

# Pulsed Nd : YAG 레이저 조사와 불소 화합물 도포가 초기 우식 법랑질의 표면 정도에 미치는 영향

전남대학교 치과대학 구강내과학 교실

곽 준 봉 · 기 우 천

## 목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 논문사진부도

## I. 서 론

레이저는 특정 조건하에서 고체, 기체, 액체 및 반도체의 매질에 빛을 비추어 동일한 파장을 지닌 빛이 많이 방출되게 함으로써 얻어지며, 강한 에너지 집중성과 고밀도, 단색성, 지향성 및 고휘도성의 특징을 가진 빛이다.

Einstein<sup>1)</sup>이 레이저의 기본 원리를 제시한 이후 레이저에 관한 많은 연구가 진행되어 오다가 1960년 Maiman<sup>2)</sup>이 인공 핑크 루비 결정체를 사용하여 순수한 적색 빛을 내는 루비 레이저를 최초로 개발함으로써 새로운 빛이 출현하게 되었다.

그후 여러 물질들을 레이저 매질로 이용하여 다양한 종류의 레이저가 개발되었다. 고체 매질을 사용한 레이저로는 루비 레이저, Nd:YAG 레

이저, Nd:Glass 레이저, Er:YAG 레이저가 있으며, 기체 매질을 사용한 레이저로는 He-Ne 레이저, 이산화탄소 레이저, 아르곤 레이저가 있다. 또한 액체 매질을 사용한 레이저로는 Dye 레이저가 있고, 반도체 매질을 이용한 레이저로는 GaAs 레이저, GaAlAs 레이저 등이 있다. 이러한 여러 종류의 레이저는 의학, 통신, 정밀 과학, 기초 과학, 정밀 가공 등 과학 기술 분야에 커다란 공헌을 하고 있다.

의학 분야에서는 루비 레이저광을 안과에서 사용한 이후 레이저의 임상적 이용에 대한 연구를 거듭하여 중전의 치료법으로는 불가능하였던 질병을 치료할 수 있게 되었다<sup>3-6)</sup>.

치의학 분야에서는 Goldman<sup>7)</sup>이 발견된 치아에 루비 레이저를 조사한 결과 건강한 치면보다 우식 치면이 레이저광의 흡수가 높아 우식 병소를 제거할 수 있다는 가능성을 보고한 이후 Gordon<sup>8)</sup>, Kinersly<sup>9)</sup>은 루비 레이저, Brune<sup>10)</sup>, Scheinin과 Kantola<sup>11)</sup>는 탄산가스 레이저를 이용하여 와동을 형성하였다고 보고하였다.

Stern과 Songnaes가 루비 레이저 조사시 조사 부위 법랑질의 내산성이 증가한다는 사실을 발견하여 레이저 조사로 치아우식증을 예방할 수 있다는 점을 시사하였으며<sup>12)</sup>, 1972년 최초로 생체 실험을 실시하여 치아면의 내산성이 증가한다는 사실을 확인함으로써 치아 우식증 예방에 레이저를 사용한 연구가 활발하게 이루어졌

다<sup>13)</sup>.

레이저를 이용한 치아우식증의 예방에 대한 여러 연구중에서 Yamamoto와 Sato<sup>14)</sup>, Yamamoto와 Ooya<sup>15)</sup>는 Nd:YAG 레이저를, Lenz 등<sup>16)</sup>, Nelson 등<sup>17)</sup>은 탄산가스 레이저를, Oho와 Morioka<sup>18)</sup>는 아르곤 레이저를 법랑질에 조사한 결과 대조군에 비해 내산성이 현저히 증가하였음을 보고하였다. 국내에서는 김과 이<sup>19)</sup>와 이와 이<sup>20)</sup>는 탄산가스 레이저를, 민과 손<sup>21)</sup>은 Nd:YAG 레이저를 조사하여 법랑질 표면의 내산성 증가를 보고하였다.

치아우식증을 예방하기 위한 방법으로는 치면 열구 전색, 불소 도포 등이 있으나 그중 불소 도포를 이용한 우식 예방법이 널리 사용되어지고 있다.

치아우식증을 예방할 목적으로 사용되고 있는 불소 도포 제제로는 불화소다(NaF ; Sodium Fluoride), 불화석(SnF<sub>2</sub> ; Stannous Fluoride) 및 산성 불화인산(APF ; Acidulated phosphate fluoride) 등이 있다. 불화물의 효과를 보다 증대시키기 위하여 온도를 증가시키거나 화학적 자극을 가하거나, 또는 전기적으로 자극을 주는 방법과 같이 다양한 인위적인 방법이 시행되었다. 레이저가 치과 영역에 소개된 이후에는 레이저를 불화물과 같이 사용하여 불화물의 우식 예방 효과를 증가시켰다는 보고가 있다. Goodman과 Kaufman<sup>22)</sup>은 X-선 회절, Yamamoto와 Sato<sup>14)</sup>는 미세 방사선 촬영술(microradiography), Tagomori와 Morioka<sup>23)</sup>는 electron probe micro-analyzer를 이용하여 레이저를 조사한 후 불소를 도포하였을 때 법랑질의 불소 흡착과 내산성이 증가하였음을 관찰하였다. 국내에서는 민과 손<sup>21)</sup>이 Nd:YAG 레이저 조사가 불화석의 국소 도포에 미치는 효과에 대하여 보고하였고, 이<sup>24)</sup>가 탄산가스 레이저와 산성 불화인산소다의 병용 처치시 치아우식증 예방 효과에 대하여 보고하였으며, 모와 양은<sup>25)</sup> 산성 불화인산소다 도포 전후의 Nd:YAG 레이저 조사가 치아 내산성에 미치는 영향에 대하여 보고한 바 있다. 이와 기<sup>26)</sup>는 Ionalyser로 법랑질내의 인의 농도와 불소 이온 농도를 측정하여 Nd:YAG 레이저 조사후 수

종의 불화물을 도포하였을 때의 치아 내산성 변화에 대하여 연구한 바 있다.

그러나 치과용 레이저와 불화물을 이용한 치아우식증 예방 효과에 관한 연구에서 pulsed Nd:YAG 레이저와 수종의 불화물을 대상으로 한 법랑질 표면 경도의 변화를 측정 한 연구는 희소한 편이다. 이에 저자는 pulsed Nd:YAG 레이저와 수종의 불소 화합물을 사용하여 최적의 법랑질 표면 경도를 나타내는 레이저 조사 조건과 불소 화합물을 찾아내기 위하여 구강내 환경과 유사한 pH 순환 과정을 통해 초기 우식을 유발한 법랑질에 여러 조사 조건으로 레이저를 조사한 후 각각의 불소 화합물을 도포하여 법랑질 표면에서의 표면 경도를 측정하고 주사 전자 현미경으로 법랑질 표면의 변화를 관찰하여 다소의 시견을 얻었기에 그 결과를 보고하는 바이다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

실험 재료로 소의 하악 영구 전치를 발거하여 우식증이 없는 건전한 치아만 시편 제작에 사용하였다. 실험에 사용된 불화물은 NaF(Baker Chemical Co., U.S.A.), NH<sub>4</sub>F(Shinyo pure Chemicals Co., Japan), Elmex gel(amine fluoride, ICN Biomedical Co., Switzerland), APF gel(Aldrich Chemical Co., U.S.A.)이었다.

### 2. 연구방법

#### (1) 시편 제작

소의 하악 영구 전치 치근부를 제거한 치관부의 순면 평활부로부터 직경 3mm 크기로 법랑질 코어를 만들었다. 법랑질의 표면 경도 측정을 위해 중합 수지 원기둥(직경 7mm, 높이 50mm)에 법랑질 코어를 한 개씩 포매하였다. 포매된 법랑질 코어의 장축에 대해 직각으로 #600 silicone oxide 연마지로 연마하여 법랑질 표면을 평면이 되게 한 후  $\gamma$ 알루미나 옥사이드( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.3)로 광택이 나도록 하였다.

(2) 인공 우식 병소 형성

0.1 M lactic acid, 0.2% Carbopol C 907, 50% saturated hydroxiapatite가 함유된 인공 우식 병소 형성 용액을 pH 5.0으로 제조하여 모든 시편을 37달씨서 45시간 동안 처리하였다<sup>27)</sup>.

(3) 레이저 조사 전 법랑질 표면 경도 측정

인공 우식 병소 형성 후 레이저 조사 및 불소 도포에 의한 법랑질의 표면 경도 변화를 측정하기 위하여 미소 경도 측정기(Zwick Co., Germany)를 사용하였다. 포매된 법랑질 코어를 미소 경도 측정기의 압인 방향에 대해 법랑질의 표면이 직각이 되도록 위치시킨 다음 20초간 500 mg의 하중을 가한 후 계측현미경으로 200배의 배율에서 압흔의 크기를 계측하여 Vickers 경도를 산출하였다<sup>28)</sup>. Vickers 경도는 법랑질 시편의 표면에서 4회씩 반복 측정하여 평균 계측치를 구하였다. 각 군간의 조건을 균일화하기 위하여 이들 시편중 Vickers 경도가 25~45이면서 표준편차가 평균의 10%을 벗어나지 않은 시편을 선정하였다. 300개의 시편으로 20개의 대조군과 실험군에 대하여 각각 15개씩의 시편을 배정하였으며 이중 3개는 주사 전자현미경 관찰을 위해 사용하였다(Table 1).

Vickers Hardness Number (VHN)

$$VHN = \frac{1854.4 \times P}{d^2}$$

P : load in grams

d : length of diagonal in  $\mu m$

(4) 레이저 조사

시편에 레이저를 조사하기 위하여 1,064 의 파장, 최대 출력 8W와 최대 100pps의 펄스 반복율을 갖는 pulsed Nd:YAG 레이저(Sunrise Technology Inc., U.S.A.)를 사용하였다. 실험군을 100mJ, 10pps의 에너지로 각각 10초, 20초, 30초 동안 조사하여 레이저 조사 조건이 10 J/cm<sup>2</sup>, 20 J/cm<sup>2</sup>, 30 J/cm<sup>2</sup>로 되도록 하였으며, 조사 범

위가 직경 3 mm의 원형이 되도록 비접촉법으로 시편의 법랑질 면에 조사하였다(Fig. 1).

Table 1. Experimental groups

Group	No. of specimen		Treatment regimen
	laser	SEM	
1	12	3	0 J/cm <sup>2</sup> , control
2	12	3	0 J/cm <sup>2</sup> , NaF
3	12	3	0 J/cm <sup>2</sup> , NH <sub>4</sub> F
4	12	3	0 J/cm <sup>2</sup> , Elmex gel
5	12	3	0 J/cm <sup>2</sup> , APF gel
6	12	3	10 J/cm <sup>2</sup> , control
7	12	3	10 J/cm <sup>2</sup> , NaF
8	12	3	10 J/cm <sup>2</sup> , NH <sub>4</sub> F
9	12	3	10 J/cm <sup>2</sup> , Elmex gel
10	12	3	10 J/cm <sup>2</sup> , APF gel
11	12	3	20 J/cm <sup>2</sup> , control
12	12	3	20 J/cm <sup>2</sup> , NaF
13	12	3	20 J/cm <sup>2</sup> , NH <sub>4</sub> F
14	12	3	20 J/cm <sup>2</sup> , Elmex gel
15	12	3	20 J/cm <sup>2</sup> , APF gel
16	12	3	30 J/cm <sup>2</sup> , control
17	12	3	30 J/cm <sup>2</sup> , NaF
18	12	3	30 J/cm <sup>2</sup> , NH <sub>4</sub> F
19	12	3	30 J/cm <sup>2</sup> , Elmex gel
20	12	3	30 J/cm <sup>2</sup> , APF gel

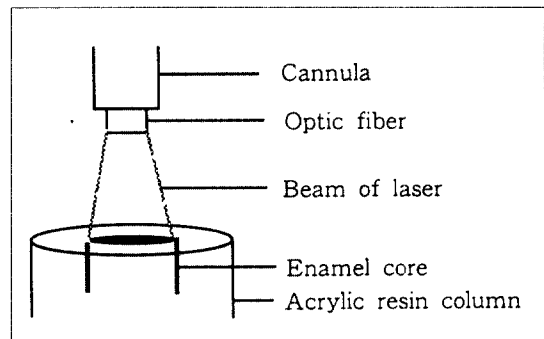


Fig. 1 Schematic diagram of irradiation of laser to enamel core.

**Table 2.** Hardness in enamel surface of the unslased control and experimental groups before and after irradiation of laser ( unit : VHN )

Group	Hardness		$\Delta$ VHN
	Before	After	
Control	37.3 $\pm$ 5.9	8.6 $\pm$ 1.5	-28.7 $\pm$ 5.6
10J/cm <sup>2</sup>	36.2 $\pm$ 5.9	9.7 $\pm$ 3.4	-26.5 $\pm$ 7.5
20J/cm <sup>2</sup>	37.2 $\pm$ 6.0	8.9 $\pm$ 1.1	-28.3 $\pm$ 6.3
30J/cm <sup>2</sup>	36.4 $\pm$ 6.0	13.1 $\pm$ 12.1	-23.3 $\pm$ 14.3

Values are mean  $\pm$  standard deviation

$\Delta$ VHN= difference of hardness between before and after treatment

#### (5) 불소 도포

레이저 조사 조건에 따라 분류한 시편을 용법에 따라 10분간 불소를 도포하였다. NaF와 NH<sub>4</sub>F는 분말을 증류수에 첨가하여 각각 2%, 1.9% 용액을 만들었으며, Elmex gel(fluoride 1.25%)과 APF gel(fluoride 1.23%)은 각각 제조회사의 제품을 사용하였다.

#### (6) pH 순환 과정

구강내 환경과 유사한 조건을 만들어 주기 위하여 대조군 및 실험군 시편을 하루 3시간 동안 인공 우식 병소 형성 용액과 동일한 탈회 용액에 처리하였으며, 탈회 용액에 처리하는 이외의 시간에는 인공 타액에 보관하였다. 이상의 동일 과정을 8일간 반복 처리하였다.

인공 타액의 처방은 다음과 같다<sup>27)</sup>.

Gastric mucin	0.2200 %
NaCl	0.0381 %
CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.0213 %
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.0738 %
KCl	0.1114 %

#### (7) 불소 처리 후 법랑질 표면 경도 측정

레이저 조사전과 동일한 방법으로 Vickers 경도를 측정하였다.

#### (8) 통계 처리

이상에서 얻어진 자료를 SAS의 GLM (generalized linear model analysis)과 Duncan's multiple range test를 이용하여 통계학적 유의성을 검정하였다.

#### (9) 주사 전자 현미경학적 관찰

시편의 법랑질 표면에 Au를 피복하여 표면 변화를 주사 전자 현미경(Jeol, JSM-35C, Japan)으로 25 kV에서 1,000배로 관찰하였다.

### III. 연구성적

#### 1. 레이저 조사량에 따른 법랑질의 표면 경도 변화(Fig. 2)

##### 1) 대조군과 레이저만 조사한 실험군

인공 우식 병소를 형성한 시편에 레이저만 조사한 법랑질과 레이저 조사와 불소 도포를 하지 않은 법랑질의 처리전후 법랑질의 표면 경도 및 변화량은 표 2와 같다. pH 순환 과정후 법랑질의 표면 경도는 대조군이 8.6 VHN, 총 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지의 레이저를 조사한 군에서 9.7 VHN, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 8.9 VHN, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 13.1 VHN으로 계측되었으며, 각 군간의 유의한 차이는 없었다. 처리전후의 표면 경도 변화량은 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 23.3 VHN으로 가장 적게 감

**Table 3.** Hardness in enamel surface of the unlased and lased groups before and after NaF application. (unit ; VHN)

Group	Hardness		ΔVHN
	Before	After	
Unlased	36.8 ± 6.2	22.4 ± 4.5	-14.4 ± 3.2
10J/cm <sup>2</sup>	36.1 ± 5.7	19.5 ± 4.0	-16.6 ± 6.1
20J/cm <sup>2</sup>	36.7 ± 6.1	22.0 ± 4.4	-14.7 ± 5.8
30J/cm <sup>2</sup>	36.7 ± 6.0	19.9 ± 3.8	-16.8 ± 5.8

Values are mean ± standard deviation

ΔVHN= difference of hardness between before and after treatment

**Table 4.** Hardness in enamel surface of the unlased and lased groups before and after NH<sub>4</sub>F application. ( unit ; VHN )

Group	Hardness		ΔVHN
	Before	After	
Unlased	36.7 ± 5.9	22.0 ± 3.7	-14.8 ± 6.3
10J/cm <sup>2</sup>	36.7 ± 6.0	25.5 ± 5.8	-11.2 ± 8.9
20J/cm <sup>2</sup>	36.7 ± 6.0	27.1 ± 3.9	-9.6 ± 4.1
30J/cm <sup>2</sup>	36.0 ± 5.6	21.7 ± 4.2	-14.2 ± 4.5

Values are mean ± standard deviation

ΔVHN= difference of hardness between before and after treatment

소하였으며, 대조군은 28.7 VHN으로 가장 크게 감소하였으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다 (p>0.05).

### 2) NaF군의 법랑질 표면 경도

인공 우식 병소를 형성한 후 시편에 레이저를 조사하고 NaF를 도포한 실험군과 레이저를 조사하지 않고 NaF만 도포한 실험군의 처리전후 법랑질의 표면 경도 및 변화량은 표 3과 같다. pH 순환 과정 후 법랑질의 표면 경도는 비조사군이 22.4 VHN, 총 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지의 레이저를 조사한 군은 19.5 VHN, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 22.0 VHN, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 19.9 VHN으로 측정되어 비조사군이 가장 높았으며, 10 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 가장 낮았으나 각 군간의 유의한 차이는 없었

다. 처리전후의 표면 경도 변화량은 비조사군이 14.4 VHN으로 가장 적게 감소하였고, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 28.7 VHN으로 가장 크게 감소하였으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

### 3) NH<sub>4</sub>F 도포군의 법랑질 표면 경도

인공 우식 병소를 형성한 후 시편에 레이저 조사하고 NH<sub>4</sub>F를 도포한 실험군과 레이저를 조사하지 않고 NH<sub>4</sub>F만 도포한 실험군의 처리전후 법랑질의 표면 경도 및 변화량은 표 4와 같다. pH 순환 과정 후 법랑질의 표면 경도는 비조사군이 22.0 VHN, 총 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지의 레이저를 조사한 군은 25.5 VHN, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 27.1 VHN, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 21.7 VHN으로 측정되어 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 가장 높았고, 30 J/cm<sup>2</sup> 조

**Table 5.** Hardness in enamel surface of the unlased and lased groups before and after Elmex gel application. ( unit : VHN )

Group	Hardness		$\Delta$ VHN
	Before	After	
Unlased	38.5 $\pm$ 4.7	24.4 $\pm$ 3.7	-14.1 $\pm$ 5.0
10J/cm <sup>2</sup>	36.7 $\pm$ 6.0	21.6 $\pm$ 3.7	-15.1 $\pm$ 4.2
20J/cm <sup>2</sup>	36.7 $\pm$ 6.0	21.6 $\pm$ 4.1	-15.1 $\pm$ 4.9
30J/cm <sup>2</sup>	36.8 $\pm$ 6.2	25.7 $\pm$ 10.1	-11.1 $\pm$ 9.5

Values are mean  $\pm$  standard deviation

$\Delta$ VHN= difference of hardness between before and after treatment

**Table 6.** Hardness in enamel surface of the unlased and lased groups before and after APF gel application ( unit : VHN )

Group	Hardness		$\Delta$ VHN
	Before	After	
Unlased	36.7 $\pm$ 6.0	29.4 $\pm$ 6.5	-7.3 $\pm$ 2.8
10J/cm <sup>2</sup>	37.7 $\pm$ 5.1	34.7 $\pm$ 9.2	-3.1 $\pm$ 10.1
20J/cm <sup>2</sup>	37.2 $\pm$ 5.6	29.8 $\pm$ 6.4	-7.3 $\pm$ 6.3
30J/cm <sup>2</sup>	36.3 $\pm$ 6.0	28.3 $\pm$ 6.0	-8.1 $\pm$ 5.5

Values are mean  $\pm$  standard deviation

$\Delta$ VHN= difference of hardness between before and after treatment

사군이 가장 낮았으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다. 처리전후의 표면 경도 변화량은 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 9.6 VHN으로 가장 적게 감소하였고, 비조사군이 14.8 VHN으로 가장 크게 감소하였으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다 (p>0.05).

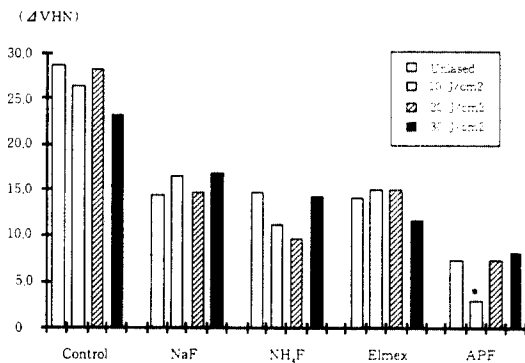
#### 4) Elmex gel 도포군의 법랑질 표면 경도

인공 우식 병소를 형성한 후 시편에 레이저를 조사하고 Elmex gel을 도포한 실험군과 레이저를 조사하지 않고 Elmex gel만 도포한 실험군의 처리전후 법랑질의 표면 경도 및 변화량은 표 5와 같다. pH 순환 과정 후 법랑질의 표면 경도는 비조사군이 24.4 VHN, 총 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지의 레이저를 조사한 군은 21.6 VHN, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 21.6 VHN, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 25.7 VHN으로

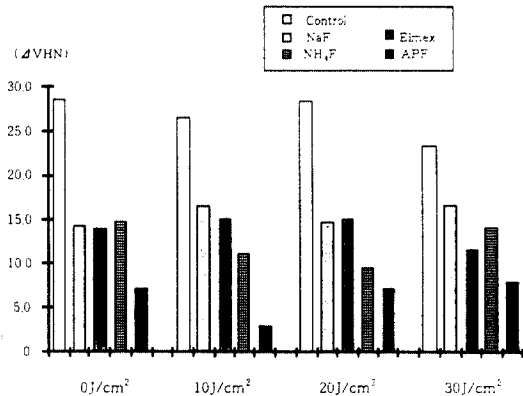
계측되어 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 가장 높았고, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 가장 낮았으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다. 처리전후의 표면 경도 변화량은 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 11.1 VHN으로 가장 적게 감소하였고, 10 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 15.1 VHN으로 가장 크게 감소하였으나 각 군간의 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

#### 5) APF gel 도포군의 법랑질 표면 경도

인공 우식 병소를 형성한 후 시편에 레이저를 조사하고 APF gel을 도포한 실험군과 레이저를 조사하지 않고 APF gel만 도포한 실험군의 처리전후 법랑질의 표면 경도 및 변화량은 표 6과 같다. pH 순환 과정 후 법랑질의 표면 경도는 비조사군이 29.4 VHN, 총 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지의 레이저를 조사한 군은 34.7 VHN, 20 J/cm<sup>2</sup> 조사군은



**Fig. 2** Hardness in enamel surface of the unlased and lased groups before and after fluoride application.  $\Delta$ VHN=difference of hardness between before and after treatment  
\* :  $p < 0.05$



**Fig. 3.** Difference of hardness in enamel surface of the control and experimental groups before and after irradiation of laser.  $\Delta$ VHN=difference of hardness between before and after treatment

**Table 7.** Difference of hardness in enamel surface of the control and experimental groups before and after irradiation of laser (unit : VHN)

Group	Energy			
	0 J/cm <sup>2</sup>	10 J/cm <sup>2</sup>	20 J/cm <sup>2</sup>	30 J/cm <sup>2</sup>
Control	-28.7 ± 5.6	-26.5 ± 7.5	-28.3 ± 6.3	-23.3 ± 14.3
NaF	-14.4 ± 3.2	-16.6 ± 6.1	-14.7 ± 5.8	-16.8 ± 5.8
Elmex gel	-14.1 ± 5.0	-15.1 ± 4.2	-15.1 ± 4.9	-11.1 ± 9.5
NH <sub>4</sub> F	-14.8 ± 6.3	-11.2 ± 8.9	-9.7 ± 4.1	-14.2 ± 4.5
APT gel	-7.2 ± 2.8	-3.1 ± 10.1	-7.3 ± 6.2	-8.1 ± 5.5

Values are mean standard deviation  
outside brackets are significantly different at  $P < 0.05$  level

29.8 VHN, 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군은 28.3 VHN으로 측정되어 10 J/cm<sup>2</sup> 조사군과 다른 군 간에 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 처리전후의 표면 경도 변화량은 10 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 3.1 VHN으로 가장 적게 감소하였으며, 10 J/cm<sup>2</sup> 조사군이 다른 군과 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

## 2. 불화불의 종류에 따른 법랑질의 표면 경도 변화량(Fig. 3)

인공 우식 병소를 형성한 후 시편에 레이저를 조사하고 불소를 도포한 실험군과 대조군의 처리 전후 법랑질의 Vickers 경도 변화량은 표 7과 같다.

비조사군의 경우 처리 전후 법랑질 표면 경도 변화는 대조군과 불소도포 군 간에 유의한 차이

가 있었고( $p < 0.05$ ), APF gel군이 NaF군, Elmex gel군,  $\text{NH}_4\text{F}$ 군에 대해 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

총  $10 \text{ J/cm}^2$  에너지의 레이저를 조사한 경우 처리전후 법랑질 표면 경도 변화는 각 불소 도포군과 레이저만 조사한 실험군간에 유의한 차이가 있었고, APF gel군과 NaF군, Elmex gel군,  $\text{NH}_4\text{F}$ 군에 대해 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 총  $20 \text{ J/cm}^2$  에너지의 레이저를 조사한 경우 처리전후 법랑질 표면 경도 변화는 각 불소 도포군과 레이저만 조사한 실험군간에, APF gel군이 NaF군과 Elmex gel군에 대해 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

총  $30 \text{ J/cm}^2$  에너지의 레이저를 조사한 경우 처리 전후 법랑질 표면 경도 변화는 각 불소 도포군이 레이저만 조사한 실험군에 대해, APF gel군이 NaF군과  $\text{NH}_4\text{F}$ 군에 대해 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

### 3. 주사 전자 현미경학적 소견

대조군과 각 실험군의 시편 표면을 주사 전자 현미경으로 관찰한 결과 대조군의 법랑질 표면은 전체적으로 산에 의한 부식 양상을 보였다(Photo. 1).

레이저를 조사하지 않은 NaF군,  $\text{NH}_4\text{F}$ 군, Elmex gel군, APF gel군 모두에서 대조군과 비슷한 치면을 보이고 법랑질 소주 형태를 구분할 수 있었다(Photo. 2~5).

$10 \text{ J/cm}^2$ 의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 레이저만 조사한 실험군(Photo. 6)과 APF gel군(Photo. 7) 모두 불규칙하고 불안정한 치면 상태를 보이며, 명확한 법랑질 소주를 확인할 수 없었다.

$20 \text{ J/cm}^2$ 의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 레이저만 조사한 실험군(Photo. 8)과 APF gel군(Photo. 9) 모두 다소의 법랑질 소주 융합 상태를 관찰할 수 있었으며, 레이저 조사군은 미세한 균열 상태를 보였다.

$30 \text{ J/cm}^2$ 의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 레이저만 조사한 실험군(Photo. 10)과 APF gel군

(Photo. 11) 모두 균열과 함께 법랑질 소주의 융합으로 인한 평활한 치면을 나타내었다.

## IV. 총괄 및 고찰

짧은 파장의 전자기파를 발진하는 레이저는 최근에 여러 분야에서 레이저의 사용이 급속히 증가하고 있으며, 치과 영역에서는 탄산가스 레이저와 Nd:YAG 레이저가 주로 이용되고 있다. 레이저광의 전달시에는 그 손실을 줄이기 위해 광섬유를 이용하는데, 탄산가스 레이저는 파장이 길어 Nd:YAG 레이저와는 달리 관절 반사경을 통하여 빛을 유도하여야 하므로 구강내에 쉽게 도달할 수 없다. 또한 탄산가스 레이저는 수분에 대한 흡수력이 좋아서 불소 용액 도포와 병행하여 사용하여야 할 경우에는 어려움이 있다. 반면에 본 실험에서 사용한 pulsed Nd:YAG 레이저는 광섬유를 통한 광유도가 가능하고 수분에 흡수가 적어 심부 침투성이 우수하며, 법랑질의 파괴 정도가 더 적어 임상에 보다 효과적이다<sup>29,30)</sup>.

본 실험에서 실험 재료로 사용한 치아는 석회화 정도나 불소 함량 등의 차이가 비교적 큰 사람의 치아보다는 법랑질이 균일하고 구조적인 변이가 적으며 조작이 용이한 소의 치아를 이용하였다. 또한 인공 우식 병소 형성시 법랑질 부위에 따라 불소 함량이 다르게 나타날 수 있고, 탈회 정도도 법랑질 성분에 따라 다양할 수 있으므로 인공 우식 병소를 형성하기 전에 법랑질 표면을 연마하여 이러한 오차를 최소한으로 줄이도록 하였다.

우식 예방법으로는 잇솔질을 통한 구강 위생상태의 개선과 식습관 개선 등 기본적인 방법들이 있고 산에 의한 탈회 방지, 즉 법랑질 표면의 내산성 증가, 투과도와 용해도 감소, 재석회화 유도, 우식 원인균의 활동 억제, 치아 표면의 형태 변화를 위해 여러가지 인위적인 방법들이 이용되고 있다<sup>31)</sup>. 본 연구는 이러한 방법들중 가장 많이 사용되고 있는 불화물에 의한 우식 예방법과 최근 치의학 분야에 도입되고 있는 레이저를 이용한 방법을 병용하여 그 효과를 관찰하고자 하



였다.

본 실험에서 사용한 불화물은 치아 우식 예방 효과가 높은 것으로 알려진 NaF와 NH<sub>4</sub>F, Elmex gel 그리고 APF gel을 사용하였다. NaF는 법랑질에 도포시 불화 칼슘과 불화 인회석을 형성한다고 알려져 있으며, NH<sub>4</sub>F는 법랑질에 다량의 불화 칼슘을 형성하며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 이온에 의해 법랑질내로 불화물의 심부 침투가 용이하게 한다. Elmex gel은 치아우식증 예방과 상아질 과민증 억제에 효과적이며 APF gel은 중성보다 산성에서 불화 인회석을 더욱 효과적으로 형성한다<sup>32-36</sup>. 불화물은 법랑질 표면의 재석회화를 증대시키거나 산에 의한 법랑질의 탈회를 막아줌으로써 치아우식증 예방 효과를 나타내는데, Wei 등<sup>37</sup>과 많은 선행들<sup>28, 38-43</sup>은 불소 침착의 증가로 불소가 법랑질의 용해도를 감소시킨다고 하였으며, Featherston 등<sup>44</sup>과 Gelhard 등<sup>45</sup>은 불소 도포시 법랑질의 재석회화가 증가한다고 하였다.

레이저와 불화물의 병용처치시 Yamamoto와 Sato<sup>14</sup>, 민과 손<sup>21</sup>, Goodman과 Kaufman<sup>22</sup>, Boehm 등<sup>46</sup>은 불소 도포후 레이저 조사시 레이저 에너지 증가에 따라 법랑질 불소 침착이 증가되고 표면 탈회가 감소한다고 하였다. 그러나 불소 도포와 레이저 조사 시기를 비교한 Tagomori와 Morioka<sup>23</sup>, 모와 양<sup>25</sup>의 보고에 의하면 레이저가 법랑질속으로 불소 침착을 허용하는 형태학적 변화를 일으키므로 레이저를 조사한 후 불화물을 도포한 경우가 불화물 도포후 레이저를 조사한 경우보다 치아우식 예방 효과가 크다고 하였다. 따라서 본 실험에서도 치아 우식 예방 효과를 극대화하기 위해 레이저를 먼저 조사한 후 불화물을 도포하였다.

임상적으로 사용하는 레이저의 기본 원리는 빛을 증폭시켜 빛에너지로 부터 변환된 열에너지를 사용하는 것이므로 조사 부위에 순간적인 고열을 만들어 주게 된다. 그러므로 레이저를 조사하는 과정에서 치수나 구강 연조직에 위해 작용이 나타나지 않아야 한다. 레이저 조사에 의한 치수 조직의 반응에 대한 연구에서 Boehm 등<sup>46</sup>은 탄산가스 레이저의 에너지가 10 J/cm<sup>2</sup> 증가

할 때 치수 온도는 1.4℃ 정도 상승한다고 하였으며, Goldman 등<sup>47</sup>은 4000 J/cm<sup>2</sup> 정도의 레이저광을 치아에 조사하면 치수의 온도는 10℃ 상승하나 이 때 통증을 느끼지 않는다고 하였다. Adrian 등<sup>48</sup>은 1880~2330 J/cm<sup>2</sup>에서 치수 반응이 나타난다고 하였으며, White 등<sup>49</sup>은 레이저의 적절한 사용으로 와동 형성이나 과민성 치아 치료를 치수에 유해한 영향을 주지 않고 시행할 수 있다고 하였다. 연조직에 대한 연구로는 Lentz 등<sup>16</sup>은 YAG 레이저로 구강 연조직에 10 J/cm<sup>2</sup> 이하의 에너지로 조사했을 때, 아무런 변화가 일어나지 않는다고 하였으며, Geeraets와 Berry<sup>50</sup>는 직접적으로 안구에 조사하지 않는 경우에는 인체에 위해 작용이 없다고 하였다.

레이저 조사량에 따른 치아 표면의 변화에 대해서는 Stern 등<sup>51</sup>은 탄산가스 레이저로 13 J/cm<sup>2</sup>의 에너지로 0.5초간 조사시 치아 표면에 탈회가 일어나기 때문에 불소 도포를 위해 사용하는 경우는 이보다 적은 에너지를 사용하여야 한다고 하였으며, Yamamoto와 Sato<sup>14</sup>는 치아우식증을 예방을 목적으로 레이저광을 조사하는 과정에는 주위 조직에 위해작용이 나타나지 않는다고 하였다. 레이저를 법랑질에 조사할 때 치면 파괴의 한계에너지에 대한 보고로는 Stern 등<sup>13</sup>이 펄스발진형 탄산가스 레이저 사용시 50 J/cm<sup>2</sup> 이상에서 이와 이<sup>20</sup>는 연속파형 탄산가스 레이저인 경우 60 J/cm<sup>2</sup> 이상에서 치면 균열을 관찰하였으며, 민과 손<sup>21</sup>은 연속파형 Nd:YAG 레이저 조사시 50~60 J/cm<sup>2</sup>에서 모와 양<sup>25</sup>은 pulsed Nd:YAG 레이저 조사시 50 J/cm<sup>2</sup> 이상에서 치면 균열을 관찰하였고, 이와 기<sup>26</sup>는 20 J/cm<sup>2</sup> 이상에서 미세한 치면 균열을 관찰하였다. 이와 같은 선행들의 연구 결과에 따라 본 연구에서는 치수와 구강 연조직에 위해작용이 없고, 치면 균열이 심하게 나타나지 않는 30 J/cm<sup>2</sup> 이하의 에너지를 사용하여 실험하였다.

레이저와 불소의 법랑질 표면 반응에 관한 물리화학적 평가 방법으로는 무기질의 성분을 분석하여 직간접적으로 법랑질의 불소 농도를 측정하거나 재석회화를 측정하는 방법, 조직학적으로 표면을 관찰하는 방법 등이 있다. 치아 표

면의 상태를 평가하는 다른 방법으로 표면 경도를 측정하는 방법이 있는데, 표면 경도의 증가는 우식 병소의 무기질 재침착, 즉 재석회화와 관련되므로, 우식 병소의 탈회와 재석회화 정도를 평가하는 방법으로 표면 경도 측정이 이용되어 왔다<sup>45)</sup>. 그러나 최근까지 레이저 조사시 치아 표면 경도의 변화에 관한 연구는 희소하여 본 실험에서는 표면 경도의 변화를 측정하여 법랑질의 표면 반응을 평가하고자 하였다.

치아 우식 예방 효과를 비교하는 방법으로 생체 연구의 경우 다양한 구강내의 우식 유발 조건들이 관련될 수 있다는 장점이 있으나, 개인의 타액산도, 타액 유출량, 치면 세균막의 활성도, 식이 습관 등에 따라 결과가 다양하게 나타날 수 있는 단점이 있다. 실험실 연구의 경우 구강내에서 보다 재석회화의 정도가 느리며, 불소 용액의 구강내 잔존 시간이나 부위에 따른 불소 용액의 잔존 시간이 다양한 상태를 재현하기가 어렵다는 단점이 있으나 최근 인공 우식 병소 형성 용액, pH 순환 과정, 인공 타액 등을 이용하여 우식 병소가 형성되는 환경과 유사하게 탈회 및 재석회화를 반복하는 방법을 통해 우식 예방 효과를 관찰하고 있다<sup>52-56)</sup>. 본 연구에서는 인공 우식 병소 용액으로 법랑질을 탈회시키고, 레이저 조사와 불소 도포 후 pH 순환 과정을 통해 구강내 환경과 유사한 환경을 만들어 주었다.

불화물의 치아 우식 예방 효과는 법랑질내의 불소 농도와 관련이 있으므로 치아 경조직내의 불소 농도를 증가시킬 필요가 있다. 이를 위해 온도를 증가시키거나 화학적 자극을 가하거나 또는 전기적으로 자극을 주는 방법과 같이 다양한 인위적인 방법이 사용되고 있다. 최근에는 불화물의 법랑질내 농도를 증가시켜 치아 우식 예방 효과를 높이기 위하여 레이저를 사용하고 있다.

레이저와 불소의 병용 처치에 대해 연구한 바치면에 NaF를 도포한 후 아르곤 레이저를 조사한 결과 불소 침착과 법랑질 결정 구조 크기가 증가하고 칼슘과 인의 방출이 감소하였으며, 내산성이 증가하였고<sup>22)</sup> Nd:YAG 레이저를 조사한 후 APF를 도포한 경우에도 내산성이 증가하였

다<sup>23)</sup>. 또한 Ag(NH<sub>3</sub>)F를 도포한 후 Nd:YAG 레이저를 조사한 경우에도 내산성이 증가한다고 보고되었다<sup>14)</sup>. 국내의 연구로는 Nd:YAG 레이저 조사 후 불화석을 도포한 경우 레이저의 조사량이 증가하면 불소 침착도 증가한다고 하였으며<sup>21)</sup>, APF 도포 전후 Nd:YAG 레이저 조사시 법랑질의 내산성이 증가한다고 보고된 바 있다<sup>25)</sup>. 또한 수종의 불소 화합물중 APF와 레이저의 병용 처치시 치아 우식 예방 효과가 가장 높았다는 보고도 있다<sup>26)</sup>.

레이저를 법랑질 표면에 조사시 내산성을 갖는 이유로 Stern 등<sup>51)</sup>은 치아 표면의 탈회 감소가 법랑질의 용해도보다는 투과도의 감소에 의해 나타난다고 하였으며, Yamamoto와 Sato<sup>14)</sup>도 법랑질의 투과도의 감소에 의한다고 하였다. 그러나 Borggreven 등<sup>57)</sup>과 Tagomori와 Morio-ka<sup>23)</sup>는 레이저 조사 후 이온 및 분자들이 투과도를 직접 측정한 결과 법랑질의 투과도가 증가되어 법랑질에 불소 침착이 용이해지기 때문이라고 하였다. Kantola 등<sup>58)</sup>은 X-ray 회절기를 이용하여, Kuroda와 Nukahara<sup>59)</sup>는 적외선 분광기를 이용하여 연구한 결과 법랑질의 재결정화와 결정 크기의 증가로 인해 용해도가 감소된다고 하였으며, Fowler와 Kuroda<sup>60)</sup>는 수분 단백질, 탄산염, 염소 원소가 감소하고 수소 이온이 산소 이온으로 치환되어 용해도가 감소한다고 하였다. Nelson 등<sup>17)</sup>은 레이저 조사에 의해 법랑질 표면이 순간적으로 약 1000°C 정도의 고온이 되면 법랑질의 표층의 용융과 재결정화와 같은 물리형태학적 변화가 나타나고 동시에 법랑질 결정의 새로운 화학적 성분의 변화가 일어나 젖산에 대한 내산성이 증가한다고 하였다. Stern 등<sup>51)</sup>도 법랑질 투과도 및 용해도의 감소가 동시에 나타난다고 하였다. 국내에서 김과 이<sup>19)</sup>는 레이저가 치면을 물리화학적으로 변화시켜 내산성이 증가한다고 하였다. 이와 같이 여러 선행들의 연구를 통하여 레이저 조사가 불화물의 침착을 증가시키며, 내산성을 향상시키는 것은 명확한 것으로 사료된다.

불소 도포와 표면 경도에 대한 연구로는 최와 홍<sup>52)</sup>은 국소적인 불소 도포시 법랑질의 표면 경

도가 증가한다고 하였으며, 쇠와 방<sup>53)</sup>은 다른 불소보다 APF군에서 법랑질의 표면 경도가 더욱 증가한다고 하였다. 그리고 White<sup>54)</sup>와 Corpron 등<sup>55)</sup>은 불소 침착의 증가와 법랑질 표면 경도의 증가는 상관관계가 있다고 하였으나 김과 홍<sup>56)</sup>은 불소 도포시 표면 경도가 증가하나 불소 농도의 증가와 법랑질 표면 경도의 증가와는 상관관계가 없다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 대조군과 모든 실험군에서 레이저 조사와 불소 도포 전 36.0~38.5 VHN에 비해 처리 후 8.6~34.7 VHN으로 법랑질 표면 경도가 감소하였으며, 처리전후의 표면 경도 변화량은 -3.1~-28.7 VHN으로 측정되었다. 실제 임상적으로 시행하는 불소의 전문가적 국소도포는 1회 또는 1주일 간격으로 시행되므로<sup>61)</sup> 본 연구에서는 이러한 상황과 유사한 조건을 만들기 위하여 10분간 1회 도포 후 8일간의 pH 순환 과정 중에는 불소 도포를 시행하지 않았으며, 1일 3시간씩의 인공 우식 병소 용액 처리과정을 시행함에 따라 표면 경도가 감소한 것으로 사료된다. 또한 불소 도포를 시행한 실험군은 표면 경도 감소량이 -3.1~-16.8 VHN으로 불소의 종류에 관계없이 모두 불소를 도포하지 않은 대조군 및 실험군의 -23.3~-28.7 VHN에 비해 현저하게 적은 것으로 측정되었다. 불소 처리후 표면 경도의 감소는 불소 도포의 회수를 수회로 하였고, 특히 pH 순환 과정중 반복적인 불소 도포를 시행한 선행들의 연구와 실험 조건의 차이에 따른 결과라 생각된다. 즉 본 실험에서와 같은 과정을 시행하면 모든 법랑질에서 표면 경도가 감소하지만, 불소 도포시 그 감소량이 적어질 것으로 생각된다.

레이저 조사시 법랑질의 표면 경도에 대한 연구에서 Nammour 등<sup>62)</sup>은 아르곤 레이저를 800 J/cm<sup>2</sup>로 조사하였을 때, 법랑질 표면이 융합되어 VHN이 50% 정도 증가한다고 하였다. 그리고 Ferreira 등<sup>63)</sup>은 레이저를 조사한 법랑질은 물리 형태학적 변화는 개선되지 않고, 균열과 소공이 증가함으로 약해진다고 하였다. Tagomori와 Iwase<sup>64)</sup>는 레이저 조사시 순간적인 높은 온도와 균일한 냉각에 의해 균열이 발생하며, 수분과 유기질 소실로 인하여 법랑질의 표면이 거칠고 약

해지고, 레이저의 조사량이 증가할 수록 기계적인 문제가 증가한다고 하였다. 본 실험에서는 레이저 조사량에 따른 법랑질 표면 경도 변화의 차이는 나타나지 않았으며, 불소만 도포한 경우와 레이저 조사후 불소 도포를 한 경우도 차이를 나타내지 않았다. 선행들의 연구 결과와 종합하여 볼 때 레이저 조사는 법랑질 표면에 미세한 파괴 효과를 보여 표면 경도를 감소시킬 수 있으며, 한편으로 산부식과 같은 불소 침착을 위한 표면 상태를 형성함으로써 불소에 의한 표면 경도의 증가를 보인 것으로 사료된다. 그러나 10 J/cm<sup>2</sup> 에너지 조사한 후 APF를 도포한 군이 레이저를 조사하지 않은 군과 그보다 더 많은 레이저를 조사한 군에 비해 법랑질 표면 경도가 현저하게 증가한 것으로 나타나 APF 구성 요소와 레이저 조사 표면간의 상호관계에 대한 좀 더 깊은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 레이저 조사와 불소 도포 직후 표면 경도를 측정해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

주사현미경적 소견으로 레이저 조사시 법랑질 표면의 균열에 대해 Kantola 등<sup>58)</sup>은 20 J/cm<sup>2</sup> 이상일 때 균열이 발생한다고 하였고, Tomita<sup>65)</sup>는 15 J/cm<sup>2</sup> 이상일 때, 이와 기<sup>26)</sup>는 20 J/cm<sup>2</sup>에서부터 미세한 균열이 보인다고 하였다. 그러나 여러 선행들<sup>21,23,25)</sup>은 40 J/cm<sup>2</sup> 이상의 에너지에서 균열을 관찰하였다. 에너지 증가량에 따른 법랑질 표면의 변화는 이와 이<sup>20)</sup>는 10 J/cm<sup>2</sup>에서 미세한 표면 변화를, 40 J/cm<sup>2</sup>에서 산부식과 유사한 변화를, 80 J/cm<sup>2</sup>에서 균열과 함께 유리와 같은 평활한 치면을 관찰하였으며, 김과 이<sup>19)</sup>는 15 J/cm<sup>2</sup>에서 평활한 치면을 25 J/cm<sup>2</sup>에서 육안적인 파괴를 관찰하였다. 본 실험에서도 10 J/cm<sup>2</sup>에서 산부식과 유사한 양상을 보이고, 20 J/cm<sup>2</sup>에서 미세한 균열이 관찰되었으며, 30 J/cm<sup>2</sup>에서 균열과 함께 표면이 매끄러워졌다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 레이저 조사량의 차이는 있었으나 레이저 조사량이 증가함에 따라 법랑질 표면이 산부식 양상, 융합, 균열, 평활한 면의 순서로 진행되었다. 그러므로 레이저의 조사 조건, 종류, 출력을 고려해서 적절한 레이저를 조사하면 법랑질의 물리형태학적 변화없이 불소 침착을 위

해 좋은 범랑질 표면을 만들어 줄 수 있을 것으로 생각된다.

## V. 결 론

Pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불화물 국소 도포의 병용 처치시, 레이저 조사 조건과 불화물의 종류에 따른 범랑질 표면 경도 변화를 비교 분석하고, 주사 전자 현미경으로 범랑질의 표면을 관찰하여 치아 우식 예방 효과를 증진시키는 가장 적절한 불화물의 종류와 레이저 조사 조건을 선택하기 위하여, 소에서 발거한 후 인공 우식 병소를 형성한 치아의 범랑질에 레이저 조사와 불소 도포, pH 순환 과정을 거친 후 미소 경도 측정기를 사용하여 Vickers 경도를 측정하였으며, 주사 전자 현미경으로 범랑질의 표면 변화를 관찰하였다.

이상의 실험으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 불소를 도포한 모든 군이 불소를 도포하지 않은 군에 비해 산 처리 후의 범랑질 표면 경도가 적게 감소하였다.
2. APF군에서 10 J/cm<sup>2</sup>로 레이저를 조사한 군의 범랑질 표면 경도가 다른 에너지의 레이저를 조사한 군에 비해 적게 감소하였다.
3. 레이저만 조사한 실험군의 표면 경도 변화는 레이저의 변화량에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다.
4. 주사 전자 현미경상에서 10 J/cm<sup>2</sup>의 레이저 조사시 범랑질 표면은 산부식과 유사한 양상을 보였으며, 20 J/cm<sup>2</sup>의 에너지 조사시 범랑질의 미세한 균열이 나타났다. 30 J/cm<sup>2</sup> 조사군에서는 범랑질 소주의 균일한 융합 양상과 심한 균열이 관찰되었다.

이상의 결과로 보아 10 J/cm<sup>2</sup>의 pulsed Nd:YAG 레이저를 조사한 후 APF를 도포한 군이 심한 치질의 손상없이 초기 우식 병소 진행을 감소시키는데 유리할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Einstein, A. : Verk Deutsch Phys. Ges., 18:318, 1916. cited from Stern, R.H. and Sognnaes, R.F. : Laser beam effect on dental hard tissues. J. Dent. Res., 43:873, 1964.
2. Maiman, T.H. : Stimulated optical radiation in ruby. Nature, 187:493, 1960.
3. 박준상, 김기석 ; 레이저 치의학, 덴탈기획, pp. 5-19, 1995.
4. Kapany, N.S., Peppers, N.A., Zweng, H.C. and Flocks, M. : Retinal photocoagulation by lasers. Nature, 199:146-149, 1963.
5. Rochkind, S., Rouso, M., Nissan, M., Villarreal, M., Barr-Nea, L. and Rees, D.G. : Systemic effects of low-power laser irradiation on the peripheral and central nervous system, cutaneous wounds, and burns. Lasers in Surgery and Medicine, 9:174-182, 1989.
6. 김재호, 허원 : 안과영역에서의 레이저광의 응용. 대한의학협회지, 27:103-112, 1984.
7. Goldman, L., Hornby, P., Meyer, R. and Goldman, B. : Impact of the laser on dental caries. Nature, 203:417, 1964.
8. Gordon, T.E. : Single-surface cutting of normal tooth with ruby laser. J. Am. Dent. Assoc., 74:398-402, 1967.
9. Kinersly, T., Jarabak, J.P., Phatak, N.M. and DeMent, J. : Laser and teeth. New York Dent. J., 32:56-58, 1966.
10. Brune, D. : Interaction of pulsed carbon dioxide laser beams with teeth in vitro. Scand. J. Dent. Res., 88:301-305, 1980.
11. Scheinin, A. and Kantola, S. : Laser-induced effects on teeth structure. I. Crater production with a CO<sub>2</sub> laser, Acta Odont. Scand., 27:173-179, 1969.
12. Stern, R.H. and Sognnaes, R.F. : Laser effect on dental hard tissue. J. S. Calif. Dent. Assoc., 33:17-19, 1965.
13. Stern, R.H., Vahl, J. and Sognnaes, R.F. : Lased enamel : Ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser effects. J. Dent. Res., 51:455-460, 1972.
14. Yamamoto, H. and Sato, K. : Prevention of dental caries by acousto-optically Q-switched Nd-YAG laser irradiation. J. Dent. Res., 59:137, 1980.

15. Yamamoto, H. and Ooya, K. : Potential of Yttrium-aluminum-garnet laser in caries prevention. *J. Oral Path.*, 3:7-15, 1974.
16. Lenz, P., Glides, H. and Waltz, R. : Studies on enamel sealing with the CO<sub>2</sub> laser. *Dtsch. Zahnarztl. Z.*, 37:467-478, 1982.
17. Nelson, D.G.A., Wefel, J.S., Jongeblood, W.L. and Fetherstone, J.D.B. : Morphology, histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infrared laser radiation. *Caries Res.*, 21:411-426, 1987.
18. Oho, T. and Morioka, T. : Argon laser irradiation increases the acid resistance of human enamel. *J. Dent. Health*, 37:283-288, 1987.
19. 김순주, 이종갑 : 탄산가스레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 12:9-20, 1985.
20. 이명숙, 이종갑 : 탄산가스 레이저 조사 치면의 주사 전자현미경적 관찰 및 레진 부착력에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 17:160-172, 1990.
21. 민신흥, 손동수 : Neodymium:Yttrium-Aluminium - Garnet(Nd:YAG) 레이저 조사가 불화석 국소도포에 미치는 효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 13:109-117, 1986.
22. Goodman, B.D. and Kaufman, J.W. : Effects of an argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of teeth enamel in presence of sodium fluoride. *J. Dent. Res.*, 56:120-127, 1977.
23. Tagomori, S. and Morioka, T. : Combined effects of laser and fluoride on acid resistance of human dental enamel. *Caries Res.*, 23: 225-231, 1989.
24. 이상호 : 레이저 조사의 치아우식 억제효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 18:1-19, 1991.
25. 모현철, 양규호 : Nd-YAG 레이저 조사와 불소 도포가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 19:141-150, 1992.
26. 이안희, 기우천 : Pulsed Nd-YAG 레이저 조사와 불소 화합물 도포가 치아 내산성 변화에 미치는 영향. *대한구강내과학회지*, 20:429-443, 1995.
27. 홍석진, 박기철, Stookey, G.K. : 인공우식 법랑질에 대한 불소함유치약의 효과. *대한구강보건학회지*, 20:1-10, 1996.
28. White, D.J. : Reactivity of fluoride dentifrices with artificial caries ; I. Effects on early lesions : F uptake, surfaces hardening and remineralization. *Caries Res.*, 21:126-140, 1987.
29. Pick, R.M., Pecaro, B.C. and Silberman, C.J. : The laser gingivectomy ; The use of the CO<sub>2</sub> laser for the removal of phenytoin hyperplasia. *J. Periodontol.*, 56:492-496, 1985.
30. Willenborg, G.C. : Dental laser applications ; Emerging to maturity. *Lasers in Surgery and Medicine*, 9:309-313, 1989.
31. Newbrun, E. : *Cariology*, 3rd ed. Quintessence, Chicago, pp. 331-332, 359-362, 1989.
32. Caslavskva, V., Bruevold, F., Vrbic, V. and Moreno, E.C. : Response of human enamel to topical application of ammonium fluoride. *Arch. Oral Biol.*, 16:1173-1180, 1971.
33. Mellberg, J.R. : Penetration of fluoride from sodium monofluoro-phosphate into artificially produced incipient enamel lesions. *Caries Res.*, 14:115-120, 1980.
34. Mellberg, J.R. and Chomicki, W.G. : Effect of soluble calcium on fluoride uptake by enamel from sodium monofluorophosphate. *J. Dent. Res.*, 61:1394-1396, 1982.
35. Gron, P. and Caslavskva, V. : Fluoride deposition in enamel from application of sodium, potassium or ammonium fluoride. *Caries Res.*, 15:459-467, 1981.
36. Chow, L.C. and Brown, W.E. : Formation of CaHPO<sub>4</sub>-2H<sub>2</sub>O in tooth enamel as an intermediate product in topical fluoride treatment. *J. Dent. Res.*, 54:65-76, 1975.
37. Wei, S.H.Y., Sooroff, D.M. and Wefel, J.S. : Effects of titanium fluoride on human enamel, *J. Dent. Res.*, 55:426-431, 1976.
38. McCann, H.G. : The effect of fluoride complex formation on fluoride uptake and retention in human enamel. *Arch. Oral Biol.*, 14:521-531, 1969.
39. Uchtmann, H. and Duschner, H. : Electron spectroscopic studies of interactions between superficially applied fluorides and surface enamel. *J. Dent. Res.*, 61:423-428, 1982.
40. Mellberg, J.R., Ripa, L.W., Leske, G.S., Sanchez, M. and Polanski, R. : The relationship between dental caries and tooth enamel fluoride. *Caries Res.*, 19:385-389, 1985.
41. Mellberg, J.R. : Fluoride uptake by human tooth enamel from acidulated fluoride-phosphate preparations. *J. Dent. Res.*, 45:303-306, 1966.
42. 이상대, 홍석진 : 불화물 도포에 의한 법랑질의 표면

- 변화와 불소함량에 관한 연구. 전남치대 논문집, 1:283-302, 1989.
43. 이상대, 홍석진 : 국소도포된 불화물의 효과에 관한 X-선 광전자 분석기 및 주사전자현미경적 연구. 대한구강보건학회지, 15:217-233, 1991.
  44. Featherstone, J.D.B., Cutress, T.W., Rodgers, B.E. and Dennison, P.J. : Remineralization of artificial caries-like lesions in vivo by a self-administered mouthrinse or paste. *Caries Res.*, 16:235-242, 1982.
  45. Gelhard, T.B.F.M., Ten Cate, J.M. and Arends, J. : Rehardening of artificial enamel lesions in vivo. *Caries Res.*, 13:80-83, 1979.
  46. Boehm, R., et al : Temperatures in human teeth due to laser energy. *ASME*, 75-WA/Bio-8, 1975.
  47. Goldman, L., Gray, J.A., Goldman, J., Goldman, B. and Mayer, R. : Effect of laser beam impacts on teeth. *J. Am. Dent. Assoc.* 70:601-606, 1965.
  48. Adrian, J.C., Bernier, J.L. and Sprague, W.G. : Laser and the dental pulp, *J. Am. Dent. Assoc.*, 83:113-117, 1971.
  49. White, A.M., Fagan, M.C. and Goodies, H.E. : Intrapulpal temperatures during pulsed Nd:YAG laser treatment of dentin. *In Vitro. J. Periodont.*, 65:255-259, 1994.
  50. Geeraets, W.J. and Berry, E.R. : Ocular spectral characteristics as related to hazard from lasers and other light sources. *Am. J. Ophthal.*, 66:15, 1968.
  51. Stern, R.J., Sognaes, R.F. and Goodman, F. : Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility, *J. Am. Dent. Assoc.*, 73:838-848, 1966.
  52. 최정수, 홍석진 : 불소용액이 우식 법랑질의 표면 경도, 우식병소깊이 및 내산성에 미치는 영향. 전남치대 논문집, 3:323-330, 1991.
  53. 최정수, 방몽숙 : 불화물이 도포된 인공우식 법랑질의 구강내에서의 재석회화 비교. 미발표, 1996.
  54. White, D.J. : Reactivity of fluoride dentifrices with artificial caries. *Caries Res.*, 22:27-36, 1988.
  55. Corpron, R.E., More, F.G., Clark, J.W., Korytnicki, D. and Kowalski, C.J. : In vivo remineralization of artificial enamel lesions by a fluoride dentifrice or mouthrinse. *Caries Res.*, 20:48-55, 1986.
  56. 김낙현, 홍석진 : 불소함유치약의 인공우식 법랑질에 대한 도포효과. 전남치대 논문집, 2:117-125, 1990.
  57. 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.*, 25:831-832, 1980.
  58. Kantola, S., Laine, E. and Tarna, T. : Laser induced effects on tooth structure. VI. X-ray diffraction study of dental enamel exposed to a CO<sub>2</sub> laser. *Acta Odont. Scand.*, 31:369-379, 1973.
  59. Kuroda, S. and Nukahara, M. : Morphological changes in laser-irradiated extracted teeth. *J. Dent. Res.*, 60(special issue A): Abstract 719, 1981.
  60. Fowler, B.O. and Kuroda, S. : Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility. *Calcif. Tissue Int.*, 38:197-208, 1986.
  61. Newbrun, E. : *Cariology*, 3rd ed. Quintessence, Chicago, pp. 340-341, 1989.
  62. Nammour, S., Renneboog-Squilbin, C. and Nyssen-Behets, C. : Increased resistance to artificial caries-like lesions in dentin treated with CO<sub>2</sub> laser. *Caries Res.*, 26:170-175, 1992.
  63. Ferreira, J.M., Palamara, J., Phakey, P.P., Ranchoringer, W.A. and Orams, H.J. : Effects of continuous-wave CO<sub>2</sub> laser on the ultrastructure of human dental enamel. *Archs Oral Biol.*, 7:551-562, 1989.
  64. Tagomori, S. and Iwase, T. : Ultrastructural change of enamel exposed to a normal pulsed Nd:YAG laser. *Caries Res.*, 513-520, 1995.
  65. Tomita, F. : Chemical state change in human tooth enamel by low energy laser exposure. *Dent. Oral Surg.*, 12:17-20, 1984.

---

- ABSTRACT -

## Effects of Pulsed Nd:YAG Laser Irradiation and Fluoride Compound Application on Surface Hardness of Incipient Carious Lesion in Enamel of Bovine Teeth

**Jun-Bong Kwag**, D.D.S., M.S.D., **Woo-Cheon Kee**, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Oral Medicine, College of Dentistry, Chonnam National University*

This study was designed to determine the most effective concentration of fluoride and energy density of laser irradiation for the anticariogenic effect. For this study, surface hardness in enamel was measured before and after irradiation with pulsed Nd:YAG laser and the topical application of fluoride.

Of the permanent mandibular anterior bovine teeth, healthy, carious free ones were used. Three hundred specimens were made. Specimens within 25~45 Vickers hardness numbers were assigned to 20 control and experimental groups ; each containing 15 specimens.

After forming artificial carious lesions, 10 J/cm<sup>2</sup>, 20 J/cm<sup>2</sup>, and 30 J/cm<sup>2</sup> energies were irradiated on the enamel surface of each experimental group. Also NaF, NH<sub>4</sub>F, Elmex gel(amine fluoride) and APF gel fluoride compounds were applied topically.

Next, all the specimens were placed into the pH circulatory procedures for eight days. Vickers hardness numbers were measured using a microhardness tester. Surface changes of the enamel were observed using an scanning electron microscope.

The comparative analysis yielded the following results ;

1. The reduction of surface hardness of the enamel surface was less in all groups with fluoride application than in the group without fluoride application.
2. The APF gel group with 10 J/cm<sup>2</sup> irradiation showed the lowest reduction of surface hardness.
3. The reduction of surface hardness of the enamel surface in the group of laser irradiation without fluoride application not showed any significant difference according to the energy density of the laser.
4. Under the scanning electron microscope, in enamel irradiated with 10 J/cm<sup>2</sup> showed appearance similar to acid etching surface. In enamel irradiated with 20 J/cm<sup>2</sup>, fine enamel crack was detected. In enamel irradiated with 30 J/cm<sup>2</sup>, severe enamel crack and fusion of enamel were detected.

These results suggest that one could obtain the best anticariogenic effects without damage to teeth in the group of application of APF gel after laser irradiation with 10 J/cm<sup>2</sup>.

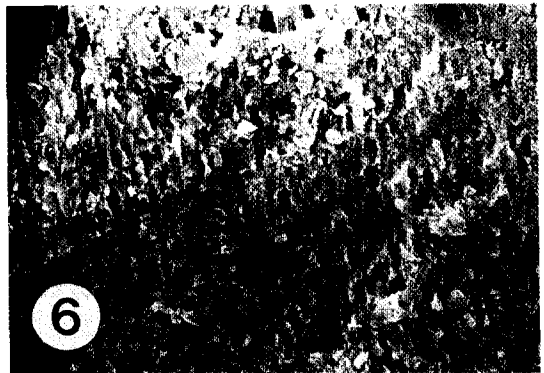
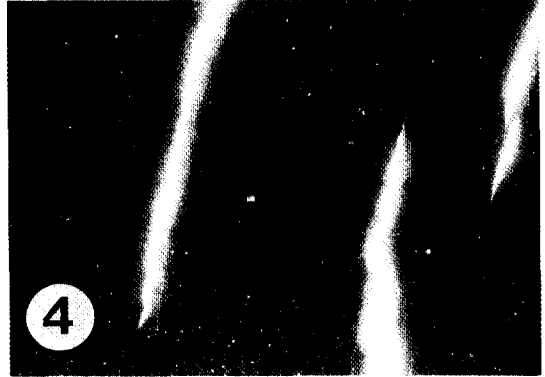
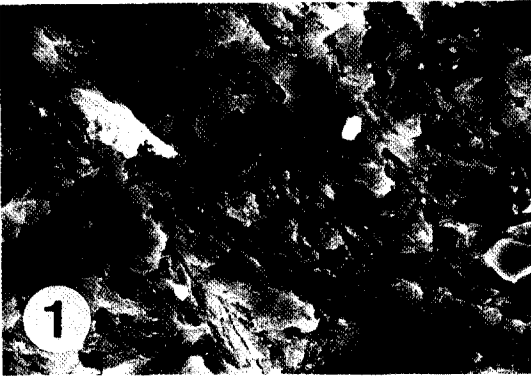
---

## EXPLANATION OF PHOTOGRAPHS

- Photo. 1.** A scanning electron microscopic photograph of artificial carious enamel surface untreated and unlased.( $\times 1,000$ )
- Photo. 2.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after treatment with NaF and unlased.( $\times 1,000$ )
- Photo. 3.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after treatment with  $\text{NH}_4\text{F}$  and unlased.( $\times 1,000$ )
- Photo. 4.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after treatment with Elmex gel and unlased.( $\times 1,000$ )
- Photo. 5.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after treatment with APF gel and unlased.( $\times 1,000$ )
- Photo. 6.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $10\text{J}/\text{cm}^2$ . ( $\times 1,000$ )
- Photo. 7.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $10\text{J}/\text{cm}^2$  and treatment with APF gel.( $\times 1,000$ )
- Photo. 8.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $20\text{J}/\text{cm}^2$ . ( $\times 1,000$ )
- Photo. 9.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $20\text{J}/\text{cm}^2$  and treatment with APF gel.( $\times 1,000$ )
- Photo. 10.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $30\text{J}/\text{cm}^2$ . ( $\times 1,000$ )
- Photo. 11.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of  $30\text{J}/\text{cm}^2$  and treatment with APF gel.( $\times 1,000$ )



논문사진부도 ①



논문사진부도 ②

