

Nd:YAG 레이저 조사와 불소화합물 도포가 탈회법랑질의 재광화에 미치는 영향

조 현 · 이광희 · 김대업

원광대학교 치과대학 소아치과학교실 · 원광치의학연구소

국문초록

Normal pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불소화합물이 산성음료수에 의해 탈회된 법랑질의 표면 미세경도에 미치는 재광화 효과를 평가하고자 한다.

법랑질 시편을 제작하여 50ml 플라스틱 시험관 5개에 코카콜라를 채운 후 30개의 소구치를 6개씩 나누어 넣고 탈회시켰다. 법랑질 표면에 6W 출력하의 50mJ 에너지 밀도, 20Hz의 pulse rate로 레이저를 조사하였다. 레이저가 조사된 법랑질 표면에 각 군별로, 여러 형태의 불소화합물을 처리한 후 탈회 전, 후의 미세경도 및 Diagnodent를 측정하였다.

동일한 방법으로 탈회된 법랑질에 레이저를 조사했을 때와 레이저가 조사된 법랑질 표면에 불소화합물을 처리한 후에 미세경도 및 Diagnodent를 측정하였다.

법랑질 표면을 산성 음료에 탈회 후, 레이저 조사 후, 불소화합물 처리 후의 각각의 시편에 대하여, 주사전자현미경으로 1500배 확대하여 관찰하였다.

1. 산성 탈회된 법랑질 표면의 미세경도(VHN)가 레이저를 조사한 후와 불소 도포 후에 증가하였으나, 레이저 조사 후의 경도와 불소 도포 후의 경도간의 차이는 유의하지 않았다.
2. 초기 경도, 탈회 후 경도, 레이저 조사 후 경도, 불소 도포 후 경도에서 불소군 간의 차이는 모두 유의하지 않았고, 불소 용액 군과 불소 젤 군에서는 레이저 조사 후의 경도와 불소 도포 후의 경도 간에 유의한 차이가 없었으나, 불소 바니쉬 군에서는 유의한 차이가 있었다.
3. Diagnodent 측정치의 변화에서 초기 점수, 탈회 후 점수, 레이저 조사 후의 점수와 불소 도포 후의 점수 간에는 유의한 차이가 있었고, 레이저 조사 후 점수와 불소 도포 후의 점수가 불소 도포 군 사이에서는 유의한 차이가 없었다.
4. 산성 음료수에 탈회된 법랑질 표면의 Nd:YAG 레이저 조사는 재광화에 효과적이며, 불소화합물의 처리는 레이저의 효과를 증가시키는 부가적인 효과를 갖는다.
5. 주사 전자 현미경상에서 Nd:YAG 레이저가 조사된 법랑질 표면은 전체 표면이 법랑소주가 녹아내려 융합된 매끈한 바닥에 균열이 생기고 분화구가 퍼져 있는 양상을 보였으며, 불소 도포 후에는 균열과 분화구 형태는 뚜렷하지 않으며 탈회된 후의 표면에 가까운 양상을 보였다.

주요어 : Nd:YAG 레이저, 불소화합물, 탈회법랑질의 재광화

I. 서 론

치의학 분야에서 레이저는 주로 구강 연조직 질환의 치료에 사용되어 왔으나 최근에는 치아 경조직을 포함하여 적용 범위가 넓어지고 있다.

치의학 분야에서는 Goldman 등¹⁾이 처음으로, 발견된 치아에 루비 레이저를 조사하여 건강한 치면 보다 우식 치면이 레이저 광의 흡수가 높아 우식병소를 제거할 수 있다는 가능성을 보

교신저자 : 이 광 희

전북 익산시 신웅동 344-2

원광대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 063-850-1955

E-mail : kwhelee@wonkwang.ac.kr

고한 이후 다방면에서 다수의 연구들이 발표되어 왔다. Stern과 Sognnaes²⁾는 루비 레이저 조사시 조사부위 법랑질의 내산성 증가를 발견하고, 또한 최초로 생체 내 실험을 하여 내산성 증가를 확인한 이래 치아우식 예방영역에서 레이저의 임상적용과 관련된 많은 연구들이 이루어져 왔다³⁾.

예방 치과학 분야에서 아르곤 및 이산화탄소 레이저와 같은 레이저로 법랑질과 상아질 표면 위의 인공우식병소에 조사되었을 때 우식저항성이 증가되었다는 연구가 보고 되어왔고, 이와 관련된 많은 연구들이 행해져 왔다⁴⁻⁵⁾. 법랑질과 상아질의 초기 세구조에 미치는 Nd:YAG 레이저의 효과와 산성 탈회를 감소시키는 능력에 대하여, Nd:YAG 레이저로 조사된 사람의 법랑질은 탈회(decalcification)에 더 저항성이 있다고 하였다. 그러나, Nd:YAG 레이저는 법랑질 표면을 녹이지 않고 탈회의 유의한 감소가 없다고 보고 되었고, Nd:YAG 레이저 조사 후에 법랑질의 탈회를 감소시키기 위해 국소적으로 불소를 적용하는 복합적 방법이 제안되어 왔다⁶⁻⁸⁾.

Stern과 Sognnaes²⁾, 모와 양³⁾, Tagomori와 Morioka⁸⁾는 산성 용액을 이용하여 인공적으로 탈회를 유발한 법랑질 표면에 레이저를 조사하여 법랑질의 침투성 및 용해성을 감소시켜 내산성이 증가되었다고 하였으며, 레이저 단독으로 조사했을 때 보다 레이저 조사와 더불어 불화물을 함께 적용했을 때에 산에 대한 저항성이 더 증가되었다고 보고 하였다.

이렇듯 탈회된 법랑질 표면에 다양한 종류의 레이저를 조사하여 산에 대한 저항성을 증가시키고자 하는 노력이 많이 시도되었는데, Oho와 Morioka⁹⁾는 9종의 서로 다른 레이저들 중에서, 탈회에 매우 저항성이 높고 법랑질 표면에 일으키는 손상을 보다 적은 양으로 유발하기 때문에 pulsed Nd:YAG 레이저가 임상적으로 사용하기에 가장 적절하다고 하였으며, 더욱이 Nd:YAG 레이저는 유연한 광섬유(flexible optic fiber)를 통해 환자에게로 유도될 수 있다고 하였으며, 법랑질 표면에서 레이저 조사 후에 불소를 적용하여 보다 많이 불소를 침착시킬 수 있음을 보여주었다¹⁰⁻¹¹⁾.

탈회된 법랑질 표면에 다양한 조건으로 조사된 효과를 평가하기 위해 주사전자현미경 관찰, 광학현미경 관찰, 표면 미세경도의 측정, 용해된 칼슘과 인의 정량적 측정, 방사선 회절분석 등 다양한 실험적 방법들이 사용되었는데¹²⁾, 이들 연구결과를 임상적으로 상호 비교하여 적용하는 데는 한계가 있었다.

한편, 최근 들어 생활습관과 식생활의 변화로 더욱 다양화되고 소비가 급증하는 추세에 있는 산성음료수는 섭취빈도와 pH

2~pH 4의 강한 산성의 산도 때문에 치아에 유해한 침식작용을 유발하고 결국 치아우식증을 가속화시킬 수 있는 위험성이 높아지고 있으며¹³⁾, 이런 산성음료수의 주 소비층이 어린이와 청소년이라는 점이 주목할 만하다. 치아침식증을 유발하는 요인이 산성음료수에 의한 것만은 아니며 여러 요인이 작용하여 유발되는 것이지만 산성음료나 식품에 의한 치아침식증이 중요한 인자 중의 하나로 보고되고 있다¹⁴⁻¹⁶⁾.

치아우식증의 새로운 진단 기술인 레이저형광측정법은 레이저를 조사한 치아에서 발생하는 형광을 측정하여 치아의 탈회 정도를 즉석에서 정량적으로 측정하는 방법으로써, 최근에 개발된 Diagnodent는 종래의 아르곤 레이저 대신에 저출력 반도체 레이저를 사용하고 형광의 스펙트럼 분석 대신에 형광의 총 강도를 측정하는 방법을 사용하여 임상적 우식진단기구로 실용화되었다¹⁷⁻¹⁹⁾.

이 연구에서는 어린이와 청소년에서 최근 소비가 증가하고 있는 산성음료수에 의해 탈회된 법랑질의 표면에 normal pulsed Nd:YAG 레이저를 조사하여 이 레이저가 탈회된 법랑질 표면에 미치는 효과와, 불화물을 병용 처치하였을 때에 탈회된 법랑질의 재광화에 미치는 효과를 미세경도의 측정과 레이저형광측정(Diagnodent)을 통해 알아보고자 하였다. 또한 탈회된 법랑질 표면에 normal pulsed Nd:YAG 레이저를 조사하고 불화물이 처치된 후의 표면을 주사전자현미경적으로 관찰하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

교정치료를 위해 발거된 우식이 없고 건전한 상, 하악 소구치 30개를 대상으로 하였다.

재광화를 위해 사용된 불화물은 상업적으로 판매되고 있는 세 가지 형태의 불화물을 선정하였다(Table 1).

2. 연구방법

가. 법랑질 시편의 제작

치관표면의 부착물을 제거하고 불소가 포함되지 않은 퍼미스 로 치면세마를 한 후, 고속 핸드피스를 이용하여 주수하에 치관부의 평활면을 분리하였다. 가로, 세로가 각각 1cm인 주형에

Table 1. Fluorides materials used in this study

Products		Fluoride concentration	Manufacturer
Solution	Chika Chika	0.05 % NaF	Samil Pharm Corp., Korea
Gel	60 Seconds	1.23% APF (Acidulated Phosphate Fluoride)	Pascal Company Inc., U.S.A.
Varnish	Fluor Protector	0.1%F	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein

교정용 상온 중합 레진을 이용하여 직경 3mm의 범랑질이 노출 되도록 매몰하였다. 노출된 치아면을 연마기(Metasev polisher-grinder, Buehler LTD, USA)에서 400, 800, 1200, 1500 grit의 silicone carbide paper로 순차적으로 범랑질 표면을 주수하에 연마하였다.

나. 산성 음료수에 의한 범랑질의 탈회

50ml 플라스틱 시험관(Falcon, USA) 5개에 30ml의 코카콜라를 채운 후 30개의 소구치를 6개씩 나누어 넣고 37℃ 배양기에 12시간 동안 탈회시켰다.

다. Nd:YAG 레이저 조사

이 연구에서 범랑질의 탈회억제 및 재광화에 사용된 Nd:YAG 레이저는 매질로서 Neodymium-doped yttrium-aluminum-garnet을 사용하는 레이저로서(PulseMaster 600IQ, American Dental Technologies, USA), 파장은 1064nm이며, 최대 출력은 6W, 펄스당 에너지는 20-200mJ로, 10-200Hz의 pulse rate로 방사되며, 방사 형태는 free-running pulse로, 200µm 직경의 quartz optic fiber를 통해 접촉식으로 방사된다.

시편의 범랑질 표면에 유성의 검은 색 펜으로 직경 2mm 크기로 색칠을 한 후, 6W 출력하의 50mJ 에너지 밀도, 20Hz의 pulse rate로 레이저를 조사하였다.

라. 불화물의 처리

레이저가 조사된 범랑질 표면에 각 군별로, 0.05% 불소 용액, 1.23% 불소 젤, 0.1% 불소 바니쉬 형태의 불화물을 처리하였다. 시편을 넣은 시험관에 불소용액이 잠길 정도로 채운 후 37℃ 배양기에서 6시간 동안 담갔으며, 불소 젤은 면봉에 묻혀 건조된 범랑질 표면에 4분간 반복적으로 발랐고, 불소 바니쉬는 3회에 걸쳐 건조된 바니쉬 표면 위에 반복 도포하였다.

마. 미세경도 및 Diagnodent를 사용한 우식 측정

범랑질 표층의 탈회 및 재광화 정도를 측정하는 데 사용된 Diagnodent(Kavo, Germany)는 적색 반도체 레이저 광원을 가지고 있으며 레이저를 치아에 조사할 때 발생하는 형광의 강도를 측정하는 우식진단기구로서, 측정치는 0부터 99까지 숫자로 표시된다. 또한 미세경도의 측정에는 MHT-10(Anton Paar, Austria)이 사용되었고 100g의 하중을 5초간 적용하였다.

탈회 전후에, 세척된 시편을 상온에서 5분간 둔 후 완전히 건조되기 전에, 시편의 표면위의 세 점을 정해 미세경도 및 Diagnodent를 측정하여 평균값을 점수로 정했다.

탈회된 범랑질 표면 위에 레이저를 조사한 후에, 시편의 표면위의 세 점을 정해 미세경도 및 Diagnodent를 측정하여 평균값을 점수로 정했다.

각 불화물을 처리한 후에, 동일한 방법으로, 시편의 표면위의

세 점을 정해 미세경도 및 Diagnodent를 측정하여 평균값을 점수로 정했다.

바. 범랑질 표면의 주사전자현미경적 관찰

코카콜라에 담가 탈회된 범랑질 표면에 레이저를 조사 후, 불화물 처리 후의 각각의 시편에 대하여, 금으로 피복(Ion Sputter JFC-1100, JEOL, Japan)한 후, 주사전자현미경으로(JEOL, JSM-6400, Japan)으로 1500배 확대하여 관찰하였다.

사. 통계 분석

윈도우용 SPSS 9.0으로 평균, 표준편차, 분산분석과 사후 검정 및 각 군에서의 t 검사를 통한 평균간의 차이의 유의성 검정 등을 시행하였다.

Ⅲ. 연구성적

1. 미세경도의 변화 (Table 2, 3)

전체적으로 초기 경도는 282.33 VHN이었으며, 탈회 후의 경도는 97.71 VHN으로서 초기 경도의 34.68%로 감소하였고, 레이저 조사 후의 경도는 216.95 VHN으로서 초기 경도의 78.37%로 증가하였으며, 불소 도포 후의 경도는 226.99 VHN으로서 초기 경도의 82.62%로 증가하였고, 레이저 조사 후와 불소 도포 후를 제외하고 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 불소용액 도포 후의 경도는 229.80 VHN으로서 초기 경도의 82.88%이었고, 불소 젤 도포 후의 경도는 230.58 VHN으로서 초기 경도의 86.76%이었고, 불소 바니쉬 도포 후의 경도는 220.60 VHN으로서 초기 경도의 78.23%이었다. 초기 경도, 탈회 후 경도, 레이저 조사 후 경도, 불소도포 후 경도에서 불소군 간의 차이는 모두 유의하지 않았다. 불소 용액 군과 불소 젤 군에서는 레이저 조사 후의 경도와 불소 도포 후의 경도간에 유의한 차이가 없었으나, 불소 바니쉬 군에서는 유의한 차이가 있었다(P<0.05).

2. Diagnodent 측정치의 변화 (Table 4, 5)

Diagnodent점수는 재광화 될수록 점수가 감소하므로 점수의 변화에 대한 백분율(%)은 역으로 계산하였다. 전체적으로 초기 점수는 4.75였으며, 탈회 후에는 17.52로서 초기 점수의 28.08%로 감소하였고, 레이저 조사 후에는 8.80으로서 초기 점수의 59.81%로 증가하였으며, 불소 도포 후에는 6.76로서 초기 점수의 82.17%로 증가하였고, 초기 점수, 탈회 후 점수, 레이저 조사 후의 점수, 불소 도포 후의 점수간에 모두 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 불소용액 도포 후의 점수는 7.86으로서 초기 점수의 70.64%이었고, 불소 젤 도포 후의 점수는 5.56으로서 초기 점수의 92.38%이었으며, 불소 바니쉬 도포

Table 2. Microhardness values (VHN)

Group	Initial	Demineralization	Laser	Fluoride
Fluoride Solution	292.94 ^a ±51.41	109.99 ^b ±67.94	215.76 ^c ±50.30	229.80 ^{a,c} ±64.92
Fluoride Gel	266.26 ^a ±31.82	81.39 ^b ±21.52	229.75 ^c ±56.59	230.58 ^c ±52.41
Fluoride Varnish	287.80 ^a ±31.09	101.74 ^b ±52.04	205.34 ^c ±33.69	220.60 ^{a,d} ±35.84
Totals	282.33 ^a ±39.66	97.71 ^b ±50.66	216.95 ^c ±47.27	226.99 ^c ±50.80

N=10: Mean±SD

Values in columns having the same letter(a) were not significantly different (P>0.05), ANOVA & LSD

Values in rows having the same letter(^a) were not significantly different (P>0.05), t-test

Table 3. Relative comparison of microhardness values (%)

Group	Initial	Demineralization	Laser	Fluoride
Fluoride Solution	100 ^a	37.32 ^b ±21.43	74.43 ^a ±15.66	82.88 ^a ±33.15
Fluoride Gel	100 ^a	31.22 ^b ±9.84	87.77 ^a ±25.60	86.76 ^a ±16.54
Fluoride Varnish	100 ^a	35.50 ^b ±17.30	72.91 ^a ±18.31	78.23 ^{a,d} ±20.14
Totals	100 ^a	34.68 ^b	78.37 ^c	82.62 ^c

N=10: Mean±SD

Values in columns having the same letter(a) were not significantly different (P>0.05), ANOVA & LSD

Values in rows having the same letter(^a) were not significantly different (P>0.05), t-test

Table 4. Diagnodent scores

Group	Initial	Demineralization	Laser	Fluoride
Fluoride Solution	4.44 ^a ±1.67	15.44 ^b ±1.46	10.00 ^c ±2.91	7.86 ^{a,c} ±3.49
Fluoride Gel	4.76 ^a ±1.12	17.60 ^b ±4.83	9.20 ^a ±3.27	5.56 ^a ±2.14
Fluoride Varnish	5.04 ^a ±1.20	19.52 ^b ±1.50	7.20 ^a ±1.30	6.86 ^a ±2.57
Totals	4.75 ^a ±1.28	17.52 ^b ±3.30	8.80 ^c ±2.73	6.76 ^d ±2.76

N=10: Mean±SD

Values in columns having the same letter(a) were not significantly different (P>0.05), ANOVA & LSD

Values in rows having the same letter(^a) were not significantly different (P>0.05), t-test

Table 5. Relative comparison of Diagnodent scores (%)

Group	Initial	Demineralization	Laser	Fluoride
Fluoride Solution	100 ^a	29.73 ^b ±14.25	47.69 ^c ±19.45	70.64 ^c ±46.25
Fluoride Gel	100 ^a	28.67 ^b ±10.35	58.46 ^c ±25.14	92.38 ^c ±31.98
Fluoride Varnish	100 ^a	25.83 ^b ±5.69	73.28 ^c ±26.36	83.51 ^a ±42.34
Totals	100 ^a	28.08 ^b ±10.04	59.81 ^c ±24.60	82.17 ^d ±38.74

N=5: Mean±SD

% = reversed ratio

Values in columns having the same letter(a) were not significantly different (P>0.05), ANOVA & LSD

Values in rows having the same letter(^a) were not significantly different (P>0.05), t-test

후의 점수는 6.86으로서 초기 점수의 83.51%이었다. 초기 점수, 탈회 후 점수, 레이저 조사 후 점수, 불소도포 후 점수에서 불소 군 간의 차이는 모두 유의하지 않았다. 각 불소군에서는 레이저 조사 후의 점수와 불소도포 후의 점수 간에 유의한 차이가 없었다.

3. 주사전자현미경적 관찰(Fig. 1~5)결과

코카콜라에 의해 탈회된 법랑질 표면은 불규칙하고 거친 표면 양상을 보였다(Fig. 1). 레이저가 조사된 법랑질 표면은 열변성되어 녹아내린 용암과 같은 양상과 분화구 모양을 보였으며, 미세소공들과 균열을 관찰할 수 있었다(Fig. 2). 레이저의 조사는 열에 의해 법랑질을 녹임으로써 탈회된 법랑질 표면을 변화시키고 법랑질 결정들을 재구성함을 관찰할 수 있었다. 불화물이 도포된 표면은 법랑질의 표면이 재결정화된 양상이며, 다양한 크기의 다각형 결정입자들이 모여 있는 듯한 불규칙한 표면을 보였다(Fig. 3~5).

IV. 총괄 및 고찰

최근 치과에 사용되는 레이저는 치과수복 및 악안면 수술을 위해 CO₂레이저와 Nd:YAG레이저가 주로 이용되고 있다²⁰⁾. Nd:YAG 레이저는 일반적인 치과용 레이저에 비해 파장이 길고(10.6 μ m) 관절 반사경을 통한 광 유도를 해야 하는 어려움이 있는 CO₂ 레이저와는 달리 자유롭게 빛을 구부릴 수 있는 유연한 광섬유를 통해 구강 내에 자유롭게 방사될 수 있고 수분에 대한 흡수력이 좋아 여러 가지 레이저 종류 중에서 정상 펄스 발진형과 음향광 Q-스위치 Nd:YAG 레이저가 임상에 사용하기 적절하며^{3,8,20,21)}, 이 중에서도 정상 펄스 발진형(normal pulsed laser irradiation)이 내산성 증가가 더 많고 법랑질의 파괴정도가 더 적어 임상에 보다 효과적이라고 보고 된 바 있어 본 실험에서는 광섬유를 통한 광유도가 가능하고 수용액 상태로 불소도포가 가능하며 심부 침투성이 우수하여 불화물을 치질 깊숙이 균일하게 도달 시킬 수 있는 Nd:YAG 레이저를 이용하였다. 그러나 Nd:YAG 레이저는 파장이 1.06 μ m의 근적외선 영역으로 눈에 보이지 않고 색소가 없는 조직에는 잘 흡수되지 않기 때문에 붉은 빛을 내는 He-Ne 레이저를 지시광으로 이용하였으며 방수 흑색 잉크를 법랑질 표면에 도포하였다.

레이저를 법랑질 표면에 조사시 내산성을 갖는 이유에 대해 Stern 등²²⁾과, Yamamoto와 Sato²³⁾는 치아 표면의 탈회 감소가 법랑질의 용해도보다는 법랑질의 투과도의 감소에 의한다고 하였으나, Tagomori와 Morioka⁸⁾는 레이저 조사 후 법랑질의 투과도가 증가되어 법랑질에 불소침착이 용이해지기 때문이라고 하였다. 그러나 X-ray 회절기, 적외선 분광기 등을 이용한 다른 연구 방법 결과에서 법랑질의 재광화와 결정크기의 증가로 인해 용해도가 감소된다는 연구결과도 보고 되었고²⁴⁾, 국내의 연구에서 김과 이²⁵⁾는 레이저가 치면을 물리 화학적으로 변

화시켜 내산성이 증가한다고 하였다. 이와 같이 여러 선행들의 연구를 통하여 레이저 조사가 불화물의 침착을 증가시키며, 내산성을 향상시키는 것은 명확한 것으로 여겨진다.

효과적이면서도 새로운 충치 예방 술식으로서 레이저 조사와 불소도포를 함께 처치한 경우의 내산성을 증가시켰다는 보고가 있었는데, Yamamoto와 Sato²³⁾, Yamamoto와 Ooya²⁶⁾는 Nd:YAG레이저를, Lenz 등²⁷⁾은 CO₂ 레이저를, Oho와 Morioka²⁸⁾는 아르곤레이저를, 민과 손²⁹⁾은 Nd:YAG 레이저를 법랑질에 조사한 결과 내산성이 증가하였음을 보고하였다.

레이저와 불화물의 병용 처치시 Yamamoto와 Sato²³⁾, 민과 손²⁹⁾은 불소도포 후 레이저조사시 레이저 에너지 증가에 따라 법랑질 불소 침착이 증가되고 표면 탈회가 감소한다고 하였으나 불소도포와 레이저 조사 시기를 비교한 Tagomori와 Morioka⁸⁾, 모와 양³⁾의 보고에 의하면 레이저가 법랑질속으로 불소침착을 허용하는 형태학적 변화를 일으키므로 레이저를 조사한 후 불화물을 도포한 경우가 불화물 도포 후 레이저를 조사한 경우보다 치아우식 예방 효과가 크다고 하였다. 따라서 이 연구에서도 산성 음료수에 탈회된 법랑질의 치아우식 예방을 극대화하기 위한 방법으로 레이저를 조사한 후 부가적인 불소 처치를 하였는데, 임상적으로 쉽게 적용할 수 있고 효과적인 불화물로서, 0.05% NaF 불소 용액, 1.23% 불소 젤, 0.1% 바니쉬 형태의 불소를 도포하여 비교하였다.

레이저 조사 시 법랑질의 표면 경도에 대한 연구에서 Nammour 등³⁰⁾은 아르곤 레이저를 800mJ로 조사하였을 때, 법랑질 표면이 융합되어 VHN이 50% 정도 증가한다고 하였으며, Tagomori와 Iwase³¹⁾는 레이저 조사시 순간적인 높은 온도와 균일한 냉각에 의해 균열이 발생하며, 수분과 유기질 소실로 인하여 법랑질의 표면이 거칠고 약해지고, 레이저의 조사량이 증가할수록 기계적인 문제가 증가한다고 하였다. 20~50mJ의 에너지 밀도로 에너지가 조사될 때 법랑질 표면에 결함을 야기시키지 않으면서 표면 경도를 증가시킨다고 보고된 바있다^{10-11,21)}. 선행들의 연구에서는 법랑질의 경도를 보다 균일하게 하기위해 경도간의 차이가 거의 나지 않은 소의 차이를 사용하였으나 이 연구에서 사용된 치아는 교정적인 치료를 위해 발거된, 맹출 직후의 소구치를 대상으로 하여 그 차이를 최소화하였고 전체 치아의 경도를 균일화하지는 않았으나 군 간에 유의한 경도 차이를 보이지 않았기 때문에 군 간의 비교에 있어 오차를 줄일 수 있었다. 연구 성적에 있어서도 선행들의 연구와 유사하게, 50mJ의 에너지 밀도로 조사된 본 실험에서도 탈회된 법랑질 표면 경도가 레이저 조사 후에 초기 경도의 78.37%로 회복되어 레이저 조사 후의 법랑질 표면의 경도가 증가함으로써 레이저 조사가 재경화(rehardening) 효과를 가졌으며, 불소도포 후에는 초기 경도의 82.62%까지 회복되어 레이저 조사 시와 유의한 차이는 보이지 않았으나, 레이저 조사에 부가적인 효과를 가져왔다고 할 수 있다. 선행들의 연구²¹⁻²⁵⁾에서 보고된 대로 레이저 조사 후 법랑질 표면에 균열, 미세공간이 생기고 법랑질의 침투성이 증가하여 다량의 불소가 치면에 침착하여, 레이저 조

사 후 법랑질 표면의 결정들이 재결정화 되며, 이후 불소도포 후 재광화의 효과가 부가적으로 첨가된 것으로 생각된다. 불화물은 법랑질 표면의 재광화를 증대시키거나 산에 의한 법랑질의 탈회를 막아줌으로써 치아우식 예방 효과를 나타내는데³²⁾, 선행들^{8,14,24)}의 연구에서 불소침착의 증가로 불소가 법랑질의 용해도를 감소시킨다고 하였으며, 불소도포시 법랑질의 재경화가 증가한다고 하였다.

산성식품요소에 의해 유발된 치아 침식증은 성인에서 뿐만 아니라 어린이와 청소년에서 치아구조를 상실시키는 중요한 요인으로 인식되고 있다^{15,33)}. 이 연구에서 치아의 법랑질을 탈회시키는 산성 용액으로 대표적인 산성 음료인 코카콜라를 사용하였고, 안 등³⁴⁾의 보고대로 pH 2.5의 강한 산성인 코카콜라에 의해 법랑질 표면의 탈회가 유의하게 증가하기 시작했던 12시간을 탈회시간으로 정했다.

탈회된 법랑질 표면의 재광화 효과를 평가하기 위해서 사용된 실험적 방법에는¹⁴⁾, 주사전자현미경 관찰, 광학현미경 관찰, 표면 미세경도의 측정, 용해된 칼슘과 인의 정량적 측정, 방사선 회절분석 등이 있다고 보고 되었는데, 이 연구에서는 재광화 효과를 측정할 방법 중, 치아우식증의 새로운 진단 기술인 레이저형광측정법의 하나인 Diagnodent 측정법을 이용하였다. 이 방법은 레이저를 조사한 치아에서 발생하는 형광을 측정하여 치아의 탈회 정도를 즉석에서 정량적으로 측정하는 방법으로서, 건전한 치질 보다 우식치질에서 발산하는 형광이 더 크다는 원리에 근거하는 레이저 형광측정법이다¹⁷⁻¹⁹⁾. Diagnodent 측정법의 신뢰도 및 타당도에 대한 국내외의 연구들을 보면, 이 측정법은 검사자내 또는 사이의 재현성이 높으며, 특이도와 민감도가 높아 우식진단기로서 임상적으로 우수하게 활용될 수 있다고 보고하고 있다³⁵⁻³⁸⁾.

이 연구에서 측정된 Diagnodent 점수의 변화를 보면, 전체적으로는 레이저 조사 후 재광화 효과에 의해 유의할 만한 점수의 감소가 있었고 레이저 조사 후와 불소 도포 후에 유의한 차이가 있었으며, 예상했던 대로 가장 고농도인 불소 젤 군이 점수가 가장 낮았으나, 불소군 간에는 유의한 차이는 없었던 것으로 볼 때, 이 연구에서 이용한 세 종류의 불소가 임상적으로 모두 효과적으로 이용될 수 있고, 특정 불소형태가 적용될 수 있는 연령, 필요 치아, 환자 및 술자의 선호도 등에 따라 선택할 수 있을 것이다.

이 연구는 탈회된 치아 표면이 재광화 될 수 있는 조건을 단지 레이저와 불소 화합물의 도포에 국한된 실험이었고, 미세경도의 변화나 Diagnodent 점수에 있어서 유의성 있는 변화는 없었지만, 개개인의 구강내 환경에서 재광화에 가장 영향을 미치는 타액의 조성 및 흐름성 등의 구강내 환경과 유사한 조건을 고려해 볼 때 레이저의 재광화 효과나 불소의 부가적인 효과에 있어서 보다 큰 변화를 기대해 볼 수 있을 것이라 생각한다.

주사현미경적 소견으로 레이저 조사시 법랑질 표면의 균열(crack)이 관찰되었는데, 여러 선행들의 연구에서 15J/cm² 이상에서 균열을 관찰할 수 있고, 20J/cm² 이상에서부터 미세한 균

열을 관찰하였고, 40J/cm²에서 산부식과 유사한 변화를, 80J/cm²에서 균열과 함께 유리와 같은 평활한 치면을 관찰하였다고 하였는데³⁹⁾, 내산성 증가에 효과적인 레이저 에너지 밀도에 관한 실험적 연구에서 모와 양³⁾은 10J/cm²에서 60J/cm² 까지 변화를 준 실험에서 50J/cm²가 가장 내산성이 컸다고 하였는데, 본 실험에서 조사한 레이저의 에너지는 50J/cm²로서 산성 음료수에 탈회된 법랑질 표면은 거친 표면을 보였고, 레이저가 조사되었을 때 법랑질 표면은 이전의 연구들³⁹⁻⁴¹⁾에서와 마찬가지로 열변성된 법랑질 표면은 미세한 균열과 분화구 모양, 녹아내린 용암(molten lava-like) 양상을 보였으며, 이상의 내용을 종합해 볼 때, 레이저 조사량의 차이는 있었으나 레이저 조사량이 증가함에 따라 법랑질 표면은 산부식 양상, 융합, 균열 및 분화구, 평활한 면의 순서로 표면 양상을 띠는 것 같았다. 이 실험에서는 법랑질의 표면을 육안적으로 변화시킬 만큼의 다소 높은 에너지의 레이저가 조사되었지만 선행들의 연구^{3,24)}에서 보면 20~50J/cm²의 에너지 조사는 법랑질의 표면에만 국한된 것이며 치수의 변화를 일으킬 만큼의 높은 에너지 밀도를 지니지 않는다고 사료된다. 또한 불소 도포 후 법랑질 표면이 레이저 조사 전의 표면에 가까워지면서 표면 경도의 변화와 재광화의 효과를 더할 수 있기 때문에 적절한 레이저의 조사는 법랑질의 물리형태학적인 변화 없이 불소 침착을 위한 법랑질 표면을 만들어 줄 수 있을 것으로 생각한다.

법랑질 표면의 재광화는 레이저의 조사와 불소 화합물의 이용 뿐 아니라 개인의 구강내 환경에 따라 달라질 수 있는데, 구강내 타액의 완충능과 성분, 자정작용에 의해 법랑질의 탈회에 영향을 줄 수 있고 탈회된 법랑질의 재광화에도 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 산성 음료수에 의해 탈회된 법랑질에 레이저 조사를 하고, 불소 도포를 통한 부가적인 효과에 대해 실험실적으로 제한적으로 이루어진 결과를 얻을 수 있었는데, 구강내 환경과 유사한 조건을 조성한 다양한 영향에 따른 법랑질의 재광화에 대한 연구가 앞으로 필요하리라 사료된다.

요약하면, 소아와 청소년에서 소비가 증가하고 있는 산성음료수에 의해 탈회된 법랑질 표면은 치아우식에 취약하고 표면경도가 약해지기 쉽다. 이러한 산성 탈회된 법랑질 표면에 Nd:YAG 레이저를 조사하면 법랑질 표면 구조를 변화시켜 재광화 효과를 증가시키고, 내산성을 획득할 수 있으며, 부가적으로, 레이저에 의해 변화된 법랑질의 침투성 및 표면구조에 불소를 도포함으로써 레이저의 효과를 증가시킬 수 있는 방법이 될 수 있을 것이다.

V. 결 론

연구 목적은 산성 음료수에 의해 탈회된 법랑질의 표면에 대한 Nd:YAG 레이저 조사의 재광화 효과와 불화물 도포의 효과를 평가하는 것이다. 교정치료를 목적으로 발거된 건전한 소구치의 평활면으로부터 법랑질 시편을 제작하고, 코카콜라에 6시간 동안 담가 탈회시켰다. 탈회된 법랑질 표면에 6W 출력,

50mJ, 20Hz pulse rate의 에너지 밀도로 Nd:YAG레이저를 조사하였다. 탈회 전후와 레이저 조사 후에 미세경도 및 Diagnodent 점수를 측정 한 후, 0.05% 불소 용액, 1.23% 불소 젤, 0.1% 불소 바니쉬 중의 한 가지를 도포하였으며 미세경도 및 Diagnodent 측정을 통하여 레이저의 재광화 효과와 불소의 효과를 평가하였다. 탈회 후, 레이저 조사 후 그리고 불소 도포 후의 법랑질 표면을 주사전자현미경으로 1500배 확대하여 관찰하였다.

1. 미세경도의 변화에서, 탈회 후의 경도는 초기 경도의 34.68%로 감소하였고, 레이저 조사 후의 경도는 초기 경도의 78.37%로 증가하였으며, 불소 도포 후의 경도는 초기 경도의 82.62%로 증가하였고, 레이저 조사 후와 불소 도포 후 사이를 제외하고 나머지 측정치 사이에는 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 불소 도포 후 경도에서 불소군 간의 차이는 모두 유의하지 않았다.
2. Diagnodent 측정치의 변화에서, 탈회 후에는 초기 점수의 28.08%로 감소하였고, 레이저 조사 후에는 초기 점수의 59.81%로 증가하였으며, 불소 도포 후에는 초기 점수의 82.17%로 증가하였고, 초기 점수, 탈회 후 점수, 레이저 조사 후의 점수, 불소 도포 후의 점수 간에 모두 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 불소 도포 후 점수에서 불소 군 간의 차이는 모두 유의하지 않았다.
3. 주사전자현미경상에서 Nd:YAG 레이저가 조사된 법랑질 표면은 법랑질이 열 변화에 의해 녹아내린 용암과 분화구와 같은 양상을 보였으며, 균열과 많은 미세소공들이 관찰되었다. 소아와 청소년에서 산성음료수에 노출되어 탈회된 치아표면에 레이저를 조사하여, 약해지고 결함이 있는 법랑질 표면 구조를 변화시켜 재광화 효과를 증가시키고, 보다 내산성을 증가시킬 수 있으며, 더불어 불화물의 병용처치는 레이저의 효과를 증가시키는 부가적인 효과를 얻을 수 있다.

참고문헌

1. Goldman L, Hornby P, Meyer R, et al : Impact of the laser on dental caries. Nature, 302:417, 1964.
2. Stern RH, Sognnaes RF : Laser inhibition of dental caries suggested by first tests in vivo. J Am Dent Assoc, 85:1087-1090, 1972.
3. 모현철, 양규호 : Nd:YAG 레이저 조사와 불소도포가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한소아치과학회지, 19:141-152, 1992.
4. Featherstone JD : What is the future of lasers in dentistry? Quintessence International, 27:286-191, 1996.
5. Hossamin M, Nakamura Y, Kinoshita J : A study on acquired acid resistance of enamel and dentin irradiated by Er, Cr:YSGG laser. J Clin Laser Med

- Surg, 19:159-163, 2001.
6. Raija Rauhamaa-Mäkinen, Jukka H. Meurman, Marita luomanen, et al : Irradiation of human dental tissues with CO₂-, Nd:YAG- and CO₂-Nd:YAG combination laser. Scand J Dent Res, 99:470-475, 1991.
7. Anderson JR, Ellis RW, Blankenau RJ, et al : Caries resistance in enamel by laser irradiation and topical fluoride treatment. J Clin Laser Med Surg, 18:33-36, 2000.
8. Tagomori S, Morioka T : Combined effect of laser and fluoride on acid resistance of human. Caries Res, 23:225-231, 1989.
9. Oho T, Morioka T : A Possible mechanism of acquired acid resistance of human dental enamel by laser irradiation. Caries Res, 24:86-92, 1990.
10. Hossamin Y, Kimura T, Kawanaka : Effect of pulsed Nd:YAG laser irradiation on acid demineralization of enamel and dentin. J Clin Laser Med Surg, 19:105-108, 2001.
11. 백병주, 배태성, 권선자 등 : Nd:YAG 레이저 조사에 따른 법랑질의 변화에 관한 실험적 연구. 대한소아치과학회지, 19:521-536, 1992.
12. Arends J, ten Bosch JJ : Demineralization and remineralization evaluation techniques. J Dent Res, 71(Spec Iss):924-928, 1992.
13. Shaw L, Smith A : Erosion in children : An increasing clinical problem? Dental Update, Apr:103-106, 1994.
14. Levy SM, Warren JJ, Broffitt B, et al : Fluoride, Beverages and Dental Caries in Primary Dentition. Caries Res, 37:157-165, 2003.
15. Millward A, Shaw L, Smith A : Dental erosion in four-year-old children from differing socioeconomic backgrounds. J Dent Child, Jul-Aug:263-266, 1994.
16. O'Sullivan EA, Curzon MEJ : A comparison of acidic dietary factors in children with and without dental erosion. J Dent Child, May-June:186-193, 2000.
17. 김성형, 이광희, 김대업 등 : 레이저 형광측정을 통한 Diagnodent의 우식진단에 관한 생체외 연구. 대한소아치과학회지, 27:24-31, 2000.
18. 이광희 : Diagnodent를 사용한 우식진단법의 검사자내 신뢰도에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 27:40-44, 2000.
19. 이광희 : Diagnodent를 사용한 우식진단법의 검사자간 신뢰도에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 28:668-671, 2001.

20. 대한구강내과학회 역 : 레이저 치의학, 지성출판사, 1996.
21. Lee BS, Lin CP, Lin FH : Effect of Nd-YAG laser irradiation on the hardness and elastic modulus of human dentin. *J Clin Laser Med Surg*, 21:41-46, 2003.
22. Stern RJ, Sognaes RF, Goodman F : Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility. *J Am Dent Assoc*, 73:838-848, 1966.
23. Yamamoto H, Sato K : Prevention of dental caries by acoustically Q-switched Nd:YAG laser irradiation. *J Dent Res*, 59:137, 1980.
24. 박준봉 : Pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불화물 도포가 초기 우식 법랑질의 표면경도에 미치는 영향. 전남대학교 논문집, 전남대학교 대학원, 1997.
25. 김순주, 이종갑 : 탄산가스 레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 12:9-20, 1985.
26. Yamamoto H, Ooya K : Potential of Yttrium-aluminium-garnet laser in caries prevention. *J Oral Path*, 3:7-15, 1974.
27. Lenz P, Glides H, Waltz R : Studies on enamel sealing with the CO₂ laser *Dtsch. Zahnarztl Z*, 37:467-478, 1982.
28. Oho T, Morioka T : Argon laser irradiation increases the acid resistance of human enamel. *J Dent Health*, 37:283-288, 1987.
29. 민신흥, 손동수 : Neodymium: Yttrium- Aluminium-Garnet(Nd:YAG)레이저 조사가 불화석 국소도포에 미치는 효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 13:109-117, 1986.
30. Na mmour S, Rennebog-Squibin C, Nyssen-Behets C : Increased resistance to artificial caries-like lesions in dentin treated CO₂ laser. *Caries Res*, 26:170-175, 1992.
31. Tagomori S, Iwease T : Ultrastural change of enamel exposed to normal pulsed Nd:YAG laser. *Caries Res*, 29:513-520, 1995.
32. 이상대, 홍석진 : 불화물 도포에 의한 법랑질의 표면변화와 불소함량에 관한 연구. *전남치대 논문집*, 1:283-302, 1989.
33. A. Millward, L. Shaw, A. Smith: Dental erosion in four-year-old children from differing sciooeconomic backgrounds. *J Dent Child*, Jul-Aug:263-266,1994.
34. 안호영, 이광희, 김대업 : 산성 음료에 의한 법랑질의 침식과 인공타액에 의한 재광화. *대한소아치과학회지*, 29:84-91, 2002.
35. A. Lussi, S. Imwinkelried, N. Pitts et al : Histological validation of in vivo measurements using the Diagnodent device. *Caries Res*, 33:295-300, 1999.
36. 김성형, 이광희, 김대업 등 : 이산화탄소 레이저의 우식 억제효과에 대한 레이저형광측정 평가. *대한소아치과학회지*, 30:153-169, 2003.
37. Shi XQ, Tranæus S, Angmar-Månsson B : Validation of DIAGNdent for quantification of smooth-surface caries: an invitro study. *Acta Odontol Scand*, 59:74-78, 2001.
38. Attrill DC, Ashley PF : Occlusal caries detection in primary teeth: a comparison of DIAGNdent with conventional methods. *Br Dent J*, 190:440-443, 2001.
39. 이안희, 기우천 : Pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불화물 도포가 치아내산성에 미치는 영향. *대한구강내과학회지*, 20:429-441, 1995.
40. Hossamin M, Nakamura Y, Kawanaka T : Effect of pulsed Nd:YAG laser irradiation on acid demineralization of enamel and dentin. *J Clin Laser Med Surg*, 19:105-108, 2001.
41. Pelino JE, Mello JB, Eduardo CP, et al : In vitro study of the Nd:YAG laser effect on human dental enamel: optical and scanning electron microscope analysis. *J Clin Laser Med Surg*, 17:171-177, 1999.

사진부도

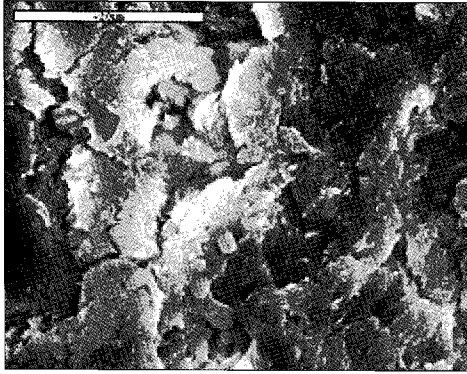


Fig. 1. Representative SEM photographs of enamel surface immersed in Coca-cola for 12 hours. Demineralized enamel surface was denuded irregularly.

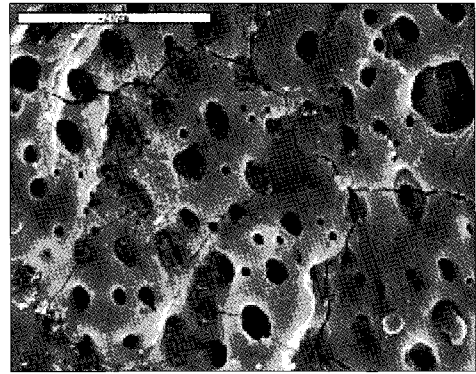


Fig. 2. Representative SEM photographs of enamel surface irradiated with Nd:YAG laser. There were many crater with cracks and heat-induced microholes around the crater.

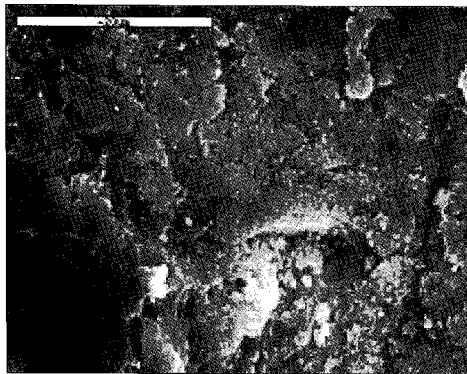


Fig. 3. Representative SEM photographs of enamel surface treated with 0.05% NaF solution for 6 hours. The enamel surfaces showed partly recrystallized appearance with amorphous crystals.

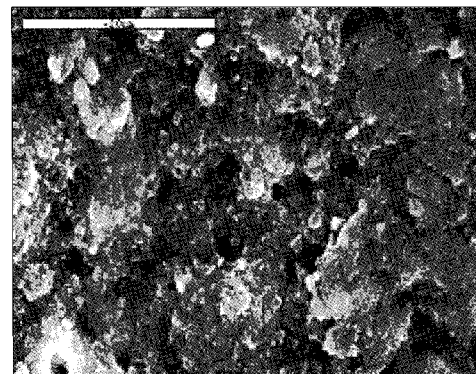


Fig. 4. Representative SEM photographs of enamel surface treated with 1.23% APF gel for 4 minutes. The enamel surfaces showed recrystallized appearance with many crystals and the crystals were filled around craters and microholes.

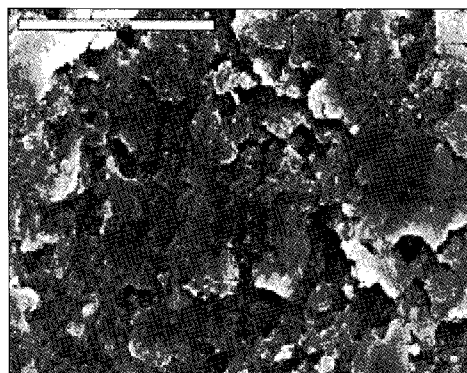


Fig. 5. Representative SEM photographs of enamel surface treated with 0.1% fluoride varnish. The enamel surfaces showed recrystallized appearance with amorphous crystals.

SEM Photographs of enamel surfaces(Original magnification, $\times 1500$; bar represent $20\mu\text{m}$).

Abstract

EFFECTS OF Nd:YAG LASER IRRADIATION AND FLUORIDE APPLICATION ON
REMINERALIZATION OF THE ENAMEL

Hyun Cho, D.D.S., M.S.D., Kwang-Hee Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Dae-Eop Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry,
Wonkwang Dental Research Institute, Wonkwang University*

The purpose of this *in vitro* study was to investigate the effects of Nd:YAG laser irradiation and fluorides on acid drink demineralized enamel. The materials were 30 freshly extracted permanent premolars with intact smooth enamel surfaces. They were demineralized with Coca-cola at 37°C for 12 hours and then irradiated by Nd:YAG laser with 6W power, 50mJ/cm² energy density, and 20Hz pulse repetition. After laser irradiation, teeth were treated by three kinds of fluorides: (1) 0.05% NaF fluoride solution (2) 1.23% APF gel and (3) 0.1%F fluoride varnish, microhardness (VHN) and Diagnodent scores were measured and the surfaces of each treated specimens were also observed with SEM under 1500 magnification.

The results were as follows:

1. In the change of microhardness (VHN), it decreased to 34.68% from the initial microhardness, increased to 78.37% after laser irradiation and increased to 82.62% after fluoride treatment, there were significant differences except when it was irradiated and treated with fluoride ($P < 0.05$).
2. In the change of Diagnodent scores, it was decreased to 28.08% from the initial scores after demineralization, and then increased to 59.81% after laser irradiation, and increased to 82.17% after fluoride treatment. Scores were different significantly between the scores of initial, demineralization, laser irradiation and fluoride treatment ($P < 0.05$). All the scores were not different significantly between fluoride types.
3. SEM observation showed that the lasered enamel surfaces after demineralization were thermally degenerated and showed molten lava-like appearance and crater with cracks and many microholes.

Key words : Nd:YAG laser, Fluoride, Remineralization of the enamel