

CO₂ laser 조사가 성견치수에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

연세대학교 치과대학 보존학교실

김 희 중 · 이 찬 영 · 이 승 중 · 이 정 석

I. 서 론

레이저 조사에 대한 의학적 응용은 1960년 Maiman²³⁾이 안과 영역에서 처음 소개하였고, 치의학에서의 응용은 1964년 Goldman⁹⁾이 루비레이저에 의한 우식치질제거 효과를 보고한 이래 많은 연구발표가 있어 Goldman⁹⁾, Gordon¹¹⁾, Stern³⁷⁾, Varner⁴³⁾은 루비레이저를, Kantola¹⁴⁾, Lobene²²⁾, Stern³⁹⁾, Tomita⁴²⁾은 CO₂ 레이저를 이용하여 법랑질과 상아질의 내산성 증가에 대해 보고하였다.

레이저의 치의학 분야의 응용은 내산성 증가로 인한 우식예방효과와 우식치질 삭제 가능성에 관한 것으로 나눌수 있다. 전자의 경우는 그 효과가 인정되어 비교적 많이 사용되고 있으나 후자의 경우 레이저의 실제 임상에서의 응용을 시도하여 Boehm³⁾, Kato¹⁶⁾, Nagasawa^{29,30)}, 이⁵⁸⁾등은 레이저 조사시 치아 각부분 및 치수강내 온도변화에 대해 연구하였으나 아직 실험단계에 있다. 또한 레이저가 치수에 미치는 영향을 알아보기 위한 동물실험에서 Adrian²⁾, Stern³⁷⁾, Taylor⁴¹⁾은 루비레이저를, Melcer²⁶⁾, Shoji³⁴⁾은 CO₂ 레이저를, Adrian¹⁾, Lentz²⁰⁾은 Nd-YAG 레이저를 사용하여 치수반응을 조직학적으로 관찰 보고하였다. 그 외 Weichman^{44,45)}은 근관치료에서 레이저에 의한 치근단 폐쇄를 Hooks¹²⁾은 reamer의 소독에 레이저를 이용하였고, 구강연조직에의 응용도 많이 이루어져 Clayman⁶⁾은 osteotomy시 골치유를 Kaplan¹⁵⁾은 피부치

유 과정을 Inouye¹³⁾, Litwin²¹⁾, Matsumoto²⁵⁾, Morikawa²⁷⁾도 피부색소제거 및 조직의 반응과 치유에 대해 보고하였다.

현재 치과 보존치료시 사용되고 있는 bur에 의한 치아 경조직 제거시 진동, 지속적인 열발생 절삭기구의 구강내 삽입시의 이물감, 삭제시의 소음, 냉각수 등으로 인하여 환자가 많은 고통을 느끼므로 레이저에 의한 치질 삭제는 단시간내 무통처치를 받을 수 있을 뿐 아니라 순간적인 고열에 의한 무균처치와 내산성 증가로 인한 2차우식증 예방효과^{22,36,40,47,48,50)}가 가능할 수 있어 그 가치가 클 것으로 기대된다. 그러나 치아표층에서 흡수된 에너지가 열에너지로 전환되어 치수 손상을 야기한다면 임상에서의 어려움이 따른다.

따라서 CO₂ 레이저에 의한 와동형성을 위한 기초적인 연구로써 본교실에서는 와동의 깊이⁵¹⁾, 치아각부분의 온도변화⁵²⁾ 및 형성된 와동벽의 상태^{53,54)}에 대하여 실험하였는 바 레이저 조사시 발생하는 열이 치수에 미치는 영향에 대한 평가가 있어야 임상적인 사용이 가능할 것이다. 그리고 CO₂ 레이저를 이용한 몇편의 동물실험이 있었으나 치수노출 후 조사하거나 와동형성 후 조사하였다. 이에 저자는 성견에서 CO₂ 레이저를 치수를 관통하지 않는 범위내로 조사하고 형성된 와동 하방의 치수 상태를 광학현미경 및 전자현미경으로 관찰하여 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

본 연구는 체중 15kg 내외의 영구치가 완전히 맹출된 성견 4마리를 대상으로 사용하였으며 대조군으로 상악 우측 견치와 제1대구치를 실험군 I로 상악 좌측 견치와 제1대구치 및 좌우측 측절치를 실험군 II로 하악 우측 견치와 제1대구치를 실험군 III으로 하악 좌측 견치와 제1대구치를 사용하였고 수복재료는 Dycal® (The L.D Caulk Co., Delaware, U.S.A.) 을 이용하였다.

나. 실험방법

본 실험에는 지속파 CO₂레이저(연세대학교 물리과 제작)로 초점거리가 12.7cm, beam size가 0.11mm, 출력은 10W로 고정하여 사용하였다.

실험동물은 체중 kg당 sodium secobarbital 30mg을 정맥내 주사하여 전신마취시키고 치아 표면을 완전히 건조시킨 후 레이저를 조사하였다. 실험군 I에는 0.2초, 실험군 II에는 0.5초, 실험군 III에는 1초 단회조사하고 형성된 와동에는 타액의 오염을 막기 위해 Dycal®로 피복하였다(Table 1).

실험조작 직후, 24시간, 72시간, 1주후 각각 1마리씩 희생시켰으며 얻어진 치아는 10% 중성 formalin에 고정시킨 후 탈회용액(5% formic acid, 7% aluminum chloride, 83% HCl)에 1주일간 침윤시켜 파라핀에 포매한 후 약 6 μ 두께로 연속시편을 얻어 일부는 hematoxylin-eosin염색을 일부는 PAS (Periodic Acid-Schiff) 염색을 하여 광학현미경으로 관찰하였다.

전자현미경으로 관찰하기 위해 동일한 방법으로

Table 1. Parameters of CO₂ laser irradiation by power & time

Group	Time (sec)	Power (W)	Energy density (J/mm ²)
Group I	0.2	10	113.23
Group II	0.5	10	283.09
Group III	1.0	10	566.08

얻은 치아는 즉시 1% paraformaldehyde+1% glutaraldehyde용액에서 24~48시간 고정시키고 10% EDTA(disodium salt of ethylenediamine tetra-acetic acid)용액에서 3주간 탈회시켰다. 완전히 탈회된 치아는 1 μ 두께로 잘라 1% toluidine blue 염색후 광학현미경으로 관찰부위를 선정한 다음 초박 절하여 uranyl acetate와 lead citrate로 부염색하여 투과전자현미경 (H-500, Hitachi, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

III. 실험 성적

가. 광학현미경적 관찰

1. 정상 치수조직

치수는 상아질에 둘러싸여있는 결합조직으로서 4층으로 나뉘어지며 상아질의 하방에 있는 조상아세포층은 타원형의 핵이 치수쪽에 위치하며 세포질은 예성상아질(predentin)쪽에 위치하는 극성배열을 가진 원주세포로 구성되어있다. 조상아세포는 치관부에서는 여러층이나 치근단으로 갈수록 입방세포로 변형되며 단층으로 감소된다. 조상아세포층 다음은 세포성분이 희박한 cell-free zone이고 그 다음은 섬유아세포, 미분화세포 등이 풍부한 cell-rich zone이다. 치수 심부는 신경과 혈관이 위치한 치수기질로 구성되어있다^{35,46)}(Fig. 1).

2. 실험군 I

CO₂레이저를 113.23J/mm² 조사한 군으로써 즉시 표본에서 치수는 상아질내로 전이한듯한 현상을 보였다. 조사부위의 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer (cell free zone과 cell rich zone)에 응고괴사가 초래되었으며 예성상아질의 양적변화는 볼 수 없었다(Fig. 2). 24시간소군과 72시간소군에는 레이저 조사부위의 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer에 응고괴사가 관찰되었으며 1주소군에는 응고괴사없이 조상아세포층의 현저한 증식때문에 국소적으로는 원주상피가 극성배열을 이루고 있었고 일부는 뚜렷한 세포질을 갖는 난원형 혹은 입방상피로서 극성배열없이 다층세포구조(stratification)를 이루고 있었다(Fig. 3). 예성상아질의 양은 불규칙하게 증가되는 양상이었고(Fig. 4) 전실험기간을 통해 치수내 염증소견은 보이지 않았다.

Table 2. Histopathologic findings of the Group I.

time \ finding	odontoblastic layer			predentin formation	deep pulp tissue			
	coagulation necrosis	hemorrhage	regenerative hyperplasia		coagulation necrosis	hemorrhage	inflammation	fibrosis
Immediate	diffuse				diffuse			
24hr	+	-	-	-	+	-	-	-
72hr	+	-	-	-	+	-	-	-
1wk	-	-	+	↑	-	-	-	-

Table 3. Histopathologic findings of the Group II.

time \ finding	odontoblastic layer			predentin formation	deep pulp tissue			
	coagulation necrosis	hemorrhage	regenerative hyperplasia		coagulation necrosis	hemorrhage	inflammation	fibrosis
Immediate	+	+	-	-	+	+	-	-
24hr	+	-	-	-	+	-	-	-
72hr	+	-	-	-	+	-	-	-
1wk	-	-	+	↑	-	-	-	-

Table 4. Histopathologic findings of the Group III.

time \ finding	odontoblastic layer			predentin formation	deep pulp tissue			
	coagulation necrosis	hemorrhage	regenerative hyperplasia		coagulation necrosis	hemorrhage	inflammation	fibrosis
Immediate	+	+	-	-	+	+	-	-
24hr	+	-	-	-	+	-	-	-
72hr	+	-	-	-	+	-	-	-
1wk	+	-	+	↑	-	-	-	-

3. 실험군 II

CO₂ 레이저를 283.09J/mm² 조사한 군으로써 즉시 표본에서 치수의 상아질로의 전이와 조상아세포층 및 subodontoblastic pulpal layer의 응고괴사가 관찰되었고 예성상아질의 변화는 없었다. 24시간, 72시간소군에서 조사부위의 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer의 괴사소견이 관찰되었다(Fig. 5). 1주소군에는 괴사없이 조상아세포층의 재생이 일어나 여러층의 원주상피가 극성배열을 이루고 있었으며 전 실험기간을 통해 염증소견은 볼 수 없었다.

4. 실험군 III

CO₂ 레이저를 566.08J/mm² 조사한 군으로써 즉시표본에서 치수가 상아질내로 전이한듯한 형태를 보이며 응고괴사가 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer에서 모두 관찰되고 예성상아질의 변화는 없었다. 24시간, 72시간소군에서는 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer에 응고괴사가 관찰되었고 충혈현상도 보였으나 예성상아질의 양에는 변화가 없었다. 1주소군의 경우 조상아세포층은 괴사된 부위, 위축현상 및 재생성 증식 소견 등이 다양하게 관찰되었으며 예성상아질의 양도 불규칙하게 증가되는 소견이었다(Fig. 6). 그리고 다른 군과 마찬가지로 염증소견은 관찰되지 않았다.

나. 전자현미경적 관찰

미세구조적 소견은 실험초기군(즉시, 24시간, 72시간소군)에서 조상아세포의 괴사 및 변성이 관찰되었고 1주소군에는 재생되는 조상아세포와 정상적인 조상아세포로 분화된 형태를 볼 수 있어 실험기간에 따른 변화가 주된 소견이었으며 I, II, III군의 조사량에 따른 미세구조적 차이를 발견할 수 없었다.

1. 정상치수조직

정상 조상아세포는 원주세포로서 극성배열을 이루고 있고 핵인도 뚜렷이 관찰되었다. 세포질에는 사립체(mitochondria), 소포체(rough-surfaced endoplasmic reticulum), Golgi complex 등이 풍부하며 작은 소포(small vesicle)도 산재해 있었다. 세포사이에는 junctional complex가 잘 발달되어 있었다(Fig. 7,8).

2. 초기의 미세구조적 소견

조상아세포의 괴사소견으로서 핵은 염색체의 변성 또는 응축이 관찰되었고 국소적으로 핵막이 파괴

되어 연속성이 상실되어 있었다(Fig. 9). 세포질에는 lysosomal body 및 lipofuscin granule이 다수 관찰되었으며(Fig. 13), 사립체, 소포체 등의 세포기관은 분해되면서 공포형성을 하고 있었다(Fig. 11). 세포막은 파괴되어 있었으며 세포간의 junctional complex는 볼 수 없었다(Fig. 9).

괴사소견이 없는 일부에서는 단지 변성만이 일어났고 세포에서는 극성배열과 세포막 및 junctional complex는 유지되어 있으며 세포질에서 다수의 공포와 lysosomal body가 관찰되었다.

3. 1주소군의 미세구조적 소견

재생되는 과정의 조상아세포는 원주세포라기보다는 작은 입방세포 혹은 다각형의 세포로서 원형 및 난원형의 핵과 뚜렷한 인을 가지고 있고(Fig. 12) 극성배열을 볼 수 없었으며 세포질내에는 사립체, 소포체, Golgi complex가 산재되어 있었고 작은 소포도 많은 양 볼 수 있었다. 세포간의 junctional complex도 잘 발달되어 있었다.

비교적 성숙된 세포에서는 원주세포로서 극성배열을 이루고 핵은 타원형이며 세포질내 기관도 정상 세포와 유사하여 사립체, 소포체, Golgi complex가 있고 작은 소포도 다수 관찰되었다(Fig. 10,14).

IV. 총괄 및 고안

상아질에 둘러싸여 있는 치수는 결합조직으로서 약제, 수복재, 미생물, 온도변화, 전기적자극, 기계적·물리적 자극을 해당치아나 그 인접조직에 가했을 때 손상을 받을 수 있는 조직으로³³⁾ 치수 내압이 다른 동맥압과 차이가 나므로 말초신경의 한계역치를 넘게 되면 심한 동통을 야기하게 된다.⁴⁰⁾ 또한 치수강에 생긴 열은 그 확산 범위가 한정되기 때문에 열의 상승이 다른 조직보다 빠르다³⁴⁾. 이와같이 치수가 가진 구조적 형태적 특성때문에 레이저를 치과임상에 응용하고자 할때 치수에 미치는 영향을 알아봄은 의의가 있다고 사려된다.

레이저의 생체에 대한 작용은 크게 열작용, 압력작용, 광작용, 전자기적 작용 등이 있으며 일반적으로 조직에 미치는 레이저의 열작용은 단위면적당 조사된 에너지 밀도에 따르며, 이때 손상의 정도는 조직에 흡수되는 에너지의 양에 따르는데 흡수량은 레이저고유의 레이저파장³⁷⁾, 조사의 형태(연속파, pulse파) 조

직의 광학적 성질(반사율, 투과율, 색채)^{17,43,47}, 수분의 유무^{18,26,30}, 체액순환의 정도¹⁶)에 따라 다르게 나타난다. 치아에 흡수된 에너지는 흡수, 전도, 반사에 의해 치아에 와동을 만들거나 주위의 조직에 전달되어 치수, 치근막, 및 치조골 세포에 영향을 줄 수 있다.^{18,31}

최초로 개발된 루비레이저는 파장이 6943 Å으로 범랑질에서 입사에너지의 20%밖에 흡수되지 않고 80%는 표면에서 반사되고 CO₂레이저는 파장이 10.6μ으로 범랑질에 효과적으로 흡수된다⁴⁷. 그러므로 치수에 대한 열작용은 루비레이저보다 이론적으로 커서 루비레이저 250J/cm²시의 치수반응을 pulsed CO₂레이저의 10~25J/cm²의 치수반응이라 예측할 수 있으며³⁶ 내산성 증가면에서 pulsed CO₂레이저를 13~50J/cm²의 범위로 조사하고 주사전자 현미경과 microradiographic examination을 한 결과 루비레이저보다 효과적이었으며^{14,39,42}연조직에 미치는 영향을 비교해도 CO₂레이저가 손상이 적었다⁴². 그러나 CO₂레이저의 파장에 대한 fiber가 아직 개발되어 있지 않기 때문에 선택적으로 필요한 부위로 유도할 수 없다는 문제점이 있다.

치아에 조사하는 CO₂레이저의 에너지 밀도는 내산성 증가를 관찰하기 위한 경우^{14,22,38,39,40,47,50,55}와 와동을 형성하기 위한 경우에는 차이가 있었다. 전자는 치아범랑질 표층에 변화를 주기 위한 것으로 15~20J/cm²에서 균열이 관찰되었으며^{4,14,42} 에너지가 증가할수록 치질파괴가 심부까지 도달하는데^{53,54,56} 이때 치수 손상은 없다고 보고되었다³⁶. 후자의 경우 와동형성에 필요한 강한 에너지 밀도가 요구되어 Brune⁵은 CO₂레이저 조사시 100J/mm²이 넘으면 상아질의 균열 및 파절이 발생했으며 200J/mm²에서는 더욱 뚜렷하였다고 보고하였다. 이등⁵²은 발거된 사람치아에 80~1274J/mm²를 조사한 실험에서 637J/mm²이상이면 치수를 관통시키고 80J/mm²이하이면 상아질에 침투하는 양이 0.8~1.1mm 이하라 보고하였다. 이때 사용한 에너지 밀도가 치수에 미치는 영향에 대하여는 Melcer등²⁶은 개와 원숭이에서 5급 와동을 형성하고 CO₂레이저를 조사한 후 관찰하여 800~8000J/cm²의 에너지 밀도에서는 피사없이 상아질의 재생이 일어난다고 보고하였다. 본 실험에서 사용한 에너지 밀도는 Brune⁵, 이등⁵², Melcer등²⁶의 보고에 따라 상아질에 침투하고 치수를 관통시키

지는 않으며 상아질의 재생 및 치수의 피사를 일으킬 수 있는 범위인 113~566J/mm²을 선택 실험하였다.

Seltzer등³³이 치아의 수복재, 약제 및 물리적·기계적 자극을 주고 치수반응을 관찰한 실험에서 자극을 준 후 즉시 얻는 표본의 조상아세포들은 별변화가 없었고 14시간 이후가 되어야 염증소견이 발견된다고 보고하였는데 본 실험에서 I, II, III군의 즉시 표본은 광학현미경 소견상 거의 모든 표본에서 조상아세포들이 상아세포관내로 전이된 듯한 현상을 보이고 있었다. 이와같은 조상아세포층의 이동은 CO₂레이저 조사시 경조직 표면에 가해지는 고열에 의한 조사부위의 탈수현상 및 조사시 집중된 압력이나 충격과 같은 물리적인 힘에 의한 변화라 생각되는데 24시간 이후의 표본에서는 이런 현상이 발견되지 않으므로 일시적인 현상이라 사려된다.

Shoji등³⁴은 개에서 치수절단후 CO₂레이저를 focused beam, unfocused beam으로 조사하고 즉시 희생시켜, 3J 혹은 그 이상이면 치수의 출혈을 막을 수 있고 focused beam 0.3J, defocused beam 1.5J 이하는 상아질에 흔적을 남기지 않으며 조사된 에너지의 양, 파장에 따라 노출된 치수 하방의 응고폭이 결정된다고 하였다. 이때 조사된 에너지의 양이 상당히 소량이었음에도 불구하고 응고괴사가 나타난 것은 치수 노출 부위에 직접 조사했기 때문에 치수강내에서 열의 확산이 한정되어 열의 상승이 다른 조직보다 커서 응고괴사가 일어났다고 보고하였다. Adrian등²은 개에 루비레이저를 조사하고 48시간 후 관찰하여 1880J/cm²에서는 치수의 변화가 없고 2330J/cm²에서는 치수의 출혈응고, 괴사, 부종 및 염증세포의 출현 등이 나타난다고 보고하였으며 Stern등³⁷은 침팬지에 루비레이저를 조사하고 3일후 치수의 변화를 관찰한 바 약간의 세포 응축만이 관찰되었고 염증의 증거는 없으며 에너지 밀도가 60J/cm²에서 250J/cm²로 증가해도 세포의 변화가 뚜렷이 증가하지 않았다고 보고하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 실험기간이 즉시부터 3일까지로 차이가 있음에도 불구하고 결과는 유사하였다. 본 실험에서도 I, II, III군의 실험초기군인 즉시, 24시간, 72시간소군에서 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer에 응고괴사와 출혈이 나타났으며 전자현미경적 소견으로는 괴사의 증거로서

핵내 염색체의 변성과 응축, 핵막의 부분적 소실 및 세포질내 세포기관의 공포변성과 세포막의 파괴등이 관찰되었다. 본 실험의 실험초기군에서 실험군 및 실험기간에 차이가 없었는데 실험기간에 차이가 없는 것은 치아에 미치는 레이저 조사시의 열과 충격 압 등이 복합적으로 작용하여 치수에 유해작용을 나타내므로 어느 한계까지는 조사량 사이에 차이가 없고 그 한계를 벗어나면 차이가 생기리라 사려되고 실험기간에 따른 차이가 없는 것은 조상아세포와 subodontoblastic pulpal layer의 변화를 일으킬 수는 있는 기간이나 조상아세포의 재생 및 예성상아질의 양을 증가시키기에는 부족한 기간이었기 때문이라 생각한다.

한편, Taylor 등⁴¹⁾은 쥐에 루비레이저를 조사하고 3일과 7일에 관찰한 결과 3일에는 조상아세포의 변성과 염증세포가 관찰되었고 7일에는 치유의 증거가 보이는데 35J의 경우가 55J의 경우보다 많이 나타난다고 하였다. Melcer 등²⁶⁾은 개와 원숭이의 치아에 5급 와동을 형성하고 치수벽에 CO₂ 레이저를 조사하여 30일후 관찰하였는데 $8 \times 10^2 \sim 8 \times 10^3 \text{ J/cm}^2$ 의 에너지 밀도에서 재생성 상아질의 형성이 치수조직의 세포 변화없이 생성되었다고 보고하였다.

본 실험에서도 I, II군의 1주소군에서 응고괴사 없이 조상아세포층의 증식과 극성배열이 보였으며 예성상아질의 양이 증가하고 있었고 III군의 1주소군에서는 응고괴사, 위축현상 및 재생성 증식, 예성상아질의 증가를 관찰할 수 있었다. 전자현미경상에서도 재생되는 세포의 특성인 다수의 작은 소포 형성, 원형 및 난원형의 핵을 가진 입방상피모양의 미성숙 조상아세포와 극성배열을 한 성숙된 조상아세포를 볼 수 있었고 세포 사이의 junctional complex도 잘 발달되어 있었다. 따라서 초기에는 치수의 일시적인 손상이 초래되지만 1주후에는 모든군에서 재생되는 소견이 보였다. 이는 치아표면 온도의 5%만이 치수표면에 전달되어 영구적인 손상은 일으키지 않는다는 Stern³⁶⁾의 보고와 일치한다. 또한 III군에서는 재생소견에 조상아세포의 변성도 같이 관찰되었는데 이는 Taylor 등⁴¹⁾의 실험 결과처럼 에너지 밀도가 커짐에 따라 치수 병변이 심부까지 도달했기 때문이라 생각한다. 한편 이등⁵²⁾의 CO₂ 레이저의 치수내 침투 깊이와 차이가 있는 것은 CO₂ 레이저는 수분에 잘 흡수되므로³¹⁾개의 치아에서 침투깊이가 적었으리라

사려된다.

치과임상에서 CO₂ 레이저를 와동형성에 이용하려는 시도가 있었지만 현재까지는 실용화되지 못하고 있는 실정이다. CO₂ 레이저를 와동형성에 사용하기 위해서는 레이저에 대한 완벽한 이해와 지식이 필수적이며 레이저 조사부위의 와동 깊이와 치수반응과의 상관관계에 대한 재평가가 이루어져야 하고 더 나아가 치수에 영향을 주는 에너지범위를 설정하고 치수의 치유능력과 치수반응을 객관화하기 위해서는 더 많은 실험과 그에 따른 생물학 및 병리조직학적 연구가 뒷받침되어야 한다고 생각한다.

V. 결 론

CO₂ 레이저를 성경 치아의 치경부에 레이저 출력을 10W로 고정시키고 I 군은 에너지 밀도를 113.23 J/mm²를, II 군은 283.09J/mm²를, III 군은 566.08J/mm²를 조사한 후 즉시, 24시간, 72시간, 1주후 희생시켜 표본을 제작하여 광학현미경 및 전자현미경으로 치수의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. I, II, III군의 실험초기군인 즉시, 24시간, 72시간소군에서 에너지 밀도와 상관없이 조사받은 부위의 조상아세포층과 subodontoblastic pulpal layer에 응고괴사 및 충혈현상이 나타났다.
2. I, II군의 1주소군에서 응고괴사 없이 조상아세포의 재생성 증식과 예성상아질의 불규칙한 증가가 관찰되었으며 III군의 1주소군에서는 응고괴사, 위축현상 및 재생성 증식이 다양하게 관찰되었다.
3. 전자현미경적으로 I, II, III군의 실험초기군에서는 조상아세포의 괴사 및 변성으로 핵의 변성, 세포질의 공포변성, 세포막 파괴등이 관찰되었다.
4. 전자현미경적으로 I, II, III군의 1주소군에서 조상아세포의 재생과 극성배열을 갖는 분화된 조상아세포가 관찰되었다.
5. CO₂ 레이저를 치수를 관통하지 않는 113~566 J/mm²로 조사했을때 일시적인 치수손상은 일으키지만 1주후에는 회복 및 재생되는 관찰되었다.

REFERENCES

1. Adrian, J.C.: Pulp effects of neodymium laser, A preliminary report, *Oral Surg.*, 44: 301, 1976.
2. Adrian, J.C., Bernier, J.L. and Sprague, W.G.: Laser and the dental pulp, *J. Am. Dent. Assoc.*, 83: 113, 1971.
3. Boehm, R.F., Chen, M.J., and Blair, C.K.: Temperatures in human teeth due to laser heating, A.S.M.E. Paper 75-WA/Bio-8, pp. 10-17, 1975.
4. Borggreven, J.M.P.M., Van Duk, J.W.E., and Driessens, F.C.M.: Effect of laser irradiation on the permeability of bovine dental enamel, *Arch. Oral Biol.*, 25: 831, 1980.
5. Brune, D.: Interaction of pulsed carbon dioxide laser beams with teeth in vitro, *Scand. J. Dent. Res.*, 88: 301, 1980.
6. Clayman, L., Fuller, T., and Beckman, H.: Healing of continuous-wave and rapid super-pulsed, carbon dioxide, laser-induced bone defects, *J. Oral Surg.*, 36: 932, 1978.
7. Dederich, D.N., Zakarisen, K.L., and Tulip, J.: Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following neodymium-yttrium-aluminum garnet laser irradiation, *J. Endo.*, 10: 428, 1984.
8. Goldman, L., and Blaney, D.J.: Aspect of laser, *J. Am. Dent. Assoc.*, 188: 303, 1964.
9. Goldman, L., Gray, J.A., Goldman, J., Goldman, B., and Meyer, R.: Effect of laser beam impacts on teeth, *J. Am. Dent. Assoc.*, 70: 601, 1965.
10. Goldman, L., Hornby, P., Meyer, R., and Goldman, B.: Impact of the laser on dental caries, *Nature*, 203: 417, 1964.
11. Gordon, T.E.: Some effects of laser impacts on extracted teeth, *J. Dent. Res.*, 45: 372, 1966.
12. Hooks, T.W., and Adrian, J.C.: Use of the carbon dioxide laser in sterilization of endodontic reamers, *Oral Surg.*, 49: 263, 1980.
13. Inouye, T., Miyakogawa, N., Hiraide, F., Tubaki, Y., Sawada, M., and Tanaka, E.: Basic experiment of CO₂ laser irradiation, *醫用レーザー研究会* 3: 189, 1979.
14. Kantola, S.: Laser-induced effects on tooth structure IV. A study of changes in the calcium and phosphorus contents in dentine by electron probe microanalysis, *Acta. Odont. Scand.*, 30: 463, 1972.
15. Kaplan, I., and Ger, R.: The carbon dioxide laser in clinical surgery, *Israel J. Med. Sci.*, 9: 79, 1973.
16. Kato, K., Nagasawa, A., Nishikawa, K., Hiratsuka, Y., Kawahara, T., and Atsmi, K.: Basic study on change of temperature of a tooth after CO₂ laser irradiation, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 294, 1980.
17. Kinersly, T., Jarabak, J.P., Phatak, N.M., and DeMent, J.: Laser effects on tissue and materials related to dentistry, *J. Am. Dent. Assoc.*, 70: 593, 1965.
18. _____: Lasers and teeth, *N. Y. State Dent. J.*, 32: 56, 1966.
19. _____: Laser-induced microperforations in teeth sections, *J. Dent. Res.*, 45: 199, 1966.
20. Lenz, P., Pyttel, U.J., and Glide, H.: Morphologische unter suchungen zur wirkung der laserstrahlung aus pulpa und mundschleimhaute, *Dtsch. Zahnarztl. Z.*, 32: 508, 1977.
21. Litwin, N.S., and Glew, D.H.: The biological effects of laser radiation, *J. Am. Dent. Assoc.*, 187: 842, 1964.

22. Lobene, R.R., Bhussry, B.R., and Fine, S.: Interaction of carbon dioxide laser radiation with enamel and dentin, *J. Dent. Res.*, 47: 311, 1968.
23. Maiman, T.H.: Stimulated optical radiation in ruby, *Nature*, 187: 493, 1960.
24. Matsumoto, K.: Scanning electron microscopic study on the surface of the lased enamel and dental filling materials, *Japan J. Conserv. Dent.*, 24: 188, 1981.
25. Matsumoto, K., Ochi, K., Tachibana, H., and Wakabayashi, H.: Study on the removal of the melanin pigmentation by Nd: Yag laser, *Japan J. Conserv. Dent.*, 29: 1543, 1986.
26. Melcer, J., Melcer, F., Zeboulon, S., Hasson, R., Merard, R., Pinaudeau, Y., Dejardin, J., and Weill, R.: Preliminary report on the effect of the CO₂ laser beam on the dental pulp of the Macaca Mulatta primate and the beagle dog, *J. Endo.*, 11: 1, 1985.
27. Morioka, T., Suzuki, K., and Hatada, N.: Effect of laser irradiation on an increment of sealant adhesion and resistibility, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 327, 1980.
28. Myers, T.D., and Myers, W.D.: The use of a laser for debridement of incipient caries, *J. Proth. Dent.*, 53: 776, 1985.
29. Nagasawa, A., Nishikawa, K., and Hiratsuka, Y.: Difference of effects CO₂ laser, Nd-YAG laser and Argon laser on human teeth, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 177, 1980.
30. Nagasawa, A., Kato, K., Nishikawa, K., Hiratsuka, Y., Kawahara, T., Arai, K., Kuroda, S., and Atsumi, K.: Basic study on repetition pulse laser for it's clinical application, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 307, 1980.
31. Nishikawa, K., Nagasawa, A., Kato, K., Hiratsuka, Y., Kawahara, T., and Atsumi, K.: Safeguards against CO₂ laser irradiation in dentistry, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 287, 1980.
32. Sanders, J.H.: The birth of the laser, *American Elaserier Co.*, pp. 1-17, 1961.
33. Seltzer, S., Bender, I.B., and Kaufman, I.J.: Histologic changes in dental pulps of dogs and monkeys following application pressure, drugs, and microorganisms on prepared cavities, *Oral Surg.*, 14: 327, 1961.
34. Shoji, S., Nakamura, M., and Horiuchi, H.: Histopathological changes in dental pulps irradiated by CO₂ laser, A preliminary report in laser pulpotomy, *J. Endo.*, 11: 379, 1985.
35. Stanley, H.: The cells of the dental pulp, *Oral Surg.*, 15: 849, 1962.
36. Stern, R.H.: The laser in dentistry; A review of the literature, *J. Dent. Assoc. S. Afr.*, 29: 173, 1974.
37. Stern, R.H., Renger, H.L., and Howell, F.V.: Laser effects on vital dental pulps, *Br. Dent. J.*, 1: 26, 1969.
38. Stern, R.H., and Sognaes, R.F.: Laser effect on dental hard tissues, *J. S. Calif. Dent. Assoc.*, 33: 17, 1965.
39. Stern, R.H., Vahl, J., and Sognaes, R.F.: Lased enamel; Ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser effects, *J. Dent. Res.*, 51: 455, 1972.
40. Stewart, L., Powell, G.L., and Wright, S.: Hydroxyapatite attached by laser; A potential sealant for pits and fissures, *Oper. Dent.*, 10: 2, 1985.
41. Taylor, R., Shklar, G., and Roeber, F.: The effects of laser radiation on teeth, dental pulp, and oral mucosa of experimental animals, *Oral Surg.*, 19: 787, 1965.
42. Tomita, F., Suzuki, Y., Kaneko, K., Mita, S.,

- Iwata, T., Onozuka, M., and Sugaya, E.: Chemical state change in human tooth enamel by low energy laser exposure, *Dentistry and Oral Surgery*, 12: 17, 1984.
43. Vaner, R.E., Jarabak, J.P., Phatak, N.M., and Kinersly, T.: Effect of different colored stains on laser microbeam impact sites on tooth enamel. *J. Dent. Res.*, 46: 756, 1976.
44. Weichman, J.A., and Johnson, F.M.: Laser use in endodontics, *Oral Surg.*, 31: 416, 1971.
45. Weichman, J.A., Johnson, F.M., and Nitta, L.K.: Laser use in endodontics, *Oral Surg.*, 34: 828, 1972.
46. Wein, F.S.: *Endodontic therapies*, St. Louis, 3rd edi., 1982, The C. V. Mosby Company.
47. Yamamoto, H.: 虫歯豫防のレーザーの應用, *J. Japan Society for Laser Medicine*, 1: 222, 1980.
48. Yamamoto, H., and Sato, K.: Prevention of dental caries by acousto-optically Q-switched Nd: YAG laser irradiation, *J. Dent. Res.*, 59: 137, 1980.
49. 김광주: Hydroxyapatite피복이 치근 및 주위조직에 미치는 영향에 관한 연구, 월간 치과연구, 14: 55, 1983.
50. 김순주: 탄산가스레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한소아치과학회지, 12: 9, 1985.
51. 박동수: 성전에 있어서 Cobalt-60 조사가 치수치유 과정에 미치는 영향에 관한 연구, 대한치과보존학회지, 9: 15, 1983.
52. 이정석 외: 레이저의 치아보존치료에의 응용 I, CO₂ 레이저조사가 치아경조직에 미치는 영향, 대한치과의사협회지, 23: 881, 1985.
53. 이종만 외: CO₂ 레이저 조사에 따른 치수강내 온도변화에 관한 실험적 연구, 대한치과보존학회지, 10: 43, 1984.
54. 이한룡 외: CO₂ 레이저조사에 따른 치아경조직 변화에 관한 편광현미경적 연구(II), 대한치과 의사협회지, 24: 171, 1986.
55. 장계봉 외: CO₂ 레이저조사가 치아경조직에 미치는 영향에 관한 EMPA분석 및 주사전자현미경적 연구, 대한치과보존학회지, 12: 51, 1986.
56. 전훈식: Laser조사가 치아경조직에 미치는 변화에 관한 실험적 연구-편광현미경적 및 주사전자현미경적 연구, 대한치과의사협회지, 24: 261, 1986.

— ABSTRACT —

THE EFFECT OF CO₂ LASER ON DENTAL PULP OF DOG

Hee Joong Kim, Chan Young Lee, Sung Jong Lee, Chung Suck Lee,

*Department of Operative, College of Dentistry
Yonsei University*

The object of this paper was to investigate the histopathological changes on dog's pulp under cavitation by irradiation of the CO₂ laser. The subjects were derived from four dogs, and irradiated 113.23 J/mm², 283.09 J/mm², 566.08 J/mm² in Group I, II, and III respectively. The dogs were sacrificed immediately, 24 hour, 72 hour and 1 week after CO₂ laser treatment. For light microscopic examination, routine H-E and PAS stains were employed. For electron microscopic observation, the teeth were fixed in 1% paraformaldehyde and 1% glutaraldehyde, decalcified teeth in 10% EDTA were stained by uranyl acetate and lead citrate. The observation was made with a Hitachi H-500 model electron microscope.

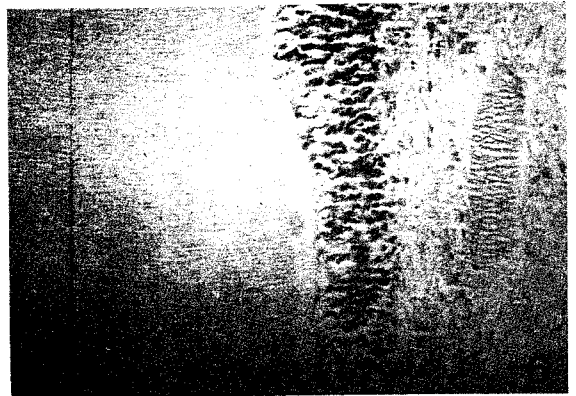
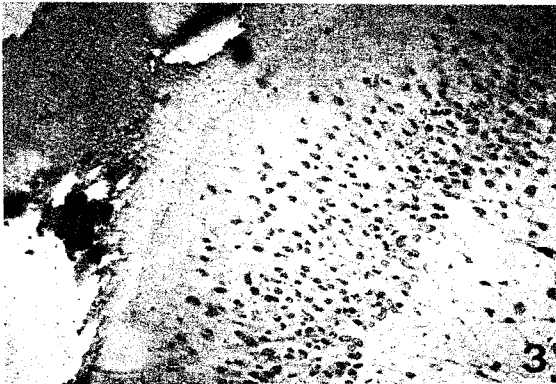
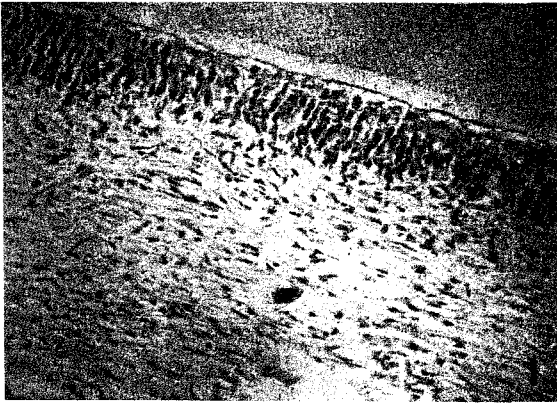
The following results were obtained in this study:

1. At the early stage of the experimental sub-groups-immediately, 24 hour, 72 hour samples of Group I, II and III-coagulation necrosis and hyperemia were observed in odontoblastic and subodontoblastic pulpal layer.
2. At the 1 week sub-group of Group I, II, regenerative hyperplasia of the odontoblasts without coagulation necrosis were revealed, in addition to thickened predentin. On the other hand coagulation necrosis and atrophic change accompanying with hyperplasia were found at the 1 week sub-group of Group III.
3. Ultrastructurally, the odontoblasts appeared nuclear degeneration, vacuolar change of cytoplasmic organelles and rupture of plasma membrane at the early stage of the experimental period of all groups.
4. Under electromicroscopic examination, regenerative odontoblasts were seen at the 1 week specimens of Group I, II and III.
5. The pulpal response occurred at 113-566 J/mm². The pathologic change of pulp tissue occurred at the early experimental period but regeneration of odontoblasts could be seen after 1 week.

사진부도설명

- Fig. 1.** 대조군, 원주 형태의 조상아세포가 다층의 극성배열을 보이고 일정한 두께의 예상상아질의 보임, H-E, X 100
- Fig. 2.** Group I, 즉시표본, 조상아세포의 응고괴사를 보임, Toluidine blue, X 100
- Fig. 3.** Group I, 1주표본, 조상아세포층의 증식을 보이며 극성배열은 뚜렷하지 않음, Toluidine blue, X 100
- Fig. 4.** Group I, 1주표본, 조상아세포층의 재생된 소견으로 응고괴사는 볼 수 없으며 예상상아질의 양의 증가를 보임, H-E, X 100
- Fig. 5.** Group II, 24시간표본, 조상아세포층의 위축 및 응고괴사를 보임, H-E, X 100
- Fig. 6.** Group III, 1주표본, 재생된 조상아세포층의 부분적인 극성배열이 관찰됨, H-E, X 100
- Fig. 7.** 대조군, 원주형의 조상아세포가 다층배열을 보임, Nu : 핵, CP : 세포돌기, X 2860
- Fig. 8.** 대조군, 조상아세포는 극성배열을 보이며 세포질내 소포체 (RER), 사립체, Goigi complex도 포함하며 세포사이에 junctional complex (JC)가 보임, X 7150
- Fig. 9.** Group I, 즉시표본, 조상아세포가 괴사되어 핵은 염색체의 변성을 보이며 세포막의 파괴로 세포내기관들이 세포밖으로 산재해 있음, Va : 공포변성, Ly : lysosome, X 5720
- Fig. 10.** Group I, 1주표본, 정상세포와 유사한 소견으로서 극성배열과 다수의 작은 소포 (Ve)가 관찰됨, X 7150
- Fig. 11.** Group II, 24시간표본, 조상아세포내 많은 공포변성이 보임, X 7150
- Fig. 12.** Group II, 1주표본, 재생되는 조상아세포로서 아직 극성배열은 보이지 않으며 다양한 세포기관과 junctional complex가 관찰됨, Mi : 사립체, X 5000
- Fig. 13.** Group III, 24시간표본, 조상아세포내 lysosome의 소화후 잔존된 residual bodies (RB)가 보임, X 8580
- Fig. 14.** Group III, 1주표본, 정상세포와 유사한 형태를 가진 재생된 조상아세포로 극성배열과 풍부한 세포기관이 보임, X 7150

논문 사진부도 ①



논문 사진부도 ②

