

CO₂레이저 조사후 상아질 조직변화에 대한 주사전자현미경적 연구

연세대학교 치과대학 보존학교실

崔東勳 · 李正稜

I. 서 론

1960년 Maiman²⁰⁾이 루비 레이저의 발전에 성공한 이래 광범위한 파장의 영역에서 여러 종류의 레이저가 개발되어, 레이저광을 방출하는 물질에 따라, 발진파에 의하여, 또는 출력의 크기에 따라서 분류되고 있으나⁹⁾ 일반적으로 레이저광을 방출하는 발생매체에 따라 고체 레이저(Nd-YAG, Ruby 등), 기체 레이저(CO₂, He-Ne, Ar 등), 액체 레이저(색소), 그리고 반도체 레이저로 분류되며 통신, 계측, 가공을 위시한 각종 분야에서 응용되고 있다^{9, 20)}.

의학 분야에서도 레이저활용에 대하여 활발한 연구가 진행되어, 실용화되고 있으나^{9, 10, 20, 26)}, 치의학 분야에서는 1964년 Goldman 등¹²⁾이 처음으로 발거된 치아에 루비레이저를 조사하여 정상치면보다 우식치면에 레이저광의 흡수가 높음을 보고하여 치아우식증 치료에 레이저의 이용 가능성을 제시한 이후, 아직 기초적 연구단계에 있으며 부분적으로 임상에서 응용되어 왔다.

치아우식 예방효과를 얻기 위하여 Stern⁴⁵⁾, Morioka³²⁾, Yamamoto⁵⁶⁾, 김⁵⁰⁾은 낮은 에너지의 레이저를 조사하여 내산성이 증가됨을 관찰보고하여 임상에서 활용되어 오고 있으며, Boehm²⁾, Kato²¹⁾, 이⁶²⁾는 치수강의 온도변화에 대하여 연구하였고, Adrian 등¹⁾, Stern 등⁴³⁾, Taylor 등⁴⁶⁾은 루비 레이저를, Melcer 등³⁰⁾, 김⁶¹⁾은 CO₂ 레이저를 사용하여 치수반응을 조직학적으로 관찰보고 하였고, Shoji 등⁴¹⁾은 CO₂ 레이저로 치수절단술을 시도하였다.

치아 경조직 특히, 와동형성에 대하여 Stern과 Sognaes⁴⁴⁾, Goldman 등¹¹⁾, Gordon¹³⁾, Kinersly 등²³⁾

은 루비 레이저를, Burne³⁾, Scheinin 등³⁸⁾은 CO₂ 레이저를, Frentzen⁵⁾은 ArF-eximer 레이저를 사용하여 연구발표 하였으며, 레이저가 조사된 주위 경조직 변화에 대한 연구는 Peck 등³⁵⁾이 레이저가 조사된 법랑질과 상아질에서 복굴절의 차이가 있다고 보고한 후, Scheinin^{38, 39)}은 법랑질 표면에서 mineral content가 증가되었고 직접 조사된 부위는 치아구조의 융합이 일어났다고 발표하고 있으나, Lobene²⁷⁾은 X-ray 회절실험에서 enamel hydroxyapatite 특성에 변화를 나타내지 않았다고 보고하였으며, Burne³⁾은 경도측정에서 정상치질과 거의 유사한 경도를 나타냈다고 보고하였고, Kumasaki²⁴⁾는 상아질에서 barrier의 발생을 관찰 보고하고 있다. 국내에서는 이등⁶²⁾이 레이저를 조사받은 법랑질과 상아질에서 용융된 내부와 와동변연에서 pseudoisotropic zone을 관찰하였고, 이⁶³⁾는 낮은 에너지의 CO₂레이저에서 법랑질에 산부식과 유사한 양상을 나타냈다고 발표하고 있다.

그외에도 색소침착이나 치석제거에 응용하려는 연구^{22, 35, 50)}, 치근단공을 밀폐시키려는 실험^{51, 52)}, 근관기구의 소독능력에 대한 보고¹⁶⁾, 구강내 연조직에의 응용^{4, 37, 57)}, 금속재료의 용접 및 열처리가 합금의 물리적 성질에 미치는 영향에 관한 연구^{7, 42, 58)}, 충전물의 변연폐쇄에의 응용⁴⁰⁾, 와동형성시 동통감소를 위한 레이저 마취법의 시도⁵⁴⁾, 광증합 복합레진에서 광원으로의 이용³⁶⁾, 또는 지각과민치아 치료에의 임상적 이용^{25, 29, 47)} 등에 대한 시도들이 행하여지고 있다.

이와같이 레이저와 연관된 많은 연구가 있어 왔지만, 상아질에 대한 레이저 조사연구는 아직 본격적인 연구가 이루어지지 않고 있으며, 레이저

조사에 의하여 상아질 표면의 개조 즉 상아세관의 봉쇄가 이루어진다면 상아질 지각과민증의 치료와 여러 보존적 처치에 크게 유용하리라 사료되어, 이에 저자는 CO₂ 레이저를 상아질면에 조사하여 상아질면의 조직변화를 주사전자현미경으로 관찰하여 이에 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

성별·연령에 관계없이 치아 우식증이 없는 발거된 소·대구치 104 개를 0.5% chloroform(CHCl₃)에 보관하였다가 실험전 근·원심면중 택일하여 상아질이 충분히 노출될 수 있도록 치아장축에 평행되게 고속절삭용 #557 carbide bur로 삭제한후 표면의 습기를 제거하여 실험에 사용하였다.

나. 실험방법

실험에 사용한 레이저는 최대출력 30W인 CO₂ 레이저(SPACE LASER - CO₂ VEGA 25)로 빔 직경은 8mm, 출력은 20W의 연속파로 고정된 후 실온에서 조사하였다.

시편 104 개를 30 개씩 2 개군과 44 개의 1 개군으로 나누어 I군 30 개는 도말층(smear layer)을 제거하지 않고, II군 30 개는 Dentin Conditioner*/20 sec. 로 도말층을 제거하고 모든시편의 1/2 을 금속판으로 가린뒤 노출된 상아질의 중심부에 각각 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초 조사한 후

(Table 1, 2), 조사된 시편의 1/2 을 10%HCl로 2 초동안 처리하고 모든 시편을 금피복후 주사전자현미경(Hitachi S-450)으로 관찰하였으며 조사되지 않은 면은 대조군으로 사용하였다.

Table 1. Parameters of the CO₂ laser irradiation by power and time of Group I.

Subgroup	Power (watt)	Time (sec.)	Energy density (J/cm ²)	No. of teeth
A	20	0.1	4	6
B	20	0.2	8	6
C	20	0.3	12	6
D	20	0.4	16	6
E	20	0.5	20	6
Total				30

Table 2. Parameters of the CO₂ laser irradiation by power and time of Group II.

Subgroup	Power (watt)	Time (sec.)	Energy density (J/cm ²)	No. of teeth (S.L.removal)
A	20	0.1	4	6
B	20	0.2	8	6
C	20	0.3	12	6
D	20	0.4	16	6
E	20	0.5	20	6
Total				30

S.L : smear layer

Table 3. Parameters of the CO₂ laser irradiation by power, time and surface condition of Group III.

Subgroup	Power (watt)	Time (sec.)	Energy density (J/cm ²)	No. of teeth		Total
				S.L.	S.L. removal	
Control				2	2	4
A	20	0.1	4	4	4	8
B	20	0.2	8	4	4	8
C	20	0.3	12	4	4	8
D	20	0.4	16	4	4	8
E	20	0.5	20	4	4	8
Total				22	22	44

S.L : smear layer

*Dentin Conditioner (G - C Dental industrial Co.)

III군 44개는 도말층을 제거하지 않은 군과 제거한 군으로 나누어 각군에서 2개씩의 대조군을 남기고 40개는 각각 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초 조사한 후 대조군을 포함한 모든 시편의 치근을 nail enamel로 3번 도포하고 4°C와 60°C의 물속에서 100회 thermocycling 한 다음 0.5% methylene blue 수용액에 침윤시켜 항온기에서 37°C로 48시간 보관하였다가 흐르는 물에서 세척하고 조사된 면의 중앙부를 수직으로 절단하여 입체광학 현미경(Olympus SZH-ILLD)으로 색소침투 여부를 관찰하였다.

III. 실험성적

가. 육안적 관찰

각군의 4-12J/cm²에서는 육안적으로 관찰된 변화는 없었으나, 16J/cm²에서는 조사부위에서 백색의 흔적이 나타났고, 20J/cm²에서는 조사부위의 중심부가 연한 갈색으로 탄화된 양상을 보였고 탄화된 주위는 백색의 흔적이 나타났다.

나. 주사전자현미경 관찰

1) I군(도말층을 제거하지 않은 군)

* 염산처리 하지않은 시편

- 대조군-전체적으로 도말층 하방의 상아세판의 윤곽이 상아질 기질과 구별되어 백색의 원형으로 나타나며, 상아세판의 경계부 내면은 중심부를 기점으로 3-4갈래의 균열이 관찰되었다(Fig. 5-O).
- 4J/cm²조사군; 상아세판위에 위치한 도말층의 균열은 대조군에 비해 길고 넓게 나타났다(Fig. 5-A).
- 8J/cm²조사군; 상아세판위에 위치한 도말층의 균열이 더 길고 좁아져서 관찰 되었다(Fig. 5-B).
- 12J/cm²조사군; 상아세판위에 위치한 도말층의 균열은 좁아지고 가늘어지며 1-2갈래의 단순한 형태로 나타났다(Fig. 5-C).
- 16J/cm²조사군; 부분적으로 부풀어 오른 듯한 표면양상과 함께, 상아세판위에 위치한 도말층의 균열은 매우 좁게 나타났다(Fig. 5-D).
- 20J/cm²조사군; 전체적으로 표면은 평활하게 나타났다나 부분적으로 파손된 부위가 관찰 되었

고, 상아세판위에 위치한 도말층의 균열은 불명확하게 나타났다(Fig. 5-E).

* 염산처리한 시편

- 대조군-부드러운 표면이 관찰 되었으며, peritubular dentin이 제거되어 상아세판이 매우 크게 나타났다(Fig. 6-O).
- 4J/cm²조사군; 잔물결 같은 표면양상과 함께 대조군에 비하여 상아세판의 수와 크기가 약간 감소되어 나타났다(Fig. 6-A).
- 8J/cm²조사군; 잔물결같은 표면양상과 함께 많은 수의 상아세판이 봉쇄되었고 노출된 상아세판의 크기는 좁아져 있었다(Fig. 6-B).
- 12J/cm²조사군; 부드러운 표면과 함께 상아세판의 수가 매우 적게 관찰되었으며 크기 또한 아주 작아져 있고, 상아세판이 완전히 봉쇄된 부위는 얇은 깊이로 함몰되어 나타났다(Fig. 6-C).
- 16J/cm²조사군; 12J/cm²조사군과 유사한 양상이 관찰되었다(Fig. 6-D).
- 20J/cm²조사군; 12-16J/cm²조사군과 유사한 양상이 나타났으나 봉쇄되지 않은 상아세판의 크기는 약간 크게 관찰되었다(Fig. 6-E).

2) II군(도말층을 제거한 군)

* 염산처리한 시편

- 대조군-도말층의 대부분이 제거되어 상아세판이 거의 모두 노출되어 있고 상아세판내에 도말층의 잔재가 약간 남아있었다(Fig. 7-O).
- 4J/cm²조사군; 대조군에 비하여 거친 표면양상이 나타났으며, 상아세판내는 도말층의 잔재에 의한 균열이 보였다(Fig. 7-A).
- 8J/cm²조사군; 거친 표면양상과 함께 상아세판의 크기가 적게 나타났다(Fig. 7-B).
- 12J/cm²조사군; 굴 꺾질과 유사한 표면양상과 함께 상아세판의 수와 크기가 매우 적게 나타났다(Fig. 7-C).
- 16J/cm²조사군; 12J/cm²조사군과 유사한 양상이나 크기가 더 적어진 상아세판이 관찰되었다(Fig. 7-D).
- 20J/cm²조사군; 16J/cm²조사군과 유사한 양상이 나타났으나 봉쇄되지 않은 상아세판의 크기는 약간 증가되어 나타났다(Fig. 7-E).



Fig. 1. Dye penetration : Control



Fig. 2. Dye penetration : 20W, 0.3 sec. ($12\text{J}/\text{cm}^2$)

*** 염산처리한 시편**

- 대조군 - peritubular dentin 이 완전히 제거되어 상아세관이 매우 크게 나타나며 표면이 매우 평활하다(Fig. 8-O).
- $4\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군 ; 대조군에 비하여 표면이 부드러운 굴곡을 이루어 나타났다(Fig. 8-A).
- $8\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군 ; 부드러운 표면양상과 함께 상아세관의 수가 적게 나타났으며 큰 크기에서 아주 좁아진 상아세관까지 다양하게 나타났다(Fig. 8-B).
- $12\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군 ; 전체적으로 잔물결과 같은 표면양상을 보이며, 상아세관이 거의 모두 봉쇄되어 나타났다(Fig. 8-C)
- $16\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군 ; $12\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군과 유사한 양상이 나타났다(Fig. 8-D).
- $20\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군 ; $12 - 16\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군과 유사한 양상을 보이나, 좁아졌으나 봉쇄되지 않은 적은 수의 상아세관이 나타났다(Fig. 8-E).

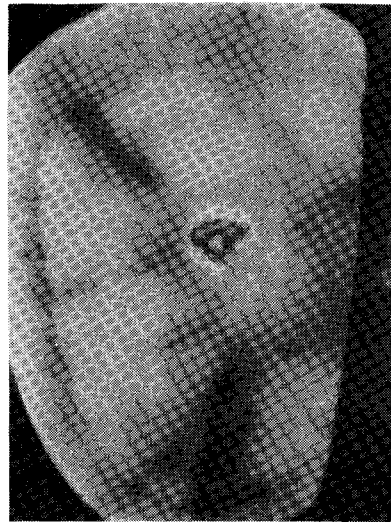


Fig. 3. Dye penetration : 20W, 0.4 sec. ($16\text{J}/\text{cm}^2$)

다. 색소 침투 (입체광학현미경 관찰 ; Group III)

대조군은 노출된 상아질의 전표면에 걸쳐 색소 침투가 균일하게 나타났다(Fig. 1). $12 - 16\text{J}/\text{cm}^2$ 조사군에서 색소침투가 가장 적게 나타났고(Fig. 2, 3), 그의 조사군에서도 대조군에 비하여 색소침투가 저지되어 나타났으며, 저지된 양상은 불규칙하게 관찰되었다. 도말층을 제거한 경우에도 이와 유사한 양상이 관찰되었다.

IV. 총괄 및 고찰

Laser(light amplication by stimulated emission of radiation)는 파장 $10\mu\text{m} - 1\text{mm}$ 의 광영역으로, 인공적으로 만들어진 빛으로 강력한 에너지를 광의 형태로 효과적으로 전달할 수 있는 성질을 가지고 있어 응집성(coherence), 단색성(monochromaticity), 지향성(directionality), 고휘도성(brightness)의 특성을 갖고 있다²⁸⁾.

레이저의 생체에 대한 자극작용의 기저는 비열

효과와 열효과로 나뉘며 비열효과는 압력효과, 팽 작용, 전자계의 영향으로 생각되고 있으며 He-Ne 레이저나 반도체 레이저가 이에 속하고 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저는 열효과에 의한 것으로 이중 레이저 치료기기의 주된 작용은 열효과에 의한 것이고^{19, 57)}, 레이저와 조직간의 상호작용은 레이저 변수(power, density, duration of exposure, and wave-length)와 조직 변수(absorption, scatter, thermal conductivity, and local circulation) 사이의 함수관계에 의한다¹⁹⁾.

레이저가 치아에 조사될때 에너지의 일부는 반사되고 나머지는 치아에 흡수되어 열로 변하게되며 주로 치아에 영향을 미치는 것은 후자의 흡수되는 에너지이다⁴⁶⁾.

Kumasaki²⁴⁾는 상아질의 자외, 가시, 적외에 걸친 넓은 파장 범위에서의 흡수계수를 자기분광광도계와 적외분광광도계를 사용 측정하여 CO₂ 레이저의 파장(10.6 μ m)이외에서는 흡수가 없었고, 적외분광분석에 의한 상아질에서 각종 레이저의 도래심도의 측정에서 N₂ 레이저 7.9 μ m, Ar 레이저 9.4 μ m, 루비 레이저 11 μ m, Nd:YAG 레이저 12 μ m, CO₂ 레이저 7.7 μ m로 CO₂ 레이저가 가장 표층에서 작용함을 발견하여 CO₂ 레이저가 상아질에 가장 유효한 레이저라 하였으며, CO₂ 레이저는 치질에서 산란과 반사가 적고 색 의존성이 없으며 표층에서 잘 흡수되기 때문에 정확한 에너지를 조사할 수 있고 물에 흡수되어 치수보호가 용이하여^{9, 24, 31, 46)} 본 논문 작성의도에 적합하여 본 실험에 선택되었다.

bur로 삭제된 상아질은 분해된 collagen으로 구성된 외층과 disordered crystalline structure로 구성된 내층의 1-2 μ m의 2층으로 구성되어 있으며⁶⁾, 이러한 도말층(smear layer)의 제거여부에 관한 논쟁이 많으나¹⁵⁾ 레이저조사에 의하여 이 층이 기존의 상아세관과 함께 용융·봉쇄될 수 있으면 아주 이상적이며 더우기 도말층의 세균도 동시에 처리될 수 있으나 레이저조사시 도말층의 영향을 알 수 없었으므로, 본 실험에서는 도말층을 제거한 군과 제거하지 않은 군으로 나누어 실험하게 되었으며 제거방법으로는 6% citric acid/15sec.가 좋다는 보고³⁴⁾와 25% poly(acrylic acid)/10sec.가 좋다는 연구결과⁵³⁾가 있어서, 예비실험으로 6% citric acid/10, 15sec., ultrasonic cleansing/5min., water jet & cleaning powder/5min., mild poly(dentin conditioner:

G-C)/20sec.를 사용하여서 상아질표면을 처리한 다음 SEM 관찰하여 도말층의 대부분이 제거되어 상아세관이 노출되고 peritubular dentin에 영향이 제일 적은 mild poly/20sec.를 선택하였다.

사용된 레이저의 에너지밀도가 치수에 미치는 영향에 대하여 Melcer 등³⁰⁾은 개와 원숭이에서 Black 씨의 5급 와동을 형성한 후 치수벽에 CO₂ 레이저를 0.5-1sec.간격으로 분할조사하여 800-8,000J/cm²의 에너지밀도에서는 치수의 괴사없이 상아질의 재생이 일어난다고 보고하였고, 김⁶⁰⁾은 개의 치아 치경부에 연속파의 CO₂ 레이저를 치수를 관통하지 않는 11,300-56,600J/cm²로 조사하였을때 일시적인 치수손상은 일으키지만 1주후에는 회복 및 재생되는 것을 관찰보고하고 있어 본 연구의 최고 조사량인 20J/cm²에서는 치수에 불가역적인 변화는 야기하지 않을 것으로 사료되었다.

Peck 등³⁵⁾은 루비 레이저로 2,000J의 에너지를 조사하여 상아질에서 0.1mm보다 얇은 불규칙한 형태의 crater 형성을 보고하였고, 이⁶²⁾는 CO₂ 레이저로 159-1274J/cm²를 조사하여 상아질에서 부분적으로 용융·융합된 백색을 나타내며 외부는 탄화되어 있었다고 발표하였다. 본 실험의 육안적 관찰에서는 crater는 관찰되지 않았으며, 12J/cm²까지는 아무런 변화가 없었으며, 16J/cm²에서는 백색의 혼탁이 희미하게 나타났고, 20J/cm²에서는 연한갈색으로 탄화된 부위가 나타났다. 16J/cm²에서 관찰된 백색의 혼탁은 상아질이 용융·융합되어 나타나는 것으로 추측된다.

본 실험에서 레이저를 조사하고 염산처리 하지 않은 경우의 SEM 관찰에서 I군의 대조군에서는 전체적으로 도말층 하방의 상아세관위에 균열이 뚜렷하게 나타나는데 이는 Pashly의 관찰과 일치하며 이 이유로는 아마도 SEM 관찰을 위한 extreme vacuum과 drying equipment에 의한 artifacts로 생각된다고 하였다³⁴⁾. 도말층을 제거하지 않은 I군에서 조사된 에너지가 점차 증가될수록 균열이 가늘고 길어지다가 20J/cm²에서는 부분적으로 탄화된 양상이 나타나는데 이것은 레이저조사에 의하여 도말층이 기존의 상아질에 부착성이 증가되었고 상아세관이 용융·봉쇄되었기 때문인 것으로 추측된다.

도말층이 제거된 II군에서는 조사된 에너지가 증가될수록 상아세관이 타원형으로 가늘어지면서

점차 등글고 작게 나타나서 상아세관이 좁아져서 봉쇄되는 과정이 관찰되었다. 이는 표층의 상아질 기질과, 남아있는 약간의 도말층의 잔재, peritubular dentin 이 용융·융합되면서 상아세관이 봉쇄된 것이라 생각할 수 있으며 특히 12J/cm²와 16J/cm²에서 상아세관의 수와 크기가 가장 적게 나타났고 20J/cm²에서는 오히려 상아세관이 약간 더 넓어져서 관찰되는데 이는 I군에서와 같은 이유로 생각된다.

상아질에서 레이저조사에 의한 상아세관의 봉쇄가 레이저 작용중의 하나인 압력작용으로 인하여 도말층의 일부가 상아세관내로 밀려들어간 것인지, 상아세관이 peritubular dentin, 상아질 기질, 도말층과 함께 열작용에 의하여 용융·융합되었는지 관찰하기 위하여 레이저조사후 10%HCl/2sec. 처리한 경우는 I, II군 모두에서 부드러운 표면양상을 보이며 상아세관은 여전히 봉쇄되어 나타났고 각각의 에너지밀도에 따른 봉쇄효과도 염산처리하지 않은 경우와 유사하게 나타나서 상아세관의 봉쇄효과는 레이저의 주된작용인 열작용에 의한 것이며 압력작용도 일부 관계되었다고 생각되었으며, 내산성 또한 존재함을 알 수 있었다.

이상과 같이 I, II군의 SEM 관찰에서 상아세관을 봉쇄하면서 탄화를 일으키지 않는 12-16J/cm²의 범위가 가장 좋은 조사조건임을 알 수 있었으나, Kumasaki²⁴⁾는 2W/sec. (117.6J/cm²)전후가 가장 좋은 조사조건이라 하여 본 실험결과와 많은 차이가 있어서 Kumasaki의 연구보고서에 기록된 조사조건을 계산하여 본 결과 조사반경을 직경으로 잘못 계산한 것으로 생각되었으며, 그럴 경우 2W/sec.의 에너지밀도가 28.3J/cm²로 나타났지만 그래도 본 실험의 결과보다는 약 2배가량 크게 나타났다. 이것은 실험시편에 관한 자세한 언급이 없지만 아마도 실험시편의 조건(보관상태, 실험직전의 상태등), 레이저의 기종, 조사조건등의 차이때문인 아닌가 사료된다.

도말층의 영향을 비교하기 위한 I, II군의 SEM 관찰에서 차이점을 찾을 수 없었는데, 이는 CO₂ 레이저의 도래심도 7.7μm에 비하여 도말층의 두께가 1-2μm로 매우 얇기 때문이라 생각되며, 도말층의 존재유무는 레이저 조사에 의한 상아질변화에 크게 영향을 미치지 않으리라 추측된다.

CO₂ 레이저 조사로 영향받은 상아질의 깊이를 알기 위하여 레이저가 조사된 중심부를 수직절단

하여 절단면을 관찰한 실험에서 Kumasaki²⁴⁾는 적외분광분석에 의하여 산출된 CO₂ 레이저의 도래심도 7.7μm와 일치되는 SEM상에서도 7-10μm전후까지의 구조미상의 기질변화를 관찰하였다고 하였는데, 본 실험에서도 I, II군 모두에서 하부조직과 약간 구조가 다른 듯한 5-10μm의 표층을 관찰하였으나 확실한 구분은 어려웠다.

레이저 조사후 치아 경조직에 대한 여러 편광현미경 실험^{35, 39, 63)}에서 정상적인 복굴절을 보이는 부분과 치질파괴로 인하여 복굴절이 보이지 않는 부분사이에 법랑질에서는 3층, 상아질에서는 단층의 pseudoisotropic zone이 나타남을 보고하고 있으며, pseudoisotropic zone이 나타나는 이유는 레이저가 조사된 부위의 에너지밀도 차이로 인하여 변화된 무기물의 위치차이 때문이라 했으며³⁹⁾, 이⁶³⁾는 상아질에서 단층의 pseudoisotropic zone이 생기는 것은 99%가 무기물인 법랑질과 달리 상아질은 약 70%의 무기물(hydroxyapatite), 18%의 유기질(90%가 collagen), 12%의 물로 구성되어 이에 따른 무기물의 함량차이와 collagen의 탄화 때문이라고 추론하였다. 본 실험에서는 매우 낮은 에너지를 사용하였기 때문에 치질의 파괴가 거의 없을 것으로 생각되나 용융·융합되는 과정에서 생길 수 있는 pseudoisotropic zone의 존재유무에 대한 관찰과 함께 상아질 표층의 생화학적 분석이 필요하다고 사료된다.

광학현미경으로 색소침투여부를 관찰한 III군에서 대조군은 노출된 상아질의 전 표면에 걸쳐 균일한 색소침투가 관찰되었으며, 12-16J/cm²경우는 색소침투가 가장 적게 나타났으며 그의 조사군에서도 색소침투가 저지되어 나타났고 양상 또한 불규칙하게 관찰되어, 레이저 조사에 의하여 색소침투가 분명히 저지되며 명확한 barrier의 발생을 보고한 Kumasaki의 연구²⁴⁾와 일치된 결과를 얻었다. 도말층을 제거한 경우는 제거하지 않은 경우에 비하여 색소침투가 약간 증가되어 나타났으나 전반적으로 각각의 조사조건에 따른 그 양상이 매우 유사하여 이것이 도말층의 영향인지 확실히 구분할 수는 없었다.

열 분석을 행함으로써 상아질의 기본적인 열적 특성을 조사함과 아울러 레이저 조사시의 온도상승에 따른 상아질의 미세조직변화와의 상관관계를 예측해 보기 위하여 DT·TG analyzer(RIGAKU

PTC-10A)를 사용하여 DT·TG analysis를 시행하여, 70°C에서 약간의 weight loss와 함께 흡열반응의 peak가 나타났고 약 325°C 부근에서 상당한 크기의 발열반응의 peak가 나타나고 그에 따른 현저한 weight loss를 관찰하여(Fig. 4), 아마도 70°C에서의 흡열반응의 peak는 상아질내의 수분의 증발에 필요한 온도라 간주되며, 325°C에서의 발열반응의 peak는 유기물 및 무기물의 산화에 따른 것으로 추측할 수 있다. 이것으로 볼때 발열반응을 나타내는 곡선의 기울기가 급경사를 이루기 시작하는 260-325°C 사이에서 상아질표면의 변화가 일어나는 것이 아닌가 생각된다.

또한 레이저 조사에 따른 상아질 표면온도를 측정하기 위하여 thermocouple(Pt/Pt·Rh 13%)을 이용하여 4J/cm²-20J/cm²까지 각각 5회씩 digital thermometer(YEW TYPE 2572)로 측정하여 평균치

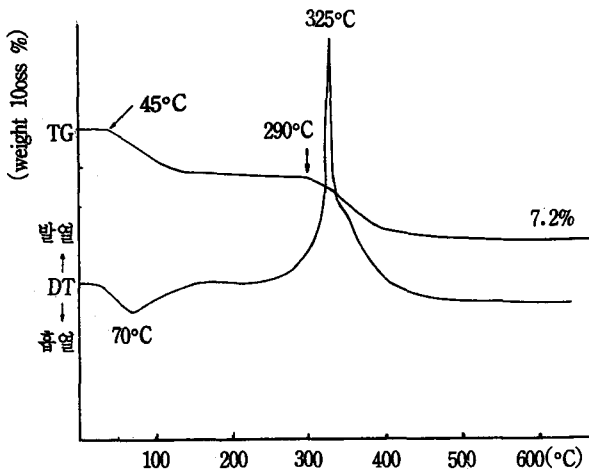


Fig. 4. DT.TG Analysis of human tooth dentin

인 57.0°C, 75.0°C, 90.8°C, 95.2°C, 108.8°C의 결과를 얻었으나 thermometer를 이용한 경우 최소 2-3초 이상 열에 접촉되어야 정확한 결과를 얻을 수 있으나 본 연구에서는 최고 조사시간이 0.5초였기 때문에 비교적 큰오차가 나타난 것으로 사료된다.

DT·TG analysis에서 얻은 결과를 토대로 레이저 조사에 따른 상아질의 표면온도를 간접적으로 측정하기 위하여 미리 온도를 250°C, 275°C, 300°C, 325°C로 고정시킨 siliconite 발열체를 사용하는 전

기로에 상아질이 노출된 시편을 넣고 각각 5분씩 방치하였을때 250°C에서는 대조군에 비하여 아주 연한 노란색이 나타났으며 275°C에서는 열은 갈색으로 탄화된 양상이 나타났으나 SEM 관찰에서 상아세관이 붕쇄되지 않았음이 관찰되어, 레이저 조사에 따른 상아질 표면온도를 정확히 측정할 수는 없었으나 탄화가 시작되는 온도가 250°C 부근이며 상아세관의 붕쇄효과는 레이저의 열작용 뿐만 아니라 다른 작용(압력작용, 광작용, 전자계작용)도 관계되는 것으로 간주된다. 그러나, 실험상의 어려움 때문에 시편을 전기로에서 5분간 방치함으로써 레이저 조사시간과는 차이가 있어 이에따른 오차도 고려해야 할 것으로 생각되며 앞으로 보다 체계적이고 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

상아질 지각과민증의 기전에 대하여서는 몇가지 가설이 있고 이중 Brännström의 hydrodynamic theory가 가장 신빙성이 있으나, Dowell & Addy는 기전이 무엇이든 간에 상아세관의 붕쇄가 가장 필수적인 치료방법⁵⁾이라 주장했으며, 이와 연관되어 Jorkjend & Tronstad¹⁸⁾, Pashley³³⁾, Tarbet 등⁴⁸⁾, Greenhill & Pashley⁴⁹⁾등이 국소도포제를 이용하여 상아세관의 붕쇄효과를 관찰하였다고 하고 있으나, 이러한 방법들은 물리적인 붕쇄가 표면에서만 이루어지므로 곧 탈락되어 재발하는 문제점이 있으며, 최근에는 Kumasaki 등²⁵⁾과 Matsumoto²⁶⁾가 만성 치경부 상아질 지각과민증에 GaAlAs 반도체 레이저를 사용하여 조사직후 거의 모든 증례에서 효과가 나타났다고 보고하였으며 Yamaguchi 등⁵⁰⁾은 air spray에 따른 이중 냉각법에 의한 치료효과를 발표하면서 객관화된 판정이라고 주장하였으나 결과 측정이 주관적이고 Iwsae¹⁷⁾의 실험에서도 이와 같은 효과에 대한 기전을 명확히 입증할 수 없었으며 앞으로의 연구가 더 필요하다고 보고하고 있다.

그러나, 본 연구결과와 같이 레이저에 의하여 단시간내에 상아질 표면의 개조가 이루어지면, 즉 상아세관을 포함한 기질을 도말층과 같이 용해·붕쇄하게 되면 상아질 지각과민증의 처치에 매우 유용하고 재발의 염려가 없으며, 도말층의 세균도 없앨 수 있을 뿐더러, 이장재를 사용하고 있는 여러 보존적 처치에서 매우 간편하고 효과적인 결과를 얻을 수 있고, 치근단 절제술시에 노출된 상아질

면을 용해·봉쇄할 수 있으므로 상아세관내의 세균의 누출을 막을 수 있는 등의 많은 임상적 어려움을 해결할 수 있을 것으로 사료되나, 보다 나은 효과와 임상적 응용을 위하여 앞으로 레이저 조작방법과 발진양상등의 조사조건을 조정·개발하는 것이 유익할 것으로 생각된다.

V. 결 론

우식증이 없는 발거된 소·대구치 104개의 근·원심면중 택일하여 상아질을 노출시키고 CO₂ 레이저를 사용하여 4J/cm², 8J/cm², 12J/cm², 16J/cm², 20J/cm²의 에너지밀도를 조사한 후 주사전자현미경 및 입체광학현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저 조사에 의하여 상아세관의 봉쇄가 이루어졌다.
2. 10% HCl/2sec. 처치 후에도 상아세관은 봉쇄되어 나타났으며, 이것으로 미루어 내산성이 존재함을 알 수 있었다.
3. 대조군에 비하여 레이저를 조사한 군에서 색소 침투가 적게 나타났다.
4. 도말층의 존재유무는 레이저 조사에 따른 상아세관의 봉쇄효과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Adrian, JC, Bernier, JL, and Sprague, WG : Laser and the dental pulp. J. Am. Dent. Assoc. 83 : 113, 1971.
2. Boehm, R et al : Temperatures in human teeth due to laser heating. ASME 75 - WA/Bio - 8, 1975.
3. Burne, D : Interaction of pulsed carbon dioxide laser beams with teeth in vitro. Scan. J. Dent. Res. 88 : 301, 1980.
4. Clayman, L & Beckman, H : Healing of continuous wave and rapid superpulsed, carbon dioxide, laser - induced bone effects. Oral Surg. 36 : 932, 1978.
5. Dowell, P & Addy, M : Dentin hypersensitivity - A review. J. Periodontol. 10 : 341, 1983.
6. Eick, JD, Bowen, RL, Erickson, R and Cobb, EN :

TEM of the smear layer and the dentin adhesive interface. J. Dent. Res. 66 : 268, 1987.

7. Eshleman, JR et al : Heat treatment of laser - welded gold alloys. J. Prosthet. Dent. 36 : 655, 1976.
8. Frentzen, M et al : Caries removal and conditioning of tooth surface in adhesive dentistry by using 193nm Eximer laser. Presentation at the 1st. Int'l Congress of Laser in Dentistry. Tokyo, 5 - 6/8/1988.
9. Fukaya, M & Kagami, K : Nd : YAG 레이저의 구강영역에서의 응용(1). 치계전망 73 : 853, 1989.
10. Goldman, L & Blaney, DJ : The biomedical aspects of laser. J. Am. Med. Assoc. 18 : 302, 1964.
11. Goldman, L & Grey, JA : Effect of laser beam impacts on teeth. J. Am. Dent. Assoc. 70 : 601, 1965.
12. Goldman, L & Hornby, P : Impact of the laser on dental caries. Nature 203 : 417, 1964.
13. Gordon, TE, Jr : Some effects of laser impacts on extracted teeth. J. Dent. Res. 45 : 372, 1966.
14. Greenhill, JD & Pashley, DH : The effects of desensitizing agents on the hydraulic conductance of human dentin in vitro. J. Dent. Res. 60 : 686, 1981.
15. Gwinnett, AJ : Dentin bonding ; present status. NY State Dent. J. 51 : 635, 1985.
16. Hooks, TW et al : Use of the carbon dioxide laser in sterilization of endodontic reamer. Oral Surg. 49 : 263, 1980.
17. Iwase, T, Hori, N & Morioka, T : Possible mechanisms of the He - Ne laser effects on the cell membrane characteristics. MZV Verlag. 4 : 166, 1988.
18. Jorkjend, L & Tronstad : Treatment of hypersensitive root surfaces by calcium hydroxide. Scand. J. Dent. Res. 80 : 264, 1972.
19. Kakami, K, Yoshida & Fukaya, M : Nd : YAG 레이저의 구강영역에서의 응용(2). 치계전망 73 : 1107, 1989.
20. Kapany, NS & Pepers, NA : Retinal photocoagulation by laser. Nature 199 : 146, 1963.
21. Kato, K & Nagasawa, A : Basic study on change

- of temperature of a tooth after CO₂ laser irradiation. The Journal of Japan Society for Laser Medicine. 1 : 294, 1980.
22. Kinerslay, J et al : Laser effects on materials related to dentistry. J. Am. Dent. Assoc. 70 : 593, 1965.
 23. _____ : Laser - induced microperforation in teeth sections. J. Dent. Res. 45 : 199, 1966.
 24. Kumasaki, M : 레이저와 상아질. 치과에서의 임상응용과 그 기초. Tokyo, Quintessence. pp. 159 - 165, 1989.
 25. Kumasaki, M et al : Clinical evaluation of GaAlAs - semiconductor Laser in the treatment of hypersensitive tooth. Jap. J. Conservative Dent. 33(4) : 911, 1990.
 26. Litwin, MS & Glew, DH : The biologic effects of laser radiation. J. Am. Med. Assoc. 187 : 842, 1964.
 27. Loebne, RR & Fine, S : Interaction of laser radiation with oral hard tissue. J. Prosthet. Dent. 16 : 589, 1966.
 28. Maiman, TH : Stimulated optical radiation in ruby. Nature 187 : 493, 1960.
 29. Matsumoto, M : 특집 각종 전기 기기의 보존 치료에의 응용 ; 치수치과와 레이저. 치과저널. 25 : 489 - 497, 1987.
 30. 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. Endodont. 11 : 1, 1985.
 31. Morioka, T & matsumoto, M : 레이저와 법랑질. 치과에서의 임상응용과 그 기초. Tokyo, Quintessence. pp. 152 - 158, 1989.
 32. Morioka, T & Matuda, N : Effect of laser irradiation on an increment of sealant adhesion and acid resistibility. The Journal of Japan Society for Laser Medicine. 1 : 327, 1980.
 33. Pashley, DH : Dentin permeability, Dentin sensitivity, and Treatment through tube occlusion. J. Endodont. 12 : 465, 1986.
 34. Pashley, DH, Michelich, V, and Kehl, T : Dentin permeability ; Effects of smear layer removal. J. Prosthet. Dent. 40 : 531, 1981.
 35. Peck, S & Peck, H : Laser radiation ; Some specific dental effects and an evaluation of its potential dentistry. J. Prosthet. Dent. 17 : 195, 1967.
 36. Powell, GL et al : The use of an argon laser for polymerization of composite resin. J. Esthet. Dent. 1 : 34, 1990.
 37. Sachs, SA & Bordon, GE : The utilization of the carbon dioxide laser in the treatment of recurrent papillomatosis ; report of case. Oral Surg. 39 : 299, 1981.
 38. Scheinin, A & Kantola, S : Laser - induced effects on tooth structure. I. Crater production with a CO₂ - laser. Acta Odont. Scand. 27 : 173, 1968.
 39. _____ : Laser - induced effects on tooth structure. II. Microradiography and polarized light microscopy of dental enamel and dentin. Acta Odont. Scand. 27 : 180, 1968.
 40. Shoji, S : 레이저와 충전물 변연. 치과에서의 임상응용과 그 기초. Tokyo, Quintessence. pp. 213 - 218, 1989.
 41. Shoji, S, Nakamura, M and Horiuchi, H : Histopathological changes in dental pulp irradiated by CO₂ laser, A preliminary report in laser pulpotomy. J. Endodont. 11 : 379, 1985.
 42. Smith, DL et al : Laser welding of gold alloys. J. Dent. Res. 51 : 161, 1972.
 43. Stern, RH, Renger, HL and Howell, FV : Laser effects on vital dental pulps J. Brit. Dent. 1 : 26, 1969.
 44. Stern, RH & Sognaes, RF : Laser beam effect on dental hard tissue. J. Dent. Res. 43 : 873, 1964.
 45. Stern, RH, Sognaes, RF & Goodman, F : Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility. J. Am. Dent. Assoc. 73 : 838, 1966.
 46. Stern, RH, Vahi, J & Sognaes, RF : Lased enamel ; Ultrastructural observation of pulsed carbon dioxide laser effects. J. Dent. Res. 51 : 455, 1972.
 47. Takahara, M et al : 상아질 지각과민증의 처치에 응용한 저출력 레이저의 효과 판정법. 치계전망. 73 : 485, 1989.
 48. Tarbet, WJ, Silverman, G & Fratarcangelo, PA : Clinical observation of a new treatment for dental hypersensitivity. J. Periodontol. 51 : 535, 1980.

49. 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.
50. Varner, RE et al : Effect of differnt colored stains on laser microbeam impact sites on tooth enamel. *J. Dent. Res.* 46 : 756, 1967.
51. Weichman, JA & Johnson, FM : Laser use in endodontics ; a preliminary investigation. *Oral Surg.* 31 : 416, 1971.
52. Weichman, JA et al. : Laser use in endodontics ; Part II. *Oral Surg.* 34 : 828, 1972.
53. Wilson, AD and Mclean, JW : Glass - Ionomer Cement. Quintessence Pub. Co., Inc. pp. 83 - 104, 1988.
54. Yakabayasji, H : 와동형성을 위한 응용-레이저 마취법의 시도. 치과에서의 임상응용과 그 기초. Tokyo, Quintessence. pp. 46 - 50, 1989.
55. Yamaguchi, M et al : Clinical study on the treatment of hypersensitive dentin by GaAlAs laser diode using the double blind test. *Aichi-Gakuin J. Dent. Sci.*, 28 : 703 - 7, 1990.
56. Yamamoto, H & Sato, K : Prevention of dental caries by acousto - optically Q - switched Nd : YAG laser irradiation. *J. Dent. Res.* 59 : 137, 1980.
57. Yoshida, K, Kakami, K & Fukaya, M : Nd : YAG 레이저의 구강영역에서의 응용(3). *치계 전망.* 73 : 1551, 1989.
58. 김경남 : 레이저가 치과 주조용 비금속 합금에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한치과의사협회지*, 22 : 781, 1984.
59. 김순주 : 탄산가스 레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 12 : 9, 1985.
60. 김희중 : CO₂ 레이저 조사가 성견 치수에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한치과보존학회지*, 13 : 7, 1988.
61. 이명숙 : 탄산가스 레이저 조사치면의 주사전 자현미경적 관찰 및 레진 부착력에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 17 : 160, 1990.
62. 이종만 외 : CO₂ 레이저 조사에 따른 치수강내 온도변화에 관한 실험적 연구. *대한치과보존학회지*, 10 : 43, 1984.
63. 이한룡 외 : CO₂ 레이저 조사에 따른 치아 경조직 변화에 관한 편광현미경적 연구(II). *대한치과의사협회지*, 24 : 171, 1986.

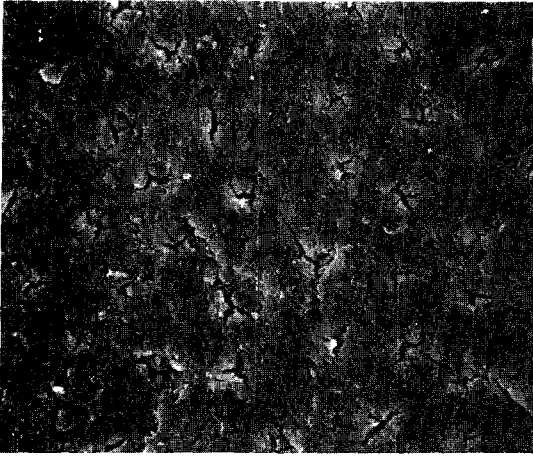


Fig. 5-0.



Fig. 5-A.

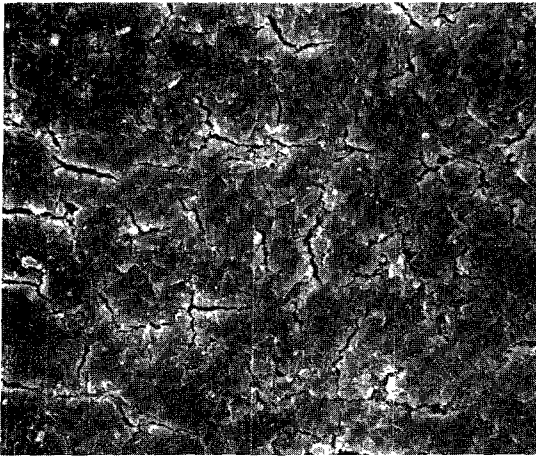


Fig. 5-B.



Fig. 5-C.

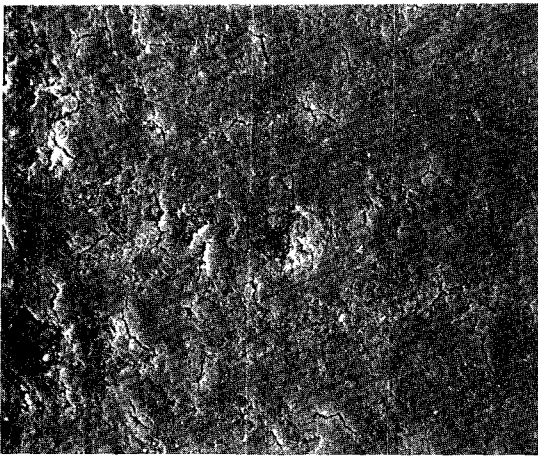


Fig. 5-D.

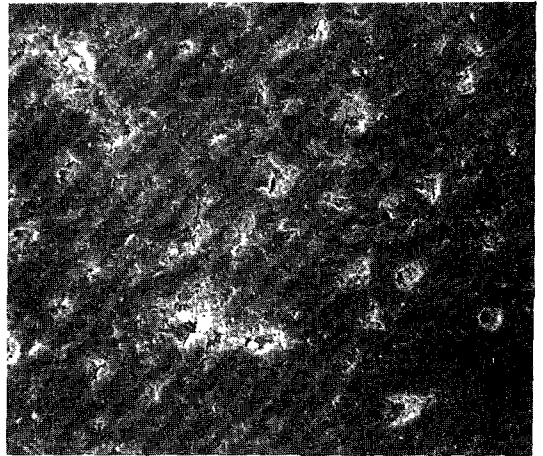


Fig. 5-E.

논문 사진부도 ②

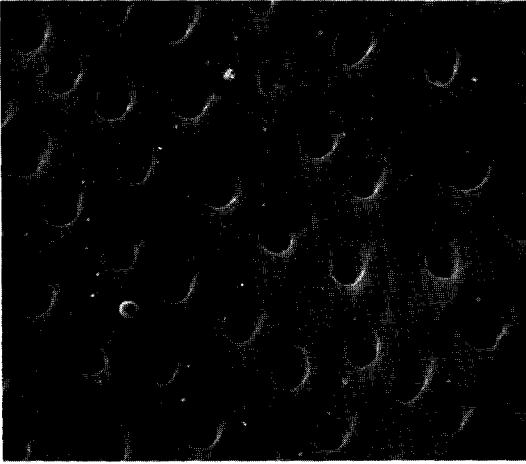


Fig. 6-0.

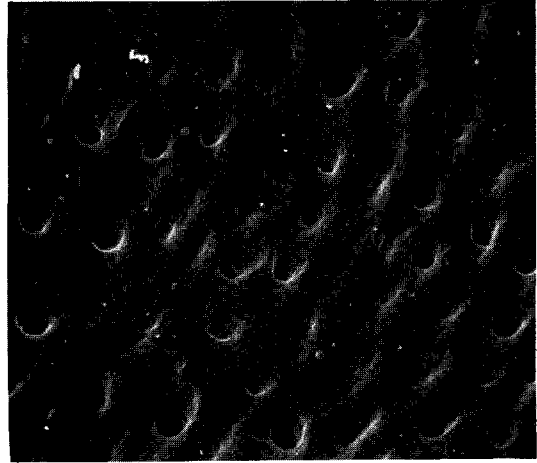


Fig. 6-A.

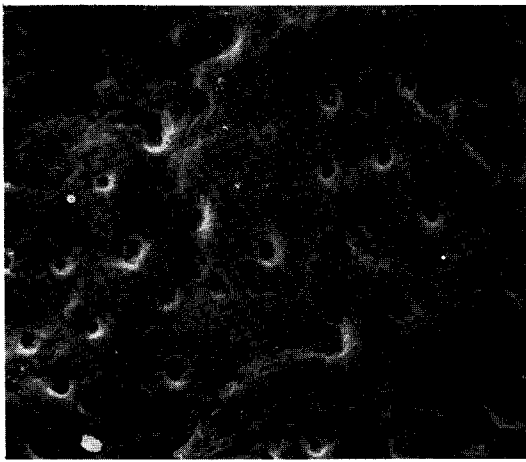


Fig. 6-B.

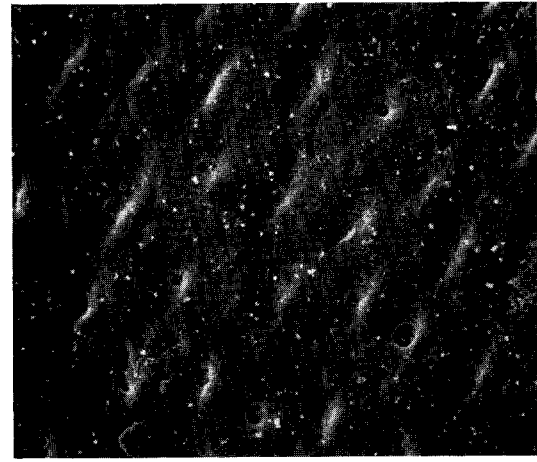


Fig. 6-C.

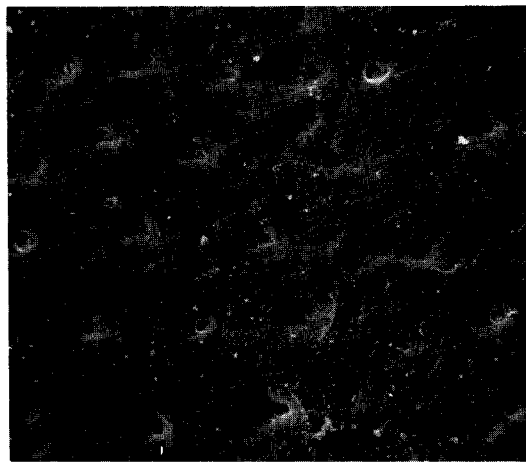


Fig. 6-D.

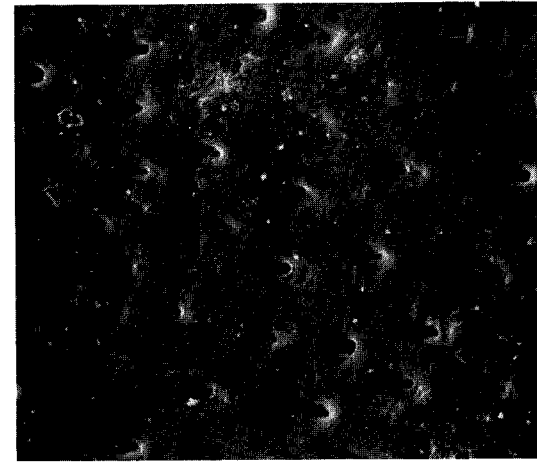


Fig. 6-E.

논문 사진부도 ③

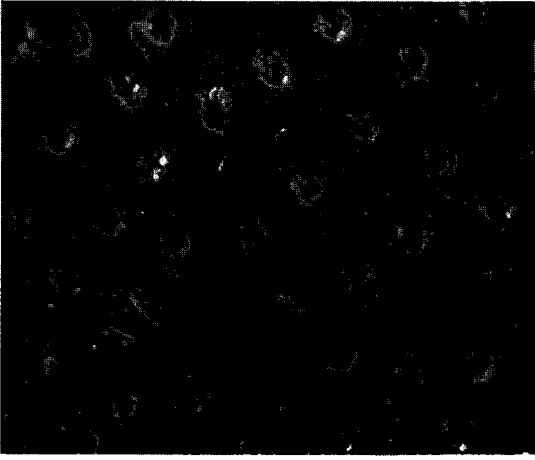


Fig 7-0.

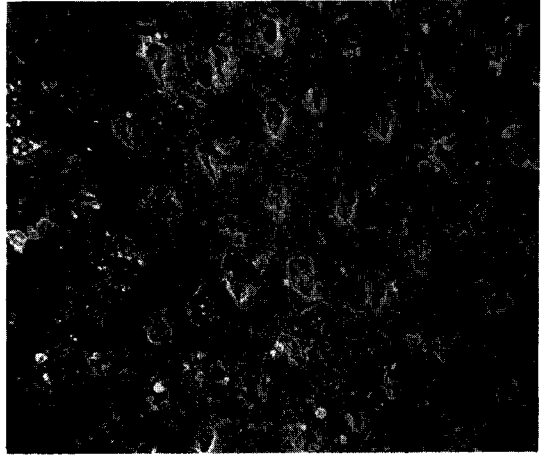


Fig 7-A.

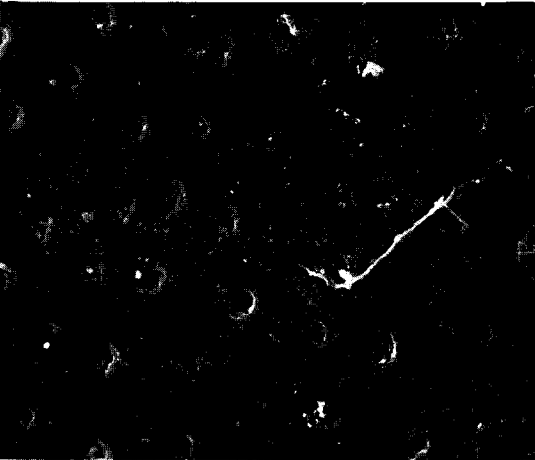


Fig 7-B.

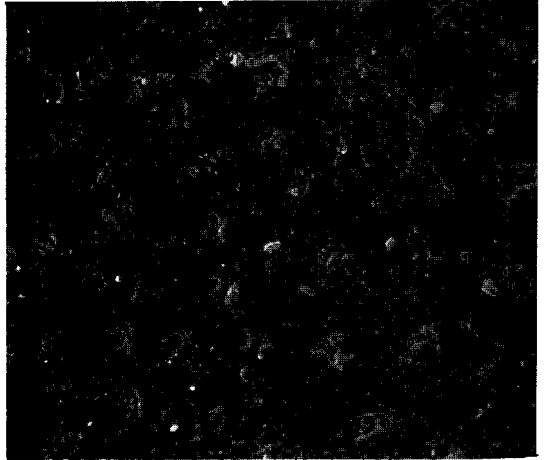


Fig 7-C.

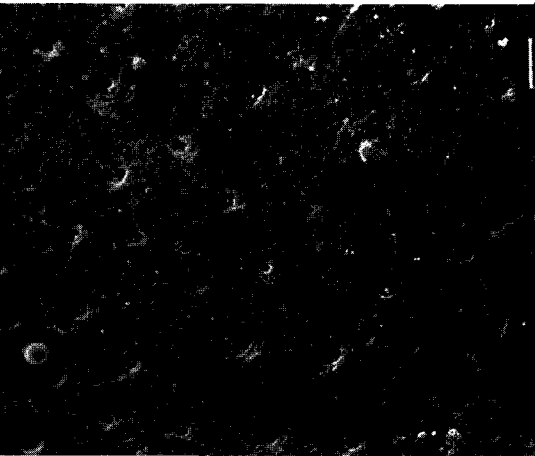


Fig 7-D.

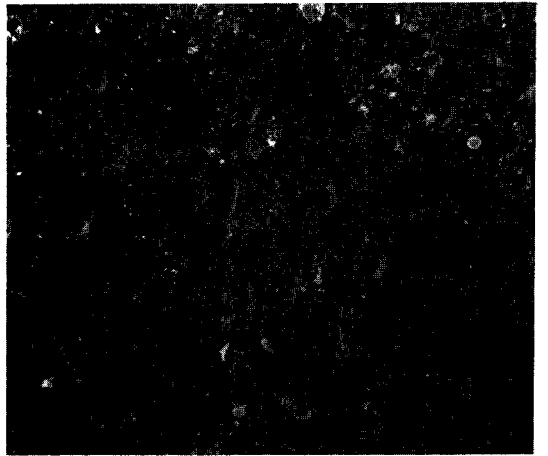


Fig 7-E.

논문 사진부도 ④

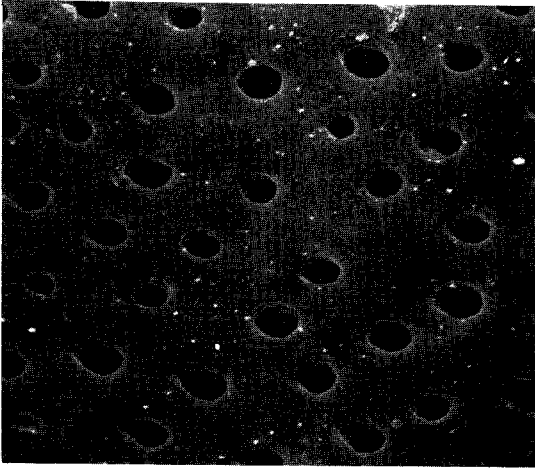


Fig. 8-0.

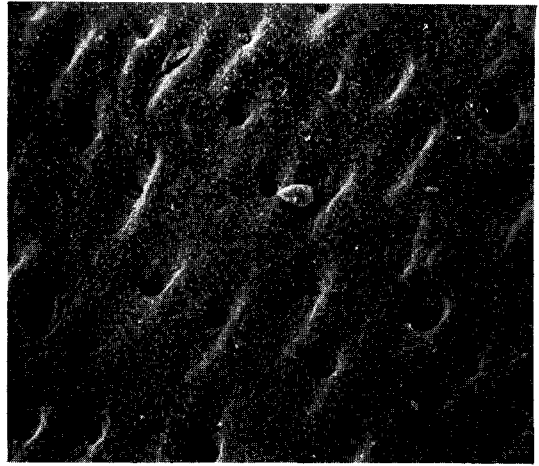


Fig. 8-A.

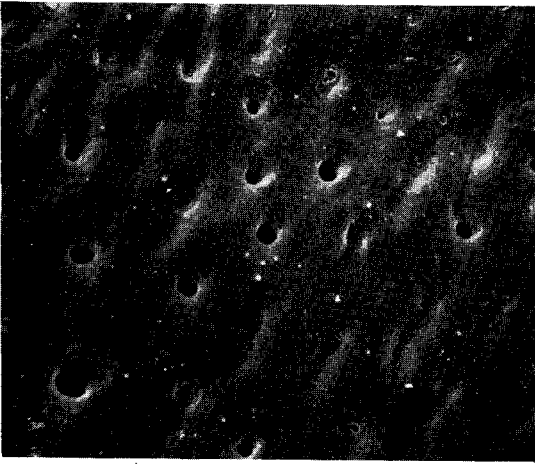


Fig. 8-B.

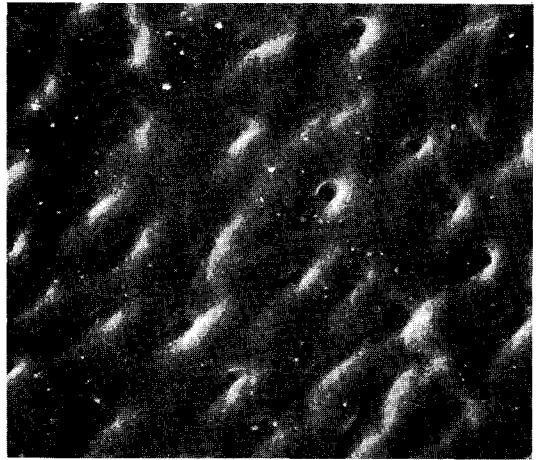


Fig. 8-C.



Fig. 8-D.

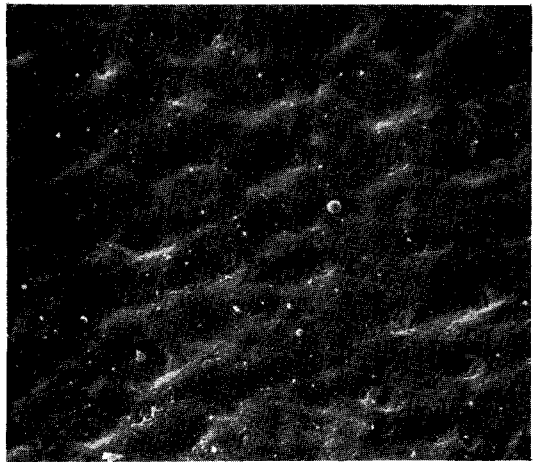


Fig. 8-E.

A SCANNING ELECTRON MICROSCOPIC STUDY OF HUMAN DENTIN SURFACE WITH THE CO₂ LASER IRRADIATION

Dong Hun Choi, D.D.S., M.S.D., Chung Suck Lee, D.D.S., Ph.D.
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University

The main purpose of this study was to investigate the possibility of obstruction of dentinal tubules through irradiation of the CO₂ laser on the dentin surface.

For this study, 104 extracted caries-free premolars and molars were grinded their mesial or distal surface to expose dentin completely. And these specimens were divided into three Groups. Group I : those with their smear layer not removed and Group II : those with their smear layer removed, were irradiated by the CO₂ laser (SPACE LASER - CO₂ VEGA 25) at five different energy levels ranging 4 - 20J/cm², and all specimens were observed with scanning electron microscope (Hitachi S-450). Group III was divided into 2 sub-groups : one with smear layer, another one without and those were irradiated with CO₂ laser of the same condition as Group I & II. All specimens were immersed in 37°C, 0.5% methylene blue solution for 48 hours after 100 times of thermocycling at 4°C and 60°C, and were observed with stereo-light microscope (Olympus SZH-ILLD) to evaluate dye penetration.

The following results were obtained ;

1. The dentinal tubules were obstructed through laser irradiation.
2. The dentinal tubules were still obstructed after treatment of 10% HCl/2sec., then it was proved that acid resistance of dentin surface was also increased.
3. The Group of laser irradiation showed less dye penetration than control Group.
4. The smear layer hardly affected obstruction of the dentinal tubules through laser irradiation.