

CO₂ 레이저 조사가 치아경조직에 미치는 영향에 관한 EPMA분석 및 주사전자현미경적 연구

연세대학교 치과대학 보존학교실
장계봉 · 이정석 · 이찬영 · 이승중

I. 서 론

레이저(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)는 유도 방출에 의해 증폭을 시킨 광에너지를 말하며⁴⁾ 레이저광의 특수성인 가간섭성, 단색성, 고휘도, 지향성등을 의학, 생물학 연구분야에서 널리 이용하고 있다.

치의학 분야에서는 1964년 Goldman⁵⁾이 발거된 치아의 우식치질을 루비레이저로 제거할 수 있다는 가능성을 보고한 이래 Stern^{6,7)}, Lobene⁸⁾, Kinnorsly^{9,10)}, Gordon^{11,12)}이 레이저가 치아경조직에 미치는 영향을 연구 하였으며 그 후 많은 연구가들이 법랑질 내산성의 증가로 인한 치아우식증 예방^{13,14,15,16,17,18)}, 외동형성^{19,20,21,22)}, 보철물 용접^{23,24,25)} 그리고 골 절제 및 연조직 수술^{26,27,28)} 과 같은 치과술식에 레이저의 사용 가능성에 대해 연구 보고하였다.

보존치료에의 응용으로는 Gordon¹³⁾, Segal 등¹⁴⁾, 이 등²⁹⁾이 루비레이저 및 CO₂ 레이저를 이용해 치질삭제를 시도하였고 Weichman 등^{30,31)}은 근관치료에서 레이저를 이용하여 치근단공을 폐쇄시키려는 연구를 했으며 Taylor 등³²⁾, Lenz 등³³⁾은 치수 및 구강 점막에 미치는 영향에 대하여, Adrian 등³⁴⁾, Yamamoto 등³⁵⁾, Stern 등³⁶⁾은 실험동물의 치수조직에 변화를 일으키는 레이저 에너지 범위에 대하여, Nowak 등³⁷⁾, Boehm³⁸⁾, Kato 등³⁹⁾, 이 등⁴⁰⁾은 레이저 조사 시 치수의 온도변화에 대하여 보고한 바 있다. Shoji 등⁴¹⁾은 CO₂ 레이저를 이용해 효과적인 치수절단을, Stewart 등⁴²⁾은 CO₂ 레이저로 수산화인회석을

사용해 치면열구를 성공적으로 밀폐하였음을 보고했다. 또한 임상응용에서 Myers⁴³⁾는 YAG 레이저를 사용해 직접 환자의 구강내에서 마취를 하지 않고 우식치질을 선택적으로 제거한 후 복합레진으로 충전한 결과를 보고한 바 있다.

한편 Nagasawa 등⁴⁴⁾은 CO₂, Nd-YAG 그리고 Ar 레이저가 치아에 미치는 효과에 대해 비교 연구하는 가운데 CO₂ 레이저가 법랑질 표면의 성장과는 관계없이 가장 우수한 치질 삭제를 보였다고 했으며 Stern 등⁴⁵⁾은 루비레이저보다 CO₂ 레이저에서 효과적인 내산성을 얻었음을 발표했다.

레이저 조사에 따른 치아경조직의 변화에서 내산성의 증가에 대해 Stern 등⁴⁶⁾, Tomita 등⁴⁷⁾은 법랑질의 융합으로 인한 투과성의 감소에 의한 것이라고 보고하였으나 Borggreven 등⁴⁸⁾은 레이저 조사는 법랑질의 투과성이 증가되며 법랑질 표층의 광물질 소실에 대한 억제는 화학적 변화로 인한 것임을 주장하였다. 치아경조직의 구조적 변화를 보기 위해 Loben과 Fine⁴⁹⁾, Loben 등⁵⁰⁾, Kantola 등⁵¹⁾, Brune 등⁵²⁾이 X-ray 회절을 이용해 관찰하였고 Peck 등⁵³⁾, Scheinin 등⁵⁴⁾, Kantola⁵⁵⁾, 이 등⁵⁶⁾은 편광현미경적 관찰을 통해 결정대의 변화(zonal change)를 연구한 바 있다.

현재 치과보존 치료에 사용하고 있는 삭제용 bur로 외동형성시 야기되는 진동, 지속적인 열발생⁵⁷⁾, 환자의 공포감, 마취의 불편함 등을 미루어 볼 때 레이저에 의한 치질삭제는 단시간내에 무통치료를 받을 수 있을 뿐 아니라^{13,23,35)} 순간적인 고열에 의한 무균처치와¹⁷⁾ 내산성 증가에 의한 이차우식증

예방이 가능할 수 있어 그 가치가 클 것으로 보나 레이저 조사시 치아경조직에 나타나는 변화가 수복물 충전에 적합한지의 여부가 평가되 있지 않다.

이에 저자는 CO₂ 레이저를 이용하여 치수에 영향을 미치지 않는 에너지 범위내로 조사하여^{75,76)} 와동 형성시 나타나는 치아경조직의 화학적 변화 및 형태학적 변화를 컴퓨터제어 방식의 전자현미분석과 주사전자현미경적으로 관찰하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바 이다.

II. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

성별 연령에 관계없이 치아우식증이 없는 대구치 45개를 생리식염수에 보관하였다가 실험전 치면을 건조시켜 사용하였다.

나. 실험방법

실험에 사용된 레이저는 CO₂ Laser (Mochida

Medilaser-S, Japan)로서 레이저 빔 직경 0.2mm가 되게 집속조절후 실온에서 치관의 협측 법랑질과 치근의 백아질을 삭제하여 노출된 상아질에 각각 조사하였다. 치아는 15개씩 세군으로 나누고 각 군은 다시 5개씩 3조로 나누어 5W, 10W, 20W출력으로 I군은 1초씩 단회 조사하였고(Table 1) II군은 0.1초씩 10회 분할 조사하였으며(Table 2) III군은 출력을 50W로 고정시키고 0.1초, 0.2초, 0.4초동안 단회 조사하였다(Table 3).

다음 각 치아를 레진에 포매시켜 diamond disk로 자르고 조사된 부위가 정 중앙이 되도록 연마하여 시편을 완성하였다.

전자현미분석(electron probe microanalysis)을 위해 시편을 탄소원반 위에 놓고 탄소를 진공 증발기로 얇게 도포한 후 전자현미분석기(electron probe microanalyzer, EPMA, Jeol Superprobe 733, Japan, Fig. 1)를 이용하여 가속전압 15KV, beam 직경 5 μm, probe current 1×10⁻⁸A로 조작하여 무기질량을 측정하였다. 측정부위는 레이저 조사에 의해 형성된 와동변연부 내층에서 상부와 하부 각각

Table 1. Parameters of CO₂ laser irradiation of Group I

Subgroup	Power(W)	Time(sec)	Energy density(J/mm ²)	No. of teeth
A	5	1.0	159	5
B	10	1.0	318	5
C	20	1.0	637	5

Table 2. Parameters of CO₂ laser irradiation of Group II

Subgroup	Power(W)	Time(sec)	No. of pulse irradiation	Energy density(J/mm ²)	No. of teeth
A	5	0.1	10	159	5
B	10	0.1	10	318	5
C	20	0.1	10	637	5

Table 3. Parameters of CO₂ laser irradiation of Group III

Subgroup	Power(W)	Time(sec)	Energy density(J/mm ²)	No. of teeth
A	50	0.1	159	5
B	50	0.2	318	5
C	50	0.4	637	5

Ⅲ. 실험 성적

가. EPMA분석

45개의 시편에서 각 시편마다 법랑질과 상아질에서 네 군데의 조사점을 설정하여 칼슘과 인 그리고 마그네슘의 함유량을 측정된 결과 칼슘과 인 함유량은 증가했고 마그네슘은 감소했음을 보여주는데 법랑질에선 통계학적으로 유의($P < 0.05$)한 차이는 없었고 상아질에선 유의한 차이를 보였다(Table 4). 법랑질에서 칼슘은 1.3%, 인은 1.4%의 증가율을 보이고 마그네슘은 6.4%의 감소율을 나타냈으며 상아질에서 칼슘은 10.4%, 인은 10.2%의 증가율을 보이며 마그네슘은 15.0% 감소했다.

조사조건과 에너지 밀도에 따른 차이를 분산분석한 결과 법랑질과 상아질에서 모두 무기질량의 변화에 유의한($P < 0.05$) 차이는 없었다(Table 5, 6).

변연부 상부와 하부간의 무기질 변화량은 법랑질과 상아질 모두에서 유의한 차이가 없었으며(Table

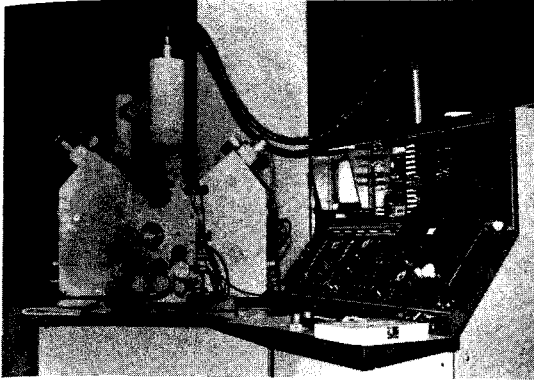


Fig. 1. Electron Probe Microanalyzer (EPMA, HITACHI S-450, JAPAN)

두 군데와 대조군으로 레이저를 조사하지 않은 부위의 법랑질 및 상아질에 각각 설정하였다.

주사전자현미경 관찰은 EPMA로 측정된 부위를 포함하여 조직편을 만들고 연마하여 도포된 탄소블 제거시켰다. 다음 초음파 세정기로 세척하고 금으로 피복한 후 주사전자현미경(HITACHI S-450, Japan)을 사용하여 검경하였다.

Table 4. Mineral concentrations(%) in lased and unlased teeth

	Ca				P				Mg			
	Mean	S.D.	T-value	P	Mean	S.D.	T value	P	Mean	S.D.	T-value	P
Enamel			0.65	0.518			0.64	0.526			-0.49	0.629
Control	50.521	2.286			41.521	2.523			0.408	0.242		
Experiment	51.203	4.030			42.110	3.470			0.382	0.175		
Dentin			5.21	0.000*			2.99	0.005*			-2.44	0.021*
Control	41.337	2.707			31.867	4.139			1.170	0.288		
Experiment	45.629	4.988			35.129	5.158			0.994	0.297		

Table 5. Analysis of variance on mineral content change by irradiation condition

		Ca			P			Mg		
		Mean	F-ratio	P	Mean	F-ratio	P	Mean	F-ratio	P
Enamel	I	0.64			0.83			-0.04		
	II	0.71	0.10	0.90	0.34	0.45	0.64	-0.93	2.25	0.11
	III	0.27			0.69			-0.01		
Dentin	I	3.38			2.51			-0.10		
	II	2.02	0.59	0.56	2.39	0.04	0.96	-0.43	2.26	0.11
	III	3.85			2.78			-0.22		

Table 6. Analysis of variance on mineral content change by energy density

		Ca			P			Mg		
		Mean	F-ratio	P	Mean	F-ratio	P	Mean	F-ratio	P
Enamel	A	-0.69			-0.49			-0.05		
	B	1.39	2.17	0.12	1.23	2.64	0.77	-0.64	1.16	0.32
	C	0.87			1.19			-0.01		
Dentin	A	3.46			1.82			-0.13		
	B	2.78	0.83	0.44	2.41	0.75	0.47	-0.19	1.03	0.36
	C	4.06			3.19			-0.10		

Table 7. T-test on mineral content change between opening and apex of crater wall

		Ca		P		Mg	
		T-value	P	T-value	P	T-value	P
Enamel	A	0.77	0.465	0.55	0.594	0.81	0.444
	B	-0.35	0.734	-0.35	0.736	-0.25	0.810
	C	-0.05	0.957	-0.32	0.757	-0.12	0.907
Dentin	A	-0.62	0.545	0.14	0.888	-0.71	0.486
	B	-0.19	0.851	-0.24	0.811	0.91	0.370
	C	0.79	0.437	0.69	0.496	-1.13	0.265

Table 8. Correlation coefficients between Ca, P and Mg contents

		Ca	P	Mg
Enamel	Ca	1.0000		
	P	0.7929**	1.0000	
	Mg	-0.3859**	-0.4493**	1.0000
Dentin	Ca	1.0000		
	P	0.7963**	1.0000	
	Mg	0.2615*	0.2860*	1.0000

*P<0.01 **P<0.001

7), 칼슘과 인 그리고 마그네슘 함유량의 상관관계는 유의한 것으로 나타났다(Table 8).

나. 주사전자현미경적 관찰

1. 법랑질 소견

정상 법랑질에서는 비교적 규칙적인 법랑소주가 평행하게 배열되어 있었다(Fig. 2).

I 군은 레이저가 조사된 부위에 원추상의 와동형

성을 보이며 와동변연부는 융합된 소견을 볼 수 있고 불규칙한 열구의 형성이 관찰되었다(Fig. 3).

II 군은 I 군과 유사한 소견으로서 와동변연부에 법랑소주의 융합 및 열구형성을 볼 수 있었다(Fig. 4).

III 군에서는 와동변연부가 I, II 군과 같은 양상을 보였으며 와동과 연결한 부위는 국소적으로 법랑소주의 주행방향이 와동의 장축에 수직으로 배열되는 경향을 보였다(Fig. 5).

2. 상아질 소견

정상 상아질에서는 규칙적인 상아세관의 형태를 관찰할 수 있었다(Fig. 6).

I 군은 레이저 조사부위에 원추상의 와동형성을 보이며(Fig. 7) 와동변연부는 상아세관의 폐쇄없이 상아세관을 중심으로 미세한 열구가 서로 연결되어 나타나는 양상을 보였다(Fig. 8). 에너지 밀도가 증가된 C군에서는 와동 내면의 심한 탄화현상이 보였고 와동변연부는 불규칙한 면을 보이며 다양한 형태의 결손부위가 관찰되었다(Fig. 9).

II 군은 와동내면이 불규칙하게 융합된 소견을 보이며 (Fig. 11) 와동변연부는 상아세관의 폐쇄나 손상은 볼 수 없었으며 정상 상아질과 밀도의 차이만을 나타냈고 에너지 밀도에 따른 차이점은 발견되지 않았다 (Fig. 10).

III 군에서 와동형성 부위와 정상 상아질과는 비교적 명확한 경계를 이루며 I, II 군에서 관찰되었던 변연부는 국소적으로 관찰되었다 (Fig. 12). 와동내면은 다양한 크기의 소공들과 균열이 관찰되었다 (Fig. 13).

IV. 총괄 및 고찰

레이저의 생체에 대한 작용은 크게 열작용, 압력작용, 광작용, 전자기적 작용등이 있으며 일반적으로 조직에 미치는 레이저의 열 효과는 단위면적당 조사되는 광에너지 밀도에 의해 결정되며 조직의 열 손상정도는 레이저의 파장 및 조사 에너지 밀도가 중요한 결정요소가 되며 또한 조직의 광학적 성질(반사율, 투과율, 색채)^{4, 6)} 과 체액 순환정도, 수분의 유무에 따라⁷⁾ 다르게 나타난다. 치아의 법랑질은 루비레이저($0.6943\mu\text{m}$)의 경우 입사 에너지의 20% 밖에는 흡수되지 않고 80%는 표면에서 반사된다. 한편 CO₂ 레이저는 거의 대부분이 흡수되어^{3, 5)} 13~15J/cm²을 치아에 조사시 나타나는 결과가 루비레이저 200~700J/cm²의 결과와 유사하다고 보고되었다.⁵⁾ 따라서 CO₂ 레이저는 고출력이 가능하고 에너지의 높은 흡수율을 갖고 있어 치질삭제에 가장 많이 사용될 것으로 보이나 CO₂ 레이저의 파장(10.6 μm)에 대한 fiber가 아직 개발되어 있지 않기 때문에 선택적으로 필요한 부위에 유도될 수 없다는 문제점이 있다. 한편 Nd-YAG 레이저는 glass fiber를 통과할 수 있으며 파장을 반감시키면 녹색의 가시광선이 되고 시술부위의 조명을 포함한 치과용 내시경으로의 사용도 가능하여 임상응용으로는 가장 실용성이 있다고⁶⁾ 보이나 고출력을 얻기가 어렵고 레이저의 반사가 크며 짧은 파장으로 인해 치질을 투과해 심부에서의 열 발생이 있다.⁸⁾

레이저에 의한 치아경조직의 변화에 대해 Peck 등⁴⁾ 은 법랑질 구조에서 hydroxyapatite 결정의 위치 변화로 인한 물리적 변화와 새로운 화합물을 형성

하는 hydroxyapatite 성분의 변화와 같은 화학적 변화를 생각할 수 있다고 보고하였으며 이와는 달리 Yamamoto 등⁷⁾ 은 레이저 조사부위와 조사되지 않은 부위의 법랑질을 X-선 회절로 비교할때 양자간에 apatite 결정체수나 X-선 회절상의 넓이에 차이가 없었다는 점에서 레이저에 의한 열 효과는 법랑질내의 apatite 구조에 영향을 미칠 정도로 높은 온도에 의한 것은 아니라고 했다. Lobene 과 Fine⁹⁾, Varner 등¹⁰⁾ 은 루비레이저 12J/cm², 25J/cm²을 조사한 실험에서 조사되지 않은 법랑질과는 편광현미경적 관찰에는 차이가 있으나 X-선회절 양상 및 microhardness는 뚜렷한 차이가 없었음을 보고했다. Stern 과 Sognnaes¹¹⁾, Gordon¹²⁾ 은 루비레이저로 조사한 실험에서 법랑질 표면이 반들반들하고 불투명하게 나타났어도 실제적인 융합은 없었다고 보고한 반면 Lobene 등⁹⁾ 은 CO₂ 레이저를 에너지 밀도 15~12,000J/cm²로 발거된 치아에 조사시 이전의 실험결과와는 달리 법랑질의 실제적인 융합이 있었음을 관찰하였다.

본 실험에서 사용한 에너지 밀도는 159~637J/mm²로서 Stern 등¹¹⁾, Goodman 등¹²⁾, Morioka 등¹³⁾, Yamamoto 등^{7, 14)} 그리고 김¹⁵⁾ 이 법랑질의 내산성 증가를 관찰하기 위해 사용한 레이저의 에너지 밀도와는 크게 차이가 있다. 후자의 에너지들은 치아법랑질 표층의 변화를 주기위한 것이며 와동 형성에 필요한 에너지를 충족시키지 못한다. 강한 에너지 밀도로서 와동을 형성한 후 와동변연부의 법랑질과 상아질 구조를 microradiography와 편광현미경으로 관찰한 것은 Scheinin과 Kantola¹⁶⁾ 에 의해 보고되었다. 이 실험에서 0.6MW/cm²의 에너지 밀도는 법랑질의 hydroxyapatite를 녹이고 증발시키기에 충분했으며 와동의 융기된 rim의 형성이 법랑질 융합의 증거라고 하였고 편광현미경 관찰에서 굴절의 변화에 따른 pseudoisotropic zone의 형성을 보고했다. 그러나 석회화의 정도는 새로이 응축되고 결정화된 hydroxyapatite의 결정학적 성질이 알려져 있지 않으므로 편광현미경적 관찰로는 불확실하다고 하였다. 이러한 실험을 근거로 Kantola^{16, 17)} 는 레이저가 조사된 법랑질과 상아질의 무기물 함유량 변화를 microradiography와 전자현미분석으로 조사하였으며 치아경조직의 X-선 흡수는 주로 조직내 비중이 큰 원소 함유량에 달려있기 때문에 와동변연부에 생

성된 칼슘과 인 함유량이 레이저를 조사받지 않은 부위와 다르다고 볼 수 있으며 레이저 효과에 의해 변화된 와동변연부층의 두께는 50~100 μm 이었고 이것을 분석하기에는 전자현미분석(EPMA 분석)이 가장 적절한 것으로 보인다고 보고했다. 또한 이등⁷⁾도 편광현미경적 관찰에서 복굴절 차이로 나타나는 pseudoisotropic zone이 법랑질과 상아질의 변화에 의한 무기물 함유량의 차이로 나타난다고 보았고 이의 성분규명의 필요성을 강조했다. 따라서 본 실험에서는 에너지밀도 159~637J/mm²의 레이저 조사에 의해 변화된 와동변연부를 EPMA로 분석하였으며 측정부위를 와동변연부 30~50 μm 이내로 설정하여 무기질량을 측정하였다.

본 실험에서 칼슘과 인 함유량은 증가했음을 보이고 마그네슘은 감소했음을 보여주나 법랑질에선 통계학적으로 유의한 차이를 볼 수 없었는데(Table 4) 이러한 양상은 Kantola¹⁸⁾, Suzuki등⁶⁹⁾ 그리고 Tomita등⁶²⁾이 법랑질에서 뚜렷한 변화를 볼 수 있었다는 일반적인 실험소건과는 일치하지 않으며 이는 실험방법에서 발견된 치아의 선택, 치아의 보관 방법과 기간의 차이 그리고 변연부에서의 측정된 부위의 차이에서 온 것으로 사료된다. Kantola¹⁸⁾는 레이저가 조사된 법랑질의 전자현미분석에서 변화된 변연부 가운데 40 μm 이내에서 칼슘과 인 함유량의 변화가 가장 적었다고 보고했으며 Suzuki등⁶⁹⁾과 Tomita등⁶²⁾은 치아를 발거한 즉시 0.2M cacodyl 완충액(PH 7.0)으로 씻은 후 레이저 조사를 하였다. 본 실험에서는 와동변연부의 측정부위를 30~50 μm 이내에 설정하였고 생리식염수에 오랫동안 보관된 치아를 실험에 사용한 점이 선행들의 실험조건과 차이가 있었다고 생각된다. 상아질에서는 무기질량의 변화가 매우 유의한 것으로 나타났고(Table 4) 칼슘 함유량이 증가한 곳은 인 함유량도 증가했음을 알 수 있는데(Table 8) 이러한 것은 Kantola¹⁸⁾나 Tomita등⁶²⁾의 실험결과를 뒷받침 해주는 소견이라 하겠다. 칼슘과 인 함유량의 증가에 대해서 Kantola¹⁸⁾는 레이저 조사로 인해 조직내 유기물질이 타서 없어짐으로써 상대적으로 무기질량이 증가되고 또한 recrystallization과정에서 성분과 구조가 다른 새로운 화합물의 생성이 원인이 될 수 있다고 보았다. 그러나 Suzuki등⁶⁹⁾이 X-선 회절로 관찰한 결과 레이저가 조사된 법랑질에서 결정학적인

변화(crystallographic change)는 있으나 recrystallization이나 결정크기의 변화는 나타나지 않았다고 보고했으며 Yamamoto등⁶⁸⁾도 이와 비슷한 소견을 발표한 바 있다. 그러나 저자는 위의 실험소건들 사이에는 사용한 레이저의 종류와 에너지밀도, 조사조건에 차이가 있으므로 학자들마다 주장하는 바가 다르다고 생각되며 본 실험에서는 와동형성을 목적으로 비교적 높은 에너지를 사용하였기에 낮은 에너지 보다는 높은 에너지를 사용한 학자들의 주장에 더 연관성이 있을 것으로 사료된다. Van Wazer⁶³⁾는 hydroxyapatite가 충분히 높은 온도로 가열됐을때 true calcium phosphate와 tetracalcium phosphate로 분해되고 전자는 2개의 결정상태 즉 고온 형태인 α -calcium phosphate와 저온형태인 β -calcium phosphate로 존재하며 이 두가지 형태 사이의 변환은 1100~1200°C 근처에서 이루어진다고 하였다. 이에 Kantola는²⁰⁾ 레이저 조사에 따른 변화를 X-선 회절로 관찰한 실험에서 Ca/P가 1.96으로 나타났고 tricalcium phosphate의 이론적인 Ca/P 비율이 1.94이므로 레이저 조사로 인해 와동변연부가 고온에서 형성된 α -calcium phosphate로 구성되었음을 알 수 있었다고 추론한 바 있다. 또한 Lobene등²⁹⁾도 법랑질의 hydroxyapatite structure에 생긴 변화는 미량의 α -calcium phosphate가 나타난 것과 일치 할 것으로 추측했으며 이외에 Melcer등³⁸⁾은 순수한 100% hydroxyapatite형태인 Durapatite를 연구모델로 사용하여 무기질 구조에 대해 관찰하였고 구조적 변화는 apatite의 농도에 달려 있다고 보고하였다. 이렇게 레이저 효과에 의한 치아조직 변화에서 새로운 화합물의 형성을 원인으로 보는 선행들의 연구보고가 있으며 본 실험에서도 이와같은 결과가 예측되나 이에 관해서는 치아조직의 구조적 변화를 좀 더 연구하여야 할 것으로 사료된다.

Tomita등⁶²⁾은 레이저 조사에 의해 칼슘과 인 함유량은 증가했으나 마그네슘, 염소 그리고 불소는 감소하였고 이외 다른 원소들은 뚜렷한 차이가 없었다고 보고했으며 본 실험의 결과도 이와같은 실험소건을 보였으나(Table 4) 다른 원소들은 미세한 농도로 나타나기 때문에 본 실험의 분석에서는 제외시켰다. 마그네슘 함유량 감소

에 대한 원인분석은 보고된 바 없으나 마그네슘은 칼슘과 인에 비해 용융점이 낮으므로 레이저 조사로 인한 열 발생이 마그네슘을 일부 소실시켰을 것으로 생각된다. 본 실험에서 레이저의 조사조건에 따라 법랑질과 상아질에서 각 군 모두 무기질 함유량의 변화에 유의한($P < 0.05$) 차이를 볼 수 없었고 에너지 밀도에 따른 분석도 각 군 모두 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 선학들의 실험보고가 없으므로 비교 검토될 수는 없으나 본 실험에서 사용한 에너지 밀도($318\text{J} \sim 637\text{J}/\text{cm}^2$)에서는 모두가 치아경조직의 무기질 함유량의 변화에 영향을 줄 수 있는 열작용 및 압력작용이 있었을 것으로 생각되며 앞에서 기술한 측정부위에 따른 차이가 이러한 결과를 가져왔을 것으로 사료되는 바이다. 또한 상아질에서 무기질 함유량의 변화가 법랑질보다 크게 나타났는데 이는 치아의 법랑질이 대부분(99%) 무기질로 구성되어 있으며 상아질은 구성성분중 약 30%가 유기물인 까닭에 레이저 조사로 인해 유기질이 타서 없어지고 상대적으로 무기질의 함유량이 증가하는 것은 당연히 상아질에서 클 것으로 본다.

레이저 조사에 의해 형성된 와동의 육안적 관찰은 조사부위가 원추상의 좁고 깊게 침투된 양상을 보이며 법랑질에서 치질이 용해되어 융합된 흰 유리와 같은 와동내면을 형성한 반면 상아질에선 와동내부가 부분적으로 백색을 보이며 외층이 검게 탄화된 것이 관찰되었고 이러한 관찰 소견은 Nagasawa²⁸⁾ 이나, 이 등²⁹⁾ 의 소견과 유사하게 나타났다. 파괴정도는 법랑질보다는 상아질에서 더 깊게 침투되고 파괴되었음을 보이는데 이러한 관찰은 Peck³⁰⁾ 이 루비레이저 2,000J을 발겨된 치아에 조사한 실험에서 법랑질이 상아질보다 더 침투되고 파괴되었음을 보여주면서 상아질이 법랑질보다 약 6배의 수분을 함유하고 있으므로 탈수되는 동안 더 많은 레이저 에너지를 필요로 하기 때문이라는 설명과는 부합되지 않는다. Segal³¹⁾ 은 본 실험의 결과와 같은 소견을 보고했는데 저자의 견해로는 이러한 실험결과의 차이는 사용한 레이저의 종류와 발겨된 치아의 보관방법이 다른 것이 실험결과에 기인한 것으로 보며 또한 생체에서의 실험은 다른 결과가 나올 수도 있다고 사료된다.

본 실험의 주사전자현미경 관찰에서 레이저가 조

사된 상아질 II 군은 와동변연부가 넓게 형성되어 있음을 관찰할 수 있으며 (Fig. 11) III 군은 와동내면과 정상상아질 사이에 명확한 경계를 볼 수 있는데 (Fig. 12) 이러한 관찰은 레이저 pulse의 수가 증가하면 칼슘이 증가된 층이 두터워진다는 Tomita³²⁾ 의 보고와 높은 에너지를 단시간 조사한 치아에서 pseudoisotropic zone이 좁게 나타났다는 이 등³³⁾ 의 관찰소견과 깊은 연관성이 있다고 생각된다. 에너지 조사량에 따른 A, B, C 각 군 사이에는 주사전자현미경상 특기할만한 차이는 없으나 조사량의 증가에 따라 치질파괴가 심부에까지 형성되었음을 볼 수 있었고 상아질에서 높은 에너지 밀도에서는 와동내면의 심한 탄화현상을 보였으며 균열들은 와동내면 및 변연부에 다양한 정도로 나타났음이 관찰되었다. Stern³⁴⁾ 은 CO₂ 레이저 50J/cm²을 법랑질에 조사했을 때 SEM에서 표면이 얇은 조각으로 벗겨지는 모양을 보이며 균열과 열구가 나타났고 변연부는 일시에 용융되었다가 응결된 결정의 형태를 나타냈으며 고배율로 확대해 관찰했을 때 미세한 소공과 연결되는 작은 열구가 나타났다고 보고했다. Matsumoto³⁵⁾ 는 YAG레이저를 사용한 실험의 SEM 관찰에서 법랑질과 상아질에 여러 형태의 손상이 나타났으며 법랑질에서 보다는 상아질에서 다양하게 보였다고 했고 Lobene³⁶⁾ 과 Fine³⁷⁾ 은 CO₂ 레이저 15~12,000J/cm²를 교환하며 조사한 후 위상차현미경 관찰에서 D-E junction으로 향하는 많은 균열들을 볼 수 있었다고 보고하였다. 본 실험의 주사전자현미경 관찰도 상기한 관찰자들과 비슷한 소견을 보여 주었으며 단지 정도의 차이가 있었다.

에너지 조사량에 따른 균열의 생성에 대해서는 Kantola³⁸⁾ 가 조사량이 20J/cm²이 넘을 때 균열이 발생했다고 했으며 균열은 에너지의 압력작용에 의한 것이라고 보고했고 Borggrevén³⁹⁾ 은 CO₂ 레이저 10J/cm²를 법랑질에 조사한 실험에서 균열들은 발견되지 않았다고 했으며 Tomita⁴⁰⁾ 은 CO₂ 레이저 15J/cm² 이상에서 균열들이 관찰되었다고 보고했다. 또한 Brune⁴¹⁾ 은 CO₂ 레이저 조사시 100J/mm²이 넘는 에너지 밀도에서 상아질의 균열 및 파열이 발생했으며 200J/mm²에서는 더욱 뚜렷했고 1.0초보다 길게 노출시킬 때 갈라진 틈과 얇은 조각들이 관찰되었다고 보고했으며 Scheinin⁴²⁾ 과 Kantola⁴³⁾, Peck⁴⁴⁾ 은 이러한 균열들이 조직내에 남아있는 수분과 fl-

uid가 레이저 조사에 의해 급팽창 함으로써 생길 수 있다고 하였다. 본 실험에서 동일한 에너지를 분할 조사한 경우 와동변연부의 손상이 적게 나타났는데 (Fig. 10, 11) 이는 Nagasawa등이 반복펄스 레이저 조사시 자극과 강도를 임의로 억제할 수 있다는 것을 장점으로 보고한 소견에 부합되는 결과라 생각된다. 높은 에너지를 단시간 조사하는 경우는 와동내면에 다양한 크기의 소공들과 균열이 관찰되었으며 이것 또한 유기물이 회화될때 생기는 gas가 분출되었거나 팽창에 의해 형성된 것으로 사료된다.

레이저 조사시 나타난 균열들이 수복물 충전에 적합한지에 대해선 보고된 바가 없으나 이러한 균열들이 있음에도 불구하고 Brune⁹⁾은 microhardness test에서 와동변연부의 Vicker's hardness number가 260 ± 11 이었으며 인접경조직은 285 ± 13 으로 정상 법랑질의 경도와 일치했음을 보고했고 Melcer등²⁰⁾은 레이저 조사로 인해 새로 형성된 apatite형태의 microhardness는 더 높게 나타났으며 이것은 조직내 hydroxyapatite농도에 달려있다고 보았고 $600W/cm^2$ 의 power로 조사시 변화된 상아질은 정상 상아질 정도의 6배인 Vicker's hardness number 600을 나타냈다고 보고했다. 본 실험에서는 레이저 조사부위를 disk로 자른후 변연부의 상태를 관찰했기에 정확한 microhardness test를 할 수 없어 측정하지 못하였고 따라서 선학들의 보고와 비교할 수 없었다.

레이저의 임상응용은 치아경조직이나 치수에 병변을 초래하지 않는 범위내에서 레이저 빔 guide를 이용해 구강내 일정한 부위로 쉽게 유도될 수 있어야 하며 조사방법과 에너지 밀도에 따른 치질삭제 효과, 치수에 미치는 온도변화 및 병변, 사용목적에 따른 레이저의 종류 그리고 시술과정중 생길 수 있는 부작용등이 종합적으로 검토될 수 있는 연구가 더 필요하리라고 생각되는 바이다.

V. 결 론

레이저 광선을 법랑질과 상아질에 각각 조사하여 나타나는 화학적, 형태학적 변화를 관찰하기 위해 우식증이 없는 발거된 대구치 45개를 세군으로 나누고 CO₂ 레이저를 사용하여 5W, 10W, 20W출력으로 I군은 1.0초씩 단회 조사하고 II군은 0.1초

씩 10회 분할 조사하였으며 III군은 출력을 50W로 고정시키고 0.1초, 0.2초, 0.4초동안 단회 조사하여 법랑질과 상아질에서 형성된 와동변연부의 무기질량을 EPMA로 분석, 측정하고 주사전자현미경으로 와동변연부를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저를 조사받은 법랑질에서 와동변연부의 칼슘과 인 함유량은 증가되었으며 마그네슘은 감소되었으나 모두 통계학적으로 유의한 차이는 없었다.
2. 레이저를 조사받은 상아질의 와동변연부에서는 칼슘, 인 함유량의 증가와 마그네슘 함유량의 감소에 모두 유의한 차이가 있었다.
3. 레이저를 조사받은 법랑질과 상아질에서 레이저 조사조건과 에너지 밀도에 따른 와동변연부의 칼슘과 인 변화량은 차이가 없었다.
4. 주사전자현미경적 소견상 법랑질은 모든 와동변연부의 법랑소주가 융합되었고 법랑소주의 주행방향에 평행한 열구가 형성되었다.
5. 주사전자현미경적 소견상 상아질의 경우는 와동내면의 불규칙한 융합과 와동변연부의 미세한 열구가 관찰되었으며 높은 에너지를 단시간 조사한 것은 변연부가 국소적으로 좁게 형성되었다.

참 고 문 헌

1. Adrian, J.C., Bernier, J.L., and Sprague, W.G.: Laser and the dental pulp, J. Am. Dent. Assoc. 83: 113, 1971.
2. Boehm, R.F.: Temperatures in human teeth due to laser heating. A.S.M.E. Paper 75-WA/Bio-8 pp. 10-17, 1975.
3. 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.
4. Brune, P.: Interaction of pulsed carbon dioxide laser beams with teeth in vitro. Scand. J. Dent. Res. 88: 301-305, 1980.

5. 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.
6. Eshleman, J.R., Svitzer, J.R., and Moon, P.C.: Heat treatment of laser-welded gold alloys. *J. prothet. Dent.* 36: 655, 1976.
7. Goodman, B.D., and Kaufman, H.W.: Effects of an Argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of tooth enamel in the presence of sodium fluoride. *J. Dent. Res.* 56: 1201, 1977.
8. Goldman, H.M., Ruben, M.P., and Sherman, D.: The application of laser spectroscopy for the qualitative and quantitative analysis of the inorganic components of calcified tissues. *J. Oral Surg.* 17: 102, 1965.
9. Goldman, L., et al.: Impact of the laser on dental caries. *NATURE.* 203: 417, 1964.
10. _____: Aspects of lasers. *J. Am. Dent. Assoc.* 188: 303-306, 1964.
11. _____: Effect of laser beam impacts on teeth. *J. Am. Dent. Assoc.* 70: 601-606, 1965.
12. _____: Impact of the laser on dental caries. *Nature* 203: 417, 1964.
13. Gordon, T.E.: Laser interaction with extracted human teeth: a preliminary report. *Dental Digest* 72: 155-158, 1966.
14. _____: Some effects of laser impacts on extracted teeth. *J. Dent. Res.* 45: 372, 1966.
15. _____: Single-surface cutting of normal tooth with ruby laser, *J. Am. Dent. Assoc.* 74: 398, 1967.
16. Grasser, V.H., and Ackerman, K.: Anwendungsmöglichkeiten von Laserstrahlen in der Zahnärztlichen Chirurgie, *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 32: 512-515, 1977.
17. Hooks, T.W., et al.: Use of the carbon dioxide laser in sterilization of endodontic reamers. *Oral Surg.* 49: 263, 1980.
18. Kantola, S.: Laser-induced effects on tooth structure. V. Electron probe microanalysis and polarized light microscopy of dental enamel. *Acta. Odont. Scand.* 30: 475-484, 1972.
19. _____: 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: 463-474, 1972.
20. Kantola, S., Laine, E., and Tarna, T.: Laser-induced effects on tooth structure. VI. X-ray diffraction study of dental enamel exposed to a CO₂ laser. *Acta. Odont. Scand.* 31: 369-379, 1973.
21. Kaplan, I., and Ger, R.: The carbon dioxide laser in clinical surgery. *Israel J. Med. Sci.* 9: 79, 1973.
22. Kato, K., et al.: Basic study on change of temperature of a tooth after CO₂ laser irradiation. *J. Japan. Society for laser Medicine.* 1: 294, 1980.
23. Kinersly, T., et al.: Laser effects on tissue and materials related to dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* 70: 593, 1965.
24. _____: Lasers and teeth. *N.Y. State Dent. J.* 32: 56, 1966.
25. _____: Laser-induced microperforations in teeth sections. *J. Dent. Res.* 45: 199, 1966.
26. Lenz, P., et al.: Morphologische Untersuchungen zur Wirkung der Laserstrahlung aus Pulpa und Mundschleimhaut. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 32: 508-511, 1977.
27. Leeson, T.S., and Leeson, C.K.: Teeth histology. W.D. Saunders Co., pp. 275-287,

- 1972.
28. Litwin, M.S., and Glew, D.H.: The biological-effects of laser radiation. *J. Am. Dent. Assoc.* 187: 842:847, 1964.
 29. Lobene, R.R., Bhussry, B.R., and Fine, S.: Interaction of carbon dioxide laser radiation with enamel and dentin. *J. Dent. Res.* 47: 311-317, 1968.
 30. Lobene, R.R., and Fine, S.: Interaction of laser radiation with oral hard tissues. *J. Pros. Dent.* 16: 589, 597, 1966.
 31. Matsumoto, K.: Scanning electron microscopic study on the surface of the lased enamel and dental filling materials. *Japan. J. Conserv. Dent.* 24: 188, 1981.
 32. Melcer, J., et al.: Dental structure modifications by CO₂ laser beam. *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 13-16, 1984.
 33. Melcer, J., et al.: 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: 1-5, 1985.
 34. 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: 327-333, 1980.
 35. Myers, T.D., and Myers, W.D.: In vivo caries removal utilizing the YAG laser. *J. Mich. Dent. Ass.* 67: 66-69, 1985.
 36. _____: The use of a laser for debridement of incipient caries. *J. Proth. Dent.* 53: 776-779, 1985.
 37. Nagasawa, A., et al.: Difference of effects of CO₂ laser, Nd-YAG laser and Argon laser on human teeth,
 38. Nordenberg, D., et al.: The effect of the Sharplan CO₂ laser beam on dental caries: Sterilization. A New Approach. *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 33-35, 1984.
 39. Nowak, W.B., et al.: On the use of thermocouples for temperature measurement during laser irradiation. *Life Sciences.* 3: 1475, 1964.
 40. Peck, S., and Peck, H.: Laser radiation: Some specific dental effects and an evaluation of its potential in dentistry. *J. Pros. Dent.* 17: 195, 1967.
 41. Robinson, B.G., and Lefkowitz, W.: Operative dentistry and the pulp. *J. Proth. Dent.* 12: 985, 1962.
 42. Ryden, H., Bjelkhagen, H., and Osten Soder, R.: The use of laser beams for measuring tooth mobility and tooth movements. *J. Periodontol.* 46: 421-425, 1975.
 43. Sanders, J.H.: The birth of the laser in a guide to the laser. American Elservier Co. pp. 1-17, 1967.
 44. Scheinin, A., and Kantola, S.: Laser-induced effects on tooth structure I. Carater production with a CO₂-laser. *Acta Odont. Scand.* 27: 173-179, 1968.
 45. _____: Lser-induced effects on tooth structure II. Microradiography and polarized light microscopy of dental enamel and dentine. *Acta Odont. Scand.* 27: 180-192, 1968.
 46. Scherp, H.W.: Dental caries: Prospects for prevention. *Science Vol.* 173: 1199-1205, 1971.
 47. Schwaninger, B., Schmidt, R.L., and Hurst, R.V.V.: Holography in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* 95: 814, 1977.
 48. Segal, T., et al.: The effect of the Sharplan CO₂ laser beam on dental structure, *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 25-28, 1984.
 49. Shoji, S., Nakamura, M., and Horiuchi, H.: Histopathological changes in dental pulps irradiated by CO₂ laser: A preliminary

- report on laser pulpotomy. *J. Endo.* 11: 379, 1985.
50. Stern, R.H.: The laser in dentistry: A review of the Literature. *J. Dent. Ass. S. Afr.* 29: 173-6, 1974.
 51. _____: The Potential of various lasers in caries prevention. *Annals of the New York Academy of Science.* 168: 642-648, 1970.
 52. Stern, R.H., Renger, L.H., and Howell, F.V.: Laser effects on vital dental pulps. *Br. Dent. J.* 1: 26, 1969.
 53. Stern, R.H., and Sognaes, R.F.: Laser beam effect on dental hard tissues. *J. Dent. Res.* 43: 873, 1964.
 54. _____: Laser effect on dental hard tissues. *J.S. Calif. Dent. Assoc.* 33: 17, 1965.
 55. _____: Laser inhibition of dental caries suggested by first teets in vivo. *J. Am. Dent. Assoc.* 85: 1087, 1972.
 56. Stern, R.H., Sognaes, R.F., and Goodman, F.: Laser effects on in vitro enamel permeability and solubility. *J. Am. Dent. Assoc.* 73: 838, 1966.
 57. Stern, R.H., Vahl, J., and Sognaes, R.F.: Lased enamel: Ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser effects. *J. Dent. Res.* 51: 455-460, 1972.
 58. Stern, R.H., et al.: The laser in dentistry: Potential clinical applications. *Optics and Laser Technology.* pp. 22-24, 1975.
 59. Stewart, L., Powell, G.L., and Wright, S.: Hydroxyapatite attached by laser: A potential sealant for pits and fissures. *Operative Dentistry.* 10: 2 5, 1985.
 60. Suzuki, Y., et al.: Crystallographic and chemical binding state changes of human tooth euamel by low energy laser exposure. *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 21-24, 1984.
 61. Taylor, R., Shklar, G., and Roeber, F.: The effects of laser radiation on teeth, dental pulp, and oral mucosa of experimental animals. *Oral Surg., Oral Med. & Oral Path.* 19: 787, 1965.
 62. Tomita, F., et al.: Chemical state change in human tooth enamel by low energy laser exposure. *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 17-20, 1984.
 63. Van Wazer, J.R.: Phosphorus and its compounds. New York Interscience Publishers Inc, Vol 1. 12p. 524-530, 1958.
 64. Varner, R.E., et al.: Effect of different colored stains on laser microbeam impact sites on tooth enamel. *J. Dent. Res.* 46: 756, 1967.
 65. Weichman, J.A., and Johnson, F.M.: Laser use in endodontics. *Oral Surgery.* 31: 416, 1971.
 66. Weichman, J.A., Johnson, F.M., and Nitta, L.K.: Laser use in endodontics. *Oral Surg.* 34: 828, 1972.
 67. Yamamoto, H.: 虫歯豫防のレーザーの應用 *J. Japan Society for Laser Medicine,* 1: 222, 1980.
 68. Yamamoto, H., and Sato, K.: Prevention of dental caries by acousto-optically Q-switched Nd: YAG laser irradiation. *J. Dent. Res.* 59(2): 137, 1980.
 69. Yamamoto, H., et al.: YAG laser effect for acid resistance on tooth enamel. *J. Dent. Res.* 53: 1093, 1974.
 70. _____: Laser effect on vital tissues: A preliminary investigation, *J. Oral Path.* 1: 256, 1972.
 71. Yuki, K., et al.: The use of CO₂ laser for the surface lesions of oral mucosa. *Dentistry and Oral Surgery.* 12: 36-39, 1984.
 72. 김 옹: 레이저를 이용한 물질가공 제2회 광학 및 양자전자학 워크샵 논문집, pp.16-26, 1985.

73. 김경남 : 레이저가 치과주조용 비귀금속 합금에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한치과의사 협회지, Vol 22, No. 9 : 781, 1984.
74. 김순주 : 탄산가스레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적연구. 대한소아치과 학회지, 12 : 9-20, 1985.
75. 이정석외 : 레이저의 치아보존 치료에의 응용. I. CO₂ 레이저조사가 치아경조직에 미치는 영향. 대한치과의사 협회지, Vol 23, No. 10 : 881, 1985.
76. 이종만의 : CO₂ 레이저 조사에 따른 치수강내 온도변화에 관한 실험적 연구. 연세치대 논문집, 제 3 권 1 호 pp. 227, 1985.
77. 이한룡외 : CO₂ 레이저 조사에 따른 치아경조직 변화에 관한 편광현미경적 연구(II). 대한치과의사 협회지, Vol 24, No. 2 : 171, 1986.
78. 전훈식 : Laser 조사가 치아경조직에 미치는 변화에 관한 실험적 연구-편광현미경적 및 주사전자현미경적 연구- 대한치과의사 협회지, Vol 24, No. 3 : 261, 1986.

ABSTRACT

A STUDY OF CO₂ LASER IRRADIATED DENTAL HARD TISSUES USING ELECTRON PROBE MICROANALYZER AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

Gye Bong Chang, Chung Suck Lee, Chan Young Lee, Seung Jong Lee

Dept. of Operative, College of Dentistry, Yonsei University

The purpose of this study is to obtain the data of prestep in cavity preparation by observing changed conditions of laser irradiated dental hard tissues.

The forty five extracted caries free human molars were divided into three groups and each group into five subgroups.

A CO₂ laser irradiation was performed each subgroup of group I for one second with output power of 5 W, 10 W and 20 W. On group II, laser irradiation was done ten times for 0.1 second duration using same power ratings as group I. On group III, laser irradiation was done 0.1 second, 0.2 second and 0.4 second with output power of 50 W.

We investigated mineral contents and crater wall of obtained specimens, i.e., laser irradiated teeth, using computer controlled electron probe microanalyzer and scanning electron microscope.

The following results were obtained:

1. Both calcium and phosphorus contents in laser irradiated enamel crater wall were increased, and magnesium content was decreased, but these trends were not statistically significant.
2. In laser irradiated dentin, change of mineral content was more significant.
3. In laser irradiated enamel and dentin, there were no significant differences on mineral content change due to irradiation condition and energy density.
4. In scanning electron microscopic study, enamel rods of the crater wall were fused and clefts were observed in parallel with the direction of enamel rod for all groups.
5. In laser irradiated dentin, irregular fusion and clefts were observed. In irradiated teeth with high power and short duration, the locally formed narrow crater wall was observed.

사진부도 설명

- Fig. 2. 법랑소주가 평행하게 배열된 정상 법랑질의 소견을 보임(×640).
- Fig. 3. 20W, 1초간 조사한 법랑질, 외동 변연부는 법랑소주의 융합된 소견과 법랑소주의 주행 방향과 평행으로 형성된 열구를 보임(×260).
- Fig. 4. 20W, 0.1초로 10회 분할 조사한 법랑질, I군과 유사한 소견으로서 법랑소주의 융합 및 열구 형성을 보임(×460).
- Fig. 5. 50W, 0.1초간 조사한 법랑질, 법랑소주의 융합과 열구형성이 관찰되며 외동과 연결한 부위에 외동 장축에 수직으로 배열된 법랑소주의 소견을 보임(×1,300).
- Fig. 6. 정상 상아질, 규칙적인 상아세관의 형태를 보임(×3,900).
- Fig. 7. 5W, 1초간 조사한 상아질, 외동 주위에 변연부가 관찰되며 외동 내면에 균열이 형성되었음(×140).
- Fig. 8. Fig. 7의 고배율 소견임(×460).
- Fig. 9. 20W, 1초간 조사한 상아질, 외동 변연부는 불규칙한 면을 보이며 다양한 형태의 결손부위가 관찰됨(×450).
- Fig. 10. 5W, 0.1초로 10회 분할 조사한 상아질, 외동 주위에 정상 상아질과 밀도의 차이를 보이는 변연부가 관찰됨(×440).
- Fig. 11. 10W, 0.1초로 10회 분할 조사한 상아질, 외동 형성 주위에 넓은 변연부가 관찰되었으며 변연부 측면으로 균열이 형성되었음(×160).
- Fig. 12. 50W, 0.2초간 조사한 상아질, 외동 형성부위와 정상 상아질과는 명확한 경계를 이루고 있으며 외동의 내면은 심한 균열이 관찰됨(×260).
- Fig. 13. 50W, 0.2초간 조사한 상아질, 외동 내면의 중앙부위는 다양한 크기의 소공들이 무수히 관찰되며 변연부는 섬유성분의 불규칙한 배열을 볼 수 있음(×640).

논문 사진부도 ①

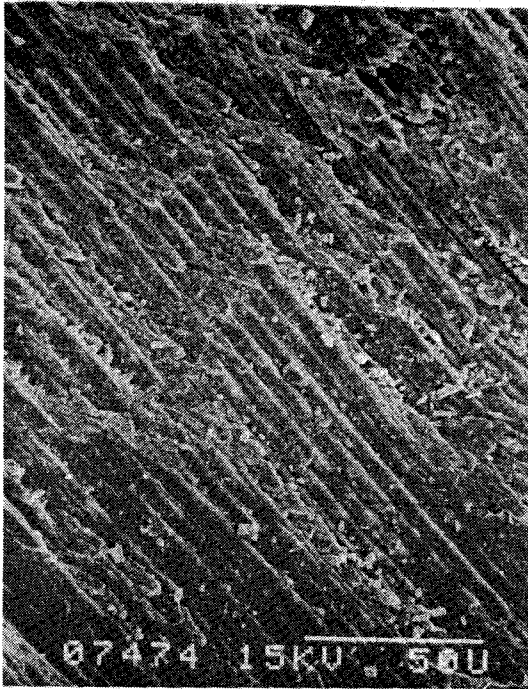


Fig. 2. Normal enamel (x 640).

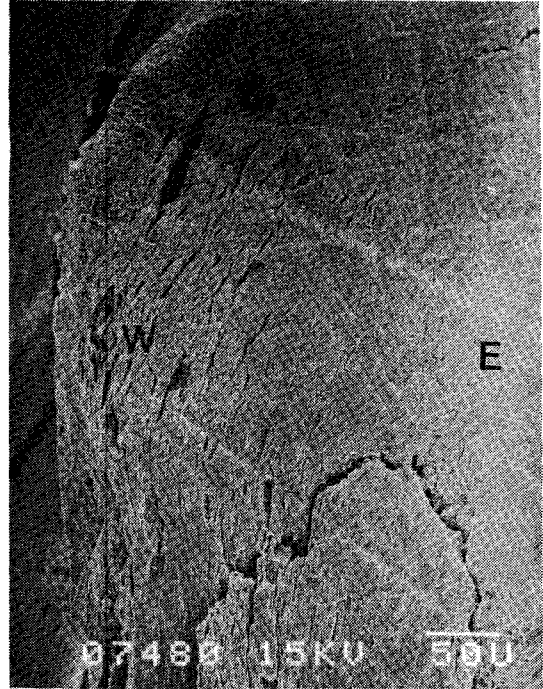


Fig. 3. Lased enamel, 20W, 1.0 sec. (x 260)

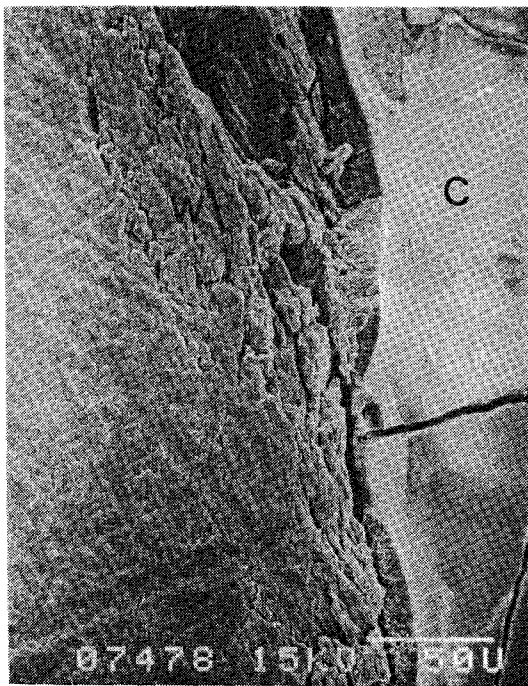


Fig. 4. Lased enamel, 20W, 10 times for 0.1 sec. (x 460)

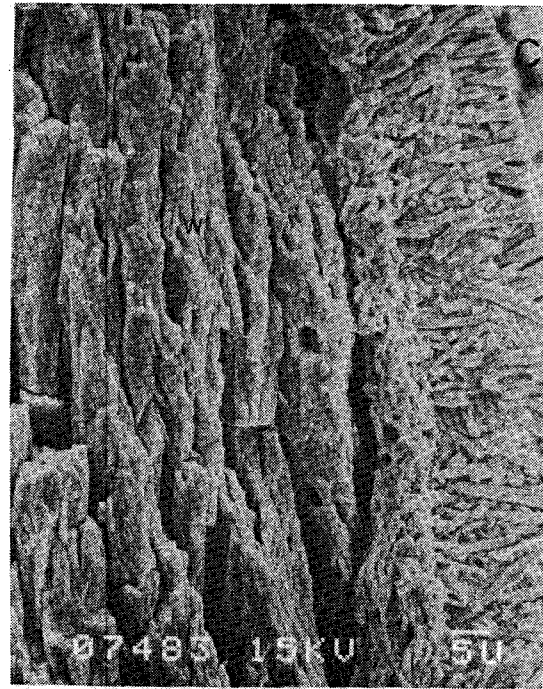


Fig. 5. Lased enamel, 50W, 0.1 sec. (x 1,300)

논문 사진부도 ②

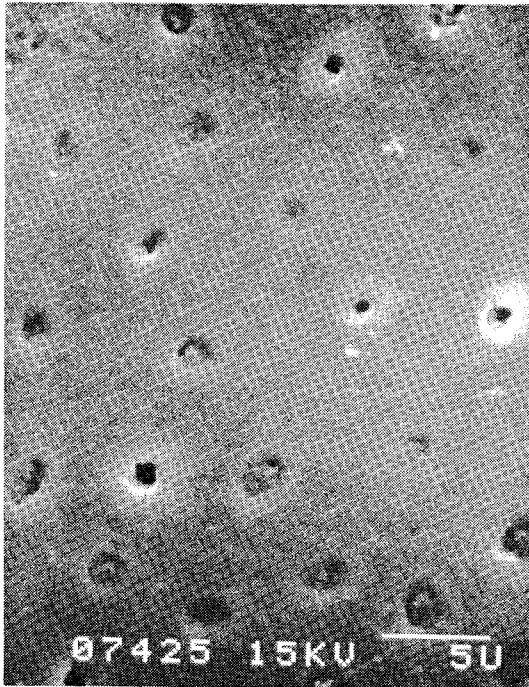


Fig. 6. Normal dentin (x 3,900)

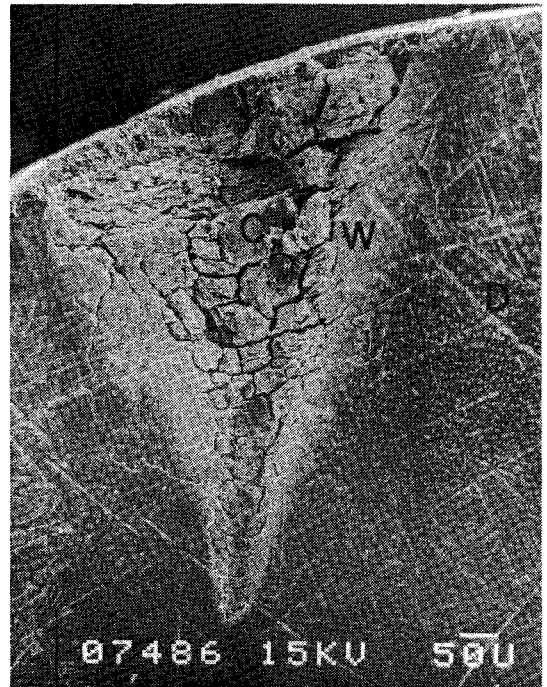


Fig. 7. Lased dentin, 5W, 1.0 sec. (x 140)



Fig. 8. Lased dentin, 5W, 1.0 sec. (x 460)

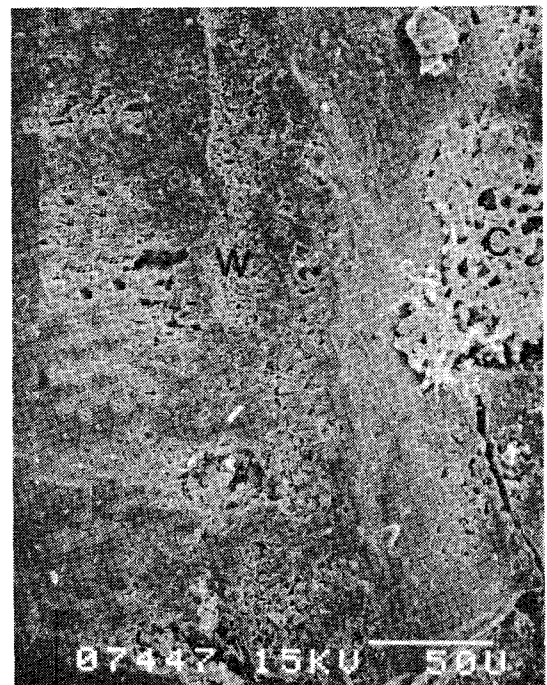


Fig. 9. Lased dentin, 20W, 1.0 sec. (x 450)

논문 사진부도 ③

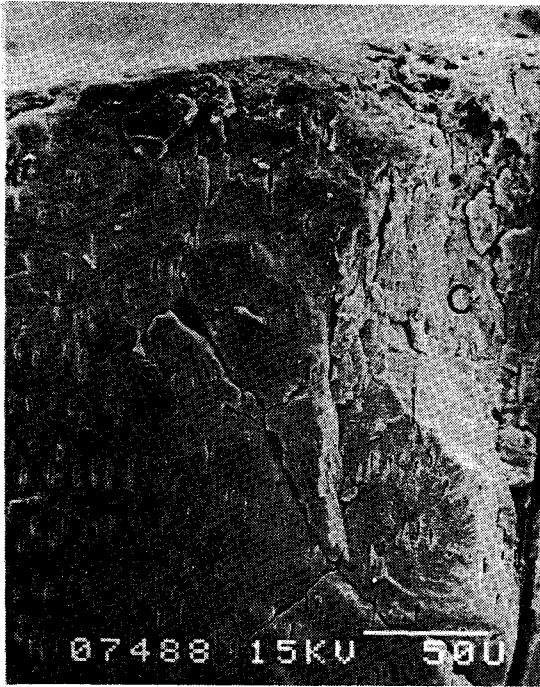


Fig. 10. Lased dentin, 5W, 10 times for 0.1 sec. (x 440)

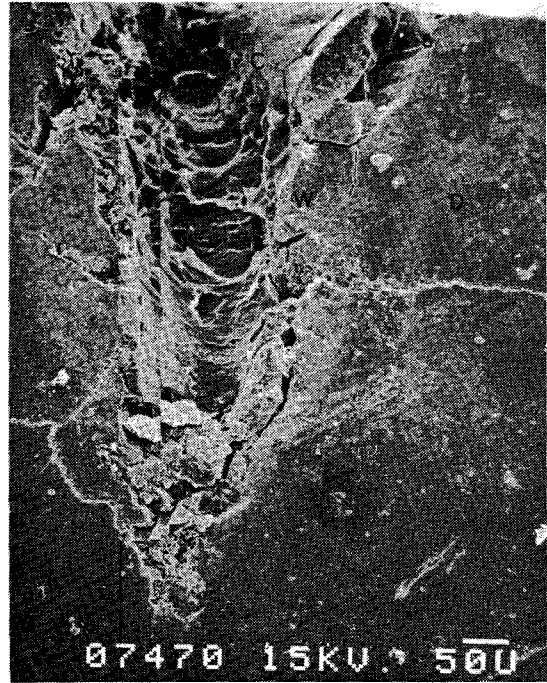


Fig. 11. Lased dentin, 10W, 10 times for 0.1 sec. (x 160)

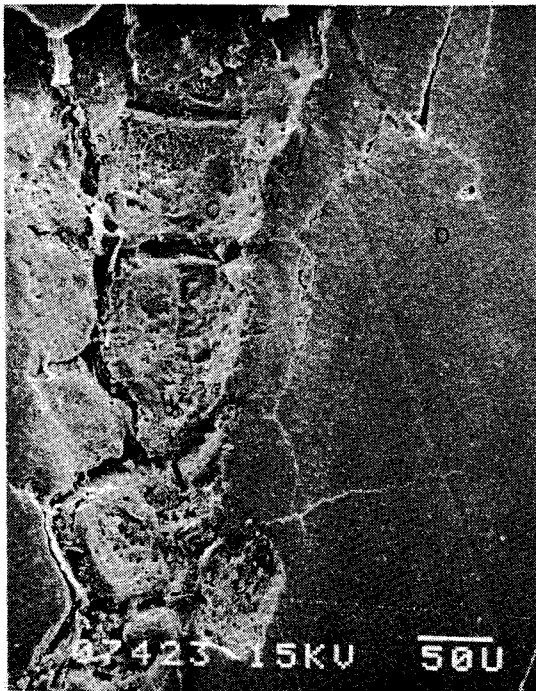


Fig. 12. Lased dentin, 50W, 0.2 sec. (x 260)



Fig. 13. Lased dentin, 50W, 0.2 sec. (x 640)