때문에 구강내 시술이 용이하게 되었으며 파도관 말단부에 tip을 부착하여 조직에 근접하여 빔을 전달할 수 있게 하였다. 그러나 이들은 광섬유에서와 같이 조직에 접촉식으로 사용할 수는 없다. 왜냐하면 접촉식으로 사용되면 탄화된 조직 찌꺼기나 조직잔사가 파도관의 말단부 내면(렌즈)에 부착되어 파도관이 손상되기 때문이다.

파장 2500nm이하의 파장을 가진 레이저들은 광섬유를 통해 전달될 수 있다. 이러한 레이저로는 argon, Nd : YAG, Ho : YAG 등이 있으며 광섬유는 실리카 석영으로 이루어진 유리막대 심이 내부에 있으면서 실리카 석영 섬유와 반사율이 다른 외부 피복, 그리고 비닐 보호커버로 이루어져서 광자들이 광섬유 내부에서 반사되면서 장축을 따라서 진행되게 되어 있다. 그러므로 광섬유 말단부에서 나오는 빛은 근본적으로 응집광은 아니며 조직으로부터 비접촉식 방법으로 사용될 때에는 조사되는 조직으로부터 멀어질수록 산란되고 조직에 가까이 근접하여 쏘일수록 빛은 응집되어 에너지 밀도가 높아져서 레이저력은 증가하게 된다. 또 단면이 작은 광섬유를 쏘수록 에너지의 집중이 향상되어 레이저력이 증가된다. 일반적으로, 광섬유 전달체계에 의한 레이저는 위와같이 비접촉 방식으로 쓰이거나 조직에 직접 닿게 하여 접촉방식으로 쓰일 수 있는 잇점이 있다. 사실, 레이저광을 광섬유를 이용하여 전달하고 이를 조직에 직접 접촉해서 쓰이게 하는 방법은 레이저 수술에 있어서 많은 편리함을 가져다 주었다. 접촉함으로써 촉감을 느낄 수 있고 조직절개의 정도를 조절할 수 있기 때문이다. 그러나 무엇보다도 가장 큰 장점은 레이저광이 조직에 근접할수록 침투깊이가 얕아지고 조직으로부터 멀어질수록 조직깊이 침투하므로 접촉방식으로 레이저를 시술하면 레이저가 조사되는 부위에만 레이저 효과가 작용되어 정밀하게 그리고 주위 조직의 손상없이 수술할 수 있다

는 것이다. 광섬유 전달체계를 접촉식으로 사용할 수 있는 것은 레이저광이 나오는 부분이 가장 에너지 응집력이 높고 접촉했을 때가 주위 조직의 손상이 가장 적기 때문이다. 그러므로 광섬유의 끝은 '뜨거운 말단부'가 되어서 조직을 자르거나 절개가 용이하게 되며 이의 효과를 배가 시키기 위해서 여러 형태로 조각된 사파이어 tip을 광섬유의 끝에 부착하고 수술목적에 알맞은 형태를 선택하여 접촉식으로 사용하면 수술을 훨씬 더 정밀하게 할 수 있다.

이에 반하여 광섬유를 비접촉식으로 사용하는 경우에는 레이저 마취나 진통효과를 얻기 위하여, 혹은 발치창등의 지혈을 위해서 많이 쓰이고 있다.

## 2. 레이저의 종류

일반적으로 레이저 기기는 다음 4가지 기본요소로 구성되어 있다.

- ① 활성레이저 매질(active lasing medium)
- ② 출력원(a power source)
- ③ 레이저 공명기 (laser resonator)
- ④ 레이저광 전달계

전술한 바와 같이 레이저는 특성 활성매질 (active lasing medium)에 에너지를 가하여 빛을 유도하는 장치이기 때문에 먼저 원자를 방출하는 활성 매질이 필요하다. 활성 매질로부터 방출되는 빛은 활성 매질의 특성에 따라 파장이 달라지며 여러종류의 레이저는 사용되는 활성매질에 따라 명명된다. 활성매질은 다음 4가지로 분류될 수 있으며 특히 고체매질은 주로 YAG(yttrium-aluminum-garnet) crystal위에 활성매질을 피복하여 막대형태로 사용되고 있다.

- ① 기체 : 전기에너지가 기체를 펌핑하여 레이저를 생산한다. 예) CO<sub>2</sub>, Argon, Krypton, Excimer
- ② 고체 : 레이저에너지를 생산하는 성분으로 도포된 특수 막대가 섬광 등에 노출되어 활성화 된다. 예) Nd : YAG, Ho : YAG, ruby, Erbium : YAG
- ③ 액체 : 활성매질은 다른 레이저 광에 의해 활성화

되며 넓은 범위의 파장을 생성하는 유기염료이다. 예) 염료 레이저

④ 반도체 결정 : 여러겹의 반도체 결정이 활성매질로 쓰이는 작고 효율적인 레이저

예) 반도체 레이저

위와같은 활성매질내 원자를 빛으로 방출되게 하기 위해서는 외부 에너지원이 필요한데 주로 화학에너지(chemical energy), 전기에너지(electrical energy), 레이저광(laser), 섬광등(flash lamp) 등의 4가지 출력원이 활성레이저 매질에 따라 쓰이게 된다. 기본적으로 기체레이저는 전기로 활성화되며 반면에 고체나 액체레이저는 섬광등에 의해 광학적으로 펌핑된다. 어떤 CO<sub>2</sub> 레이저는 라디오파에 의해서 활성화된다.

### 1) CO<sub>2</sub> 레이저

치의학용 CO<sub>2</sub> 레이저의 파장은 원적외선 영역의 10600nm이다. 현재 이 파장에 적합한 광섬유기구는 없으며, 기기는 파도관 방식이나 접힘팔 전달방식을 취한다. 원래 비접촉식 방법으로 사용되므로 구강의 좁은 장소에서 조작하기가 어렵다. CO<sub>2</sub> 레이저의 파장은 연조직과 경조직내 수분, 그리고 골과 치아의 무기질 성분에 강력히 흡수된다. 연조직을 절단하거나 기화할 때 열로 인한 상해부위는 표면으로부터 200-300 $\mu$ m 까지로 대단히 정밀하게 수술할 수 있으며 지혈 능력이 뛰어나다. 레이저 출력의 형태는 연속파로 방출되고 수술시 조절을 향상시키기 위해 단속파형태(gated mode)로 작동하는 것도 있다. 수술용 CO<sub>2</sub>레이저는 1970년대 이후로 유용하게 사용되었지만 치과에서 널리 쓰이게 된 것은 최근 몇 년전 부터이며 통상적인 구강연조직 수술에 대하여 FDA 공인을 받았다.

### 2) Nd : YAG 레이저

Nd : YAG 레이저는 1,604nm의 파장을 갖는 근적

외선 영역의 레이저이다. 조직에 접촉했을 때 멜라닌과 헤모글로빈 등 색소에 잘 흡수되며 물에도 잘 흡수되어 광범위한 적용범위를 가지고 있어 치과용 레이저로 현재까지 가장 많이 쓰이고 있다. Nd : YAG레이저의 특징은 광섬유 전달식으로 적용할 수 있으면서 펄스형 또는 연속파형으로 레이저를 출력할 수 있고 접촉방식 혹은 비접촉 방식으로 다양하게 사용할 수 있다는 것이다. 특히, 연속파형의 형태로 광섬유말단부에 사파이어 조각체를 부착하여 접촉식으로 사용하면 조직을 정밀하게 절제할 수 있어 많이 쓰이고 있으며 펄스형으로 비접촉식으로 사용하면 광화학 효과, 광응고 효과 및 마취 효과를 낼 수 있다.

현재 구강내 연조직수술에 있어 FDA의 공인을 받았으며 치아우식제거, 와동형성, 콤포짓레진 중합 등의 치아경조직에도 많이 사용하고 있다.

### 3) Ho : YAG레이저

Ho : YAG레이저는 2100nm의 파장을 갖는 적외선 영역의 레이저로 주로 조직의 수분에 잘 흡수되어 조직효과를 야기한다. 이의 특징은 Nd : YAG와 CO<sub>2</sub>레이저의 특징을 복합해 놓은 것으로 광섬유에 의하여 유연하게 구강내에 전달되면서 CO<sub>2</sub>와 마찬가지로 연조직을 쉽게 그리고 정확하게 절제할 수 있는 능력을 가지고 있다. 이것은 Holmium이 물에 쉽게 흡수되고 얇은 투과깊이를 가지고 있기 때문이다. CO<sub>2</sub>와 비교해 볼 때 Holmium레이저는 지혈효과가 뛰어나고 골과 연골에 사용할 때 보다 안전하고 효과적인 것으로 증명되었다. 현재 치과분야에서 경조직에 대한 사용은 FDA의 승인을 받지 못했지만 우식법랑질, 상아질, 치석, 연골등과 같은 경조직을 제거할 수 있다.

또, 낮은 출력에서 국소마취없이 조직과 반응하고 Nd : YAG레이저의 작용과 비슷하게 지혈작용을 조절할 수 있다. 진하거나 착색된 조직에 잘 흡수되고 Nd : YAG레이저와는 다르게 착색된 조직이나 흰조직에 모두 잘 흡수되며 펄스형, 혹은 연속파형으로,

접촉식 혹은 비접촉 방식으로 다양하게 조직에 적용시킬 수 있다.

#### 4) Er : YAG레이저

Er : YAG레이저는 2940nm의 파장을 갖는 적외선 영역의 레이저로서 파장이 물의 주된 흡수점과 일치하고 그 결과로 범랑질과 상아질을 포함한 모든 생물학적 조직에 잘 흡수되기 때문에 가장 기대받는 레이저이다. 현재까지 치아경조직 적용에 광범위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 연조직의 절단과 절개에도 쓰이고 있다. 그러나 길이가 긴 수정 광섬유에는 이 빛이 강력하게 흡수되어 짧은 광섬유를 사용하거나 파도관, 접힘팔 등의 전달체계를 사용하여야 한다.

#### 5) Argon레이저

Argon레이저는 광스펙트럼의 청녹색부위인 488과 514nm의 레이저 광을 방출한다. 이러한 이중파장의 빛은 물과 투명한 조직에 거의 영향을 주지않고 투과하지만 헤모글로빈이나 멜라닌, 기타 색소성물질에는 잘 흡수되어 Argon에너지가 이런 물질을 충분히 함유한 조직에 조사되면 조직표면근처에서 흡수된다. 수술시 열손상의 깊이도 이런 조직반응을 나타내는 CO<sub>2</sub>나 접촉식 Nd : YAG레이저의 경우와 유사하다. 그러나 Argon광은 조직에 부딪혔을 때 CO<sub>2</sub>나 접촉식Nd : YAG보다 더 잘 산란된다. Argon 레이저광은 조직에 1mm까지 확산되어 침투하므로 실제로 CO<sub>2</sub>보다 열의 강도가 낮다. 이러한 특성 때문에 고출력을 요하지 않으면서 에너지가 조직액과

조직을 지나서 색소화된 하부 목표구조물을 치료하기 위한 안과와 피부과에서 이상적이다. Argon레이저의 파장은 표준화된 수정광섬유를 통해 전달될 수 있으며 빛 자체로 스펙트럼의 가시광선영역에 속하므로 He-Ne 조준광이 필요치 않다. Argon레이저 사용할 때 가장 심각한 문제는 비효율적이며 부피가 크다는 점이다. 비교해보면 CO<sub>2</sub> 레이저는 20Wtt출력을 내기위해 100Wtt전력을 쓰며 Argon은 20000Wtt의 전력을 쓴다. 또 값비싼 삼상 고압선을 필요로 하고 게다가 레이저에너지로 생성된 과도한 열을 식히기 위해 특수 고압수냉식 장치로 식혀야 하며 사용수명이 제한된 플라즈마관은 사용하므로 설치비와 유지비가 많이 든다. 치과용으로 개발된 Argon레이저는 주로 수복치과학에서 치아우식증의 인식이나 광활성 치과 레진을 중합하는데 많이 쓰이고 있으며 가시광선에 의한 중합보다 시간이 1/4밖에 걸리지 않는다. 또한 전색제나 광중합물질의 물리적 특성이 강화되고 부착력이 향상되며 미세 누출이 감소되어 훨씬더 나은 결과를 제공한다.

### 참 고 문 헌

1. Miserendino, L. J. and Pick, R. M. : Lasers in Dentistry. Quintessence Publishing Co. Inc 1995.
2. Kutsch, V. K : Lasers in dentistry. : Comparing wavelengths. JADA 124 : 49-53,1993.
3. Pecaro, B. C. and Garchume, W. J. : The CO<sub>2</sub> laser in oral and maxillofacial surgery. J Oral Maxillofac. Surg. 41 : 725-728, 1983.
4. Pick,R.M. : Using lasers in dental practice. JADA 124 : 37-47, 1993.