

# 이산화탄소 레이저의 우식 억제 효과에 대한 레이저형광측정 평가

김성형 · 이광희 · 김대업 · 이지영 · 송인경

원광대학교 치과대학 소아치과학교실, 원광치의학연구소

## 국문초록

연구의 목적은 이산화탄소 레이저의 유치 법랑질 탈회 억제 및 재경화 효과를 레이저형광측정법을 사용하여 평가하는 것이었다. 사람 유치의 건전 평할면으로부터 법랑질 시편을 제작하여, 코카콜라에 담가 24시간 탈회시키는 전후에 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파, 3W 또는 6W로 4초간 직경 약 2 mm의 조사점에 이산화탄소 레이저를 조사하고, Diagnodent 측정을 통하여 탈회억제효과와 재경화 효과를 평가하였다. 탈회된 법랑질에 대한 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파 조사의 재경화 효과는 두 군 사이에 유의한 차이가 없었으며 모두 탈회 전과 유의한 차이가 없는 수준으로 감소하였다. 건전 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파 조사의 탈회 억제 효과에서 3W군은 탈회 후의 측정치가 유의하게 증가하였고( $P<0.05$ ), 6W군은 탈회 후 유의한 증가가 없었다. 탈회된 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파 조사의 재경화 효과에서 3W군은 레이저 조사 후 유의하게 감소하였으나 탈회 전보다 유의하게 컸고( $P<0.05$ ), 6W군은 레이저 조사 후 유의하게 감소하였고( $P<0.05$ ) 탈회 전과 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 유치 법랑질의 색은 6W로 탈회 후 조사하였을 때 갈색 내지 검은색으로 변색되었고 탈회 전 조사하였을 때 갈색으로 변색되었으며, 탈회 전과 후에 3W로 조사하였을 때에는 색의 변화가 없었다.

**주요어 :** 이산화탄소 레이저, 유치, 탈회, 재경화, 형광

## 1. 서 론

치의학 분야에서 레이저는 주로 구강 연조직 질환의 처치에 사용되어 왔으나 최근에는 치아 경조직을 포함하여 적용 범위가 넓어지고 있다. 소아치과학에서는 어린이와 청소년기에 많이 발생하는 치아우식증과 관련하여 레이저를 활용하는 기술에 관한 연구가 필요할 것이라고 생각되었다. 이 중에서 저자의 연구는 이산화탄소 레이저(탄산가스 레이저, CO<sub>2</sub> laser, carbon dioxide laser)의 우식 억제 효과에 초점을 맞추었다.

이산화탄소 레이저와 치아우식증에 관한 1990년대 이후의 국외 연구들을 보면, Wong 등<sup>1)</sup>, Anic 등<sup>2)</sup>, Kantorowitz 등<sup>3)</sup>, Hossain 등<sup>4)</sup>, Featherstone 등<sup>5)</sup>은 치아 표면에 대한 이산화탄소 레이저의 조사(照射, irradiation)가 산에 의한 치아 탈회를 억제하는 효과가 있다고 보고하였고, Takahashi 등<sup>6)</sup>은 이산화탄소 레이저 조사 후 치질의 칼슘과 인 함량이 유의하게 증가하였다고 하였으며, Walsh와 Perham<sup>7)</sup>은 이산화탄소 레이저를 열구에 조사하였을 때 건전 열구에 대하여는 전색 효과가, 초기 우식 열구에 대하여는 치료 효과가 있었다고 하였다.

또한, Fox 등<sup>8)</sup>, Kakade 등<sup>9)</sup>, Hsu 등<sup>10)</sup>, Hossain 등<sup>11)</sup>은 불소와 이산화탄소 레이저를 동시에 적용하면 치아의 탈회 억제에 상승효과가 있었다고 보고하였고, Meurman 등<sup>12)</sup>은 불소와 합성 수산화인회석을 혼합하여 이산화탄소 레이저로 조사한 후

수산화인회석이 불화인회석으로 변화되었음을 관찰하였다. 한편, Konishi 등<sup>13)</sup>은 이산화탄소 레이저로 우식을 제거하였을 때 기계적 제거에 비해 2차 우식에 대한 저항이 증가하였다고 하였다. 국내에서는 김과 이<sup>14)</sup>가 이산화탄소 레이저 조사의 치아 내산성 증가 효과를 보고하였고, 이와 이<sup>15)</sup>가 이산화탄소 레이저 조사의 초기우식 진행억제 효과를 보고한 바가 있다.

이 연구들은 이산화탄소 레이저의 조사 조건이 다양하였고, 레이저 조사의 효과를 평가하기 위하여 주사전자현미경 관찰, 광학현미경 관찰, 표면미세경도 측정, 용해된 칼슘과 인의 정량적 측정, 방사선 회절분석 등 다양한 실험적 방법을 사용하였기 때문에 연구결과의 상호 비교나 임상적 적용에 한계가 있었다.

한편, 치아우식증의 새로운 진단 기술인 레이저형광측정법<sup>16-20)</sup>은 레이저를 조사한 치아에서 발생하는 형광을 측정하여 치아의 탈회 정도를 측색에서 정량적으로 측정하는 방법으로서, 최근에 개발된 Diagnodent<sup>21-23)</sup>는 종래의 아르곤 레이저 대신에 저출력 적색 반도체 레이저를 사용하고 형광의 스펙트럼 분석 대신에 형광의 총 강도를 측정하는 방법을 사용하여 임상적 우식진단기구로 실용화되었다. 이산화탄소 레이저의 우식억제효과를 레이저형광측정법으로 평가한다면 타당도와 신뢰도가 높으면서 임상적으로 활용할 수 있는 유용한 정보를 간편하게 얻을 수 있을 것이라고 기대되었다.

이에 저자는 이산화탄소 레이저의 유치 법랑질 탈회 억제 및

재경화 효과에 대하여 레이저형광측정법을 사용한 평가를 하고, 다소의 지견을 얻었기에 그 결과를 보고한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구재료

유치 법랑질의 탈회 억제 및 재경화에 사용된 이산화탄소레이저(NS-1030 CO<sub>2</sub> Laser System, Megreen Co., Ltd, Korea)는 레이저 매질로서 이산화탄소 가스가 관 속에 밀봉되어 있고 여기(excitation) 방식은 고압직류방전을 채택하고 있으며 지시빔(aiming beam)은 3 mW 적색 He-Ne laser를 사용하고 있다. 파장은 10.6 μm이며, 연속파(Continuous Wave)는 1~30W의 레이저를, 펄스파(superpulse)는 1~6W의 레이저를 펄스폭 150 μsec, 펄스당 에너지 200 mJ로 방사하고, operating mode는 연속(continuous), 단발(pulse), 반복(repeat)로 구성되어 있다.

유치 법랑질 표층의 탈회 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.

### 2. 연구방법

#### 가. 법랑질 시편의 제작

발거 후 생리식염수에 넣어 냉장 보관한 사람 유치의 건전 평활면으로부터 가로와 세로의 크기가 각각 약 3 mm인 법랑질 시편을 고속 핸드피스로 수주 냉각 하에 분리하였다. 사각형으로 자른 아크릴판의 한 면에 함요부를 형성한 후 교정용 상온 중합 레진을 사용하여 법랑질면이 노출되도록 시편을 매몰하였다. 제작된 시편은 생리식염수에 담가 냉장 보관하였다.

#### 나. 유치 법랑질의 탈회 양상의 관찰

Diagnodent의 레이저 핸드피스에 평활면용 tip을 끼우고, 제조회사에서 제공한 standard로 calibration을 한 후, 유치 법랑질 시편 10개의 중앙부위를 3회 이상 반복 측정하고 가장 높은 측정치를 기록하였다. 코카콜라를 50 ml 플라스틱 시험관(Falcon, USA) 10개에 30 ml씩 넣고 유치 법랑질 시편을 각 시험관에 한 개씩 넣은 다음 37℃에서 탈회시키면서 6시간 탈회 후, 12시간 탈회 후, 24시간 탈회 후, 48시간 탈회 후에 각각 위와 동일한 방법으로 Diagnodent 측정을 실시하였다.

다. 탈회된 유치 법랑질에 대한 정춑점 연속파 또는 탈춑점 펄스파 6W 이산화탄소 레이저 조사의 재경화 효과에 대한 실험

유치 법랑질 시편 20개를 1주일간 실온에서 건조시킨 후 및

24시간 동안 실온에서 생리식염수에 담근 후에 각각 Diagnodent 측정을 실시하였다. 그 후 코카콜라를 50 ml 플라스틱 시험관(Falcon, USA) 20개에 30 ml씩 넣고 유치 법랑질 시편을 각 시험관에 한 개씩 넣은 다음 37℃에서 24시간 탈회시킨 후에 Diagnodent 측정을 실시하였다. 이어서 탈회된 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2 mm 부위를 10개는 정춑점 연속파, 10개는 탈춑점 펄스파의 6W 이산화탄소 레이저로 4초간 조사한 후 각각 Diagnodent 측정을 실시하였다.

라. 건전 유치 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈춑점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 탈회억제효과에 대한 실험

유치 법랑질 시편 20개를 1주일간 실온에서 건조시킨 후 및 24시간 동안 실온에서 생리식염수에 담근 후에 각각 Diagnodent 측정을 실시하였다. 그 후 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2 mm 부위를 10개는 3W의, 10개는 6W의 탈춑점 펄스파 이산화탄소 레이저로 4초간 조사한 후 각각 Diagnodent 측정을 실시하였다. 이어서 코카콜라를 50 ml 플라스틱 시험관 20개에 30 ml씩 넣고 시편을 넣은 다음 37℃에서 24시간 탈회시킨 후에 Diagnodent 측정을 실시하였다.

마. 탈회된 유치 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈춑점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 재경화 효과에 대한 실험

유치 법랑질 시편 10개를 1주일간 실온에서 건조시킨 후 및 24시간 동안 실온에서 생리식염수에 담근 후에 각각 Diagnodent 측정을 실시하였다. 그 후 위와 동일한 방법으로 탈회시킨 후 Diagnodent 측정을 실시하였다. 이어서 탈회된 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2 mm 부위를 탈춑점 3W 펄스파로 4초간 조사한 후 Diagnodent 측정을 실시하고, 그 결과를 위 '다'의 실험결과 중 6W 탈춑점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사 결과와 비교하였다.

바. 레이저형광측정에서 습기의 영향 분석

이상 실험의 결과에서 유치 법랑질 시편을 1주일간 실온에서 건조시킨 경우(건조 시편)와 24시간 동안 실온에서 생리식염수에 담근 경우(젖은 시편)의 Diagnodent 측정치를 비교하여 Diagnodent 측정치에 대한 습기의 영향을 분석하였다.

사. 유치 법랑질 색조에 대한 이산화탄소 레이저 조사의 영향 관찰

이산화탄소 레이저를 조사한 후 유치 법랑질의 색조 변화 상태를 육안으로 관찰 기록하였다.

아. 통계 분석

윈도우용 SPSS 9.0을 이용하여 각 Diagnodent 측정치의 평균과 표준편차를 산출하고, 각 측정치 평균간 차이의 유의성을 분산분석과 사후 검정(최소유의차 검정법, LSD) 및 t 검사를 통해 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 유치 법랑질의 탈회 양상

유치 법랑질 시편을 코카콜라에 담그고 37℃에서 탈회시켰을 때, Diagnodent 측정치는 탈회 전 5.3, 6시간 탈회 후 9.6, 12시간 탈회 후 11.6, 24시간 탈회 후 18.5, 48시간 탈회 후 20.6으로서, 탈회 전에 비해 각각 1.8, 2.2, 3.5, 3.9배로 증가한 패턴을 나타내어, 탈회 후 12시간과 24시간 사이의 증가가 가장 컸다(Table 1).

2. 탈회된 유치 법랑질에 대한 정초점 연속파 또는 탈초점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 재경화 효과

탈회된 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2 mm 부위를 정초점 6W 연속파로 4초간 조사한 경우와 탈초점 6W 펄스파로 4초간 조사한 경우를 비교하였을 때, 탈회 전 건조 시편, 탈회 전 젖은 시편, 탈회 후, 레이저 조사 후의 측정치가 정초점 연속파의 경우는 각각 9.3, 5.6, 20.4, 7.1이었고, 탈초점 펄스파의

경우는 각각 9.3, 5.3, 18.5, 6.3으로서, 두 군 모두 레이저 조사 후의 측정치가 탈회 전의 측정치와 유의한 차이가 없는 수준으로 감소하였으며, 각 측정시점에서 두 군 간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05)(Table 2).

3. 건전 유치 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈초점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 탈회억제 효과

건전 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2 mm 부위를 3W 또는 6W 탈초점 펄스파로 4초간 조사한 후 탈회시킨 경우를 비교하였을 때, 레이저 조사 전 건조 시편, 레이저 조사 전 젖은 시편, 레이저 조사 후, 탈회 후의 측정치가 3W의 경우는 각각 9.3, 5.2, 7.4, 17.8이었고, 6W의 경우는 각각 9.3, 7.3, 8.1, 9.7로서, 3W군은 레이저 조사 전에 비해 레이저 조사 후 및 탈회 후의 측정치가 모두 유의하게 증가하였고(P<0.05) 특히 탈회 후의 측정치가 크게 증가하였으나, 6W군은 레이저 조사 전과 레이저 조사 후 사이 및 레이저 조사 후와 탈회 후 사이에 유의한 차이가 없었으며(P>0.05), 두 군의 레이저 조사 후의 측정치 간에는 유의한 차이가 없었으나(P>0.05) 탈회 후의 측정

**Table 1.** Demineralization pattern of primary tooth enamel

Demineralization* time	Diagnodent test scores	Ratio
0 hour(s)	5.3±1.3 <sup>a</sup>	1
6	9.6±2.3 <sup>b</sup>	1.8
12	11.6±3.1 <sup>c</sup>	2.2
24	18.5±3.8 <sup>d</sup>	3.5
48	20.6±2.5 <sup>e</sup>	3.9

Mean±SD; N = 10

Values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05)

\* : immersed in Coca-Cola at 37℃ for 24 hours

**Table 2.** Rehardening effect of focused continuous wave or defocused superpulse CO<sub>2</sub> laser irradiation on demineralized primary tooth enamel

	Diagnodent test scores	
	Focused, CW <sup>1</sup>	Defocused, SP <sup>2</sup>
Dry specimens <sup>3</sup>	9.3±3.1 <sup>a①</sup>	9.3±2.8 <sup>a①</sup>
Wet specimens <sup>4</sup>	5.6±1.8 <sup>b②</sup>	5.3±1.3 <sup>b②</sup>
After demineralization <sup>5</sup>	20.4±10.8 <sup>c③</sup>	18.5±3.8 <sup>c③</sup>
After laser irradiation	7.1±2.6 <sup>ab④</sup>	6.3±1.7 <sup>ab④</sup>

Mean±SD; N = 10

Values in columns having the same letter<sup>(a)</sup> were not significantly different (P>0.05)

Values in rows having the same letter<sup>(①)</sup> were not significantly different (P>0.05)

1 : focused 6W continuous wave for 4 seconds; diameter of irradiated area : c. 2 mm

2 : defocused 6W superpulse for 4 seconds; spot size : c. 2 mm

3 : dried at room temperature for one week

4 : immersed in the physiologic saline solution for 24 hours

5 : immersed in Coca-Cola at 37℃ for 24 hours

치는 3W군이 6W군보다 유의하게 컸다 (P<0.05) (Table 3).

4. 탈회된 유치 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 재경화 효과

탈회된 유치 법랑질 시편을 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파로 4초간 조사한 경우를 비교하였을 때, 탈회 전 건조 시편, 탈회 전 젖은 시편, 탈회 후, 레이저 조사 후의 측정치가 3W의 경우는 각각 9.4, 3.4, 16.7, 10.5이었고, 6W의 경우는 각각 9.3, 5.3, 18.5, 6.3으로서, 3W군은 레이저 조사 후에 탈회 후보다 유의하게 감소하였으나(P<0.05) 탈회 전에 비해 유의하게 컸고(P<0.05), 6W군은 레이저 조사 후에 탈회 후보다 유의하게 감소하였고(P<0.05) 탈회 전과 유의한 차이가 없었으며 (P>0.05), 두 군의 탈회 후의 측정치 간에는 유의한 차이가 없었으나(P>0.05) 레이저 조사 후의 측정치는 3W군이 6W군보다 유의하게 컸다(P<0.05)(Table 4).

5. 레이저형광측정에서 습기의 영향

유치 법랑질 시편을 1주일간 실온에서 건조시킨 경우(건조 시편)와 24시간 동안 실온에서 생리식염수에 담근 경우(젖은 시편)의 Diagnodent 측정치를 비교하여 Diagnodent 측정치에 대한 습기의 영향을 분석하였을 때, 건조 법랑질에서는 건조 시편이 9.3, 젖은 시편이 5.4로서 1.7 대 1의 비율을 나타내었고, 탈회 법랑질에서는 각각 35.9, 20.4로서 1.8 대 1의 비율을 나타내었다(Table 5).

6. 유치 법랑질 색조에 대한 이산화탄소 레이저 조사의 영향

탈회 후 6W 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파로 4초간 조사하고 시편을 육안적으로 관찰하였을 때 갈색 내지 검은색으로 변색되었고, 3W 탈촉점 펄스파로 4초간 조사하였을 때에는 색의 변화가 없었으며, 탈회 전에 탈촉점 펄스파로 조사하였을 때에는 6W로 4초간 조사한 경우에 갈색으로 변색되었고 3W로 4초간 조사한 경우에는 색의 변화가 없었다(Table 6).

**Table 3.** Inhibitory effect of 3W or 6W defocused superpulse CO<sub>2</sub> laser irradiation on demineralization of sound primary tooth enamel

	Diagnodent test scores	
	3 W	6 W
Dry specimens	9.3±2.4 <sup>a③</sup>	9.3±2.1 <sup>ab③</sup>
Wet specimens	5.2±1.4 <sup>b③</sup>	7.3±1.8 <sup>a⑥</sup>
After laser irradiation1	7.4±2.6 <sup>c③</sup>	8.1±1.8 <sup>ab⑥</sup>
After demineralization2	17.8±1.9 <sup>d③</sup>	9.7±1.7 <sup>b⑥</sup>

Mean±SD; N = 10

Values in columns having the same letter<sup>(\*)</sup> were not significantly different (P>0.05)

Values in rows having the same letter<sup>(③)</sup> were not significantly different (P>0.05)

1 : defocused superpulse for 4 seconds; spot size : c. 2 mm

2 : immersed in Coca-Cola at 37°C for 24 hours

**Table 4.** Rehardening effect of 3W or 6W defocused superpulse CO<sub>2</sub> laser irradiation on demineralized primary tooth enamel

	Diagnodent test scores	
	3 W	6 W
Dry specimens	9.4±2.5 <sup>a②</sup>	9.3±2.8 <sup>a②</sup>
Wet specimens	3.4±0.7 <sup>b②</sup>	5.3±1.3 <sup>b②</sup>
After demineralization1	16.7±2.1 <sup>c②</sup>	18.5±3.8 <sup>c②</sup>
After laser irradiation2	10.5±2.2 <sup>a②</sup>	6.3±1.7 <sup>b②</sup>

Mean±SD; N = 10

Values in columns having the same letter<sup>(\*)</sup> were not significantly different (P>0.05)

Values in rows having the same letter<sup>(②)</sup> were not significantly different (P>0.05)

1 : immersed in Coca-Cola at 37°C for 24 hours

2 : defocused superpulse for 4 seconds; spot size : c. 2 mm

**Table 5.** Effect of moisture on Diagnodent test scores of primary tooth enamel

Enamel	Moisture	N	Diagnodent test scores	Ratio
Sound	Dry <sup>1</sup>	50	9.3±2.6 <sup>a</sup>	1.7
	Wet <sup>2</sup>	50	5.4±1.9 <sup>b</sup>	1
Demineralized <sup>3</sup>	Dry	10	35.9±8.6 <sup>a</sup>	1.8
	Wet	10	20.4±10.8 <sup>b</sup>	1

Mean±SD

Values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05)

1 : dried at room temperature for one week

2 : immersed in the physiologic saline solution at room temperature for 24 hours

3 : immersed in Coca-Cola at 37°C for 24 hours

**Table 6.** Effect of CO<sub>2</sub> laser irradiation on color of primary tooth enamel

Laser irradiation condition	Color change
Laser irradiation after demineralization	
6W for 4 seconds	
Focused continuous wave	Brown to black discoloration
Defocused superpulse	Brown to black discoloration
3W for 4 seconds	
Defocused superpulse	No change
Laser irradiation before demineralization	
Defocused superpulse	
6W for 4 seconds	Brown discoloration
3W for 4 seconds	No change

#### IV. 총괄 및 고찰

이산화탄소 레이저를 사용한 치아우식증의 발생 억제 가능성에 관한 1990년대 이후의 국외 연구들<sup>1-6)</sup>을 보면, 이산화탄소 레이저의 조사가 치아 표면의 내산성을 증가시켜 산에 의한 치아의 탈회를 억제하는 효과가 있다는 것을 공통적으로 보고하고 있다. 국내에서도 김과 이<sup>14)</sup> 및 이와 이<sup>15)</sup>가 이와 일치된 결과를 보고하였다.

그러나, 지금까지의 연구들은 이산화탄소 레이저 조사의 우식 억제 효과를 평가하기 위하여 다양한 실험적 방법을 사용하였으며, 방법의 복잡성과 차이로 인해 연구결과의 상호 비교가 어려웠을 뿐 아니라 연구결과의 임상 적용에 한계가 있었다. 이에 저자는 레이저형광측정법에 근거하여 개발된 임상적 우식진단기구인 Diagnodent를 측정도구로서 사용하는 방법을 고안하였다.

레이저형광(laser fluorescence, LF) 측정<sup>16-20)</sup>은 초록색의 가시광선 레이저인 아르곤 이온 레이저를 사용하여 초기 우식병소를 탐지하기 위한 기술로 고안되었으며, 초기의 정성적 단계를 거쳐 정량적인 레이저형광 측정(quantitative laser fluorescence, QLF)<sup>16)</sup> 기술로 발전하였고, 염료와 레이저를 함께 사용하는 방법(dye-enhanced laser fluorescence, DELF)<sup>17)</sup>을 거쳐, 구강내 카메라와 컴퓨터를 사용하는 영상분석 시스템을 연결하는 기술<sup>18)</sup>까지 발전하였으나, 실용성에 한계가 있었다.

이 레이저형광측정법이 우식진단기술로서 임상적으로 실용화된 것은, 부피가 크고 고가인 아르곤 이온 레이저 대신에 저출력의 적색 반도체 레이저 광원을 사용하고, 형광의 영상분석이나 분광분석 대신에 형광의 총 강도를 측정하는 방법을 사용한 Diagnodent<sup>21-29)</sup>의 개발에 따른 것이다. Diagnodent는 건전치질에 비해 우식병소에서 형광의 강도가 더 크다는 점에 근거하고 있으며, 형광의 총 강도를 소리와 숫자로 표시하여 검사결과를 즉시 알 수 있다.

저자는 이산화탄소 레이저의 우식억제효과를 건전한 유치 범랑질의 탈회를 억제하는 효과와 이미 탈회된 유치 범랑질의 재경화 효과로 나누어 연구하였다. 재경화의 경우에는 탈회된 치아 병소에 무기질의 재침착이 일어나는 것을 의미하나, 이 연구에서는 이산화탄소 레이저의 조사 자체에 의해 치아 표면이 변화되는 것을 측정하였기 때문에 재경화라고 하였다.

이산화탄소 레이저의 조사 조건은 기존 연구들에서는 연구자에 따라 매우 다양하나, 저자는 실제 임상 시술에 사용되는 형식에 가깝도록 설정하였다. 이산화탄소 레이저는 비접촉식 레이저로서 정춍점 방식과 탈춍점 방식으로 사용할 수 있으므로<sup>30)</sup> 두 가지 방법을 비교하였고, 연속파와 펄스파를 비교하였으며, 탈춍점 방식의 경우에는 조사점 크기를 직경 약 2mm의 원으로 설정하였다.

유치 범랑질을 탈회시키는 산성 용액으로 대표적인 산성 음

료인 코카콜라를 선택하였고, 적절한 탈회시간을 알아내기 위하여 48시간 동안 탈회 패턴을 관찰한 후 탈회의 증가 폭이 가장 컸던 24시간을 탈회시간으로 정하였다(Table 1). 탈회된 유치 법랑질에 대한 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파 이산화탄소 레이저 조사의 영향을 비교하였을 때 두 군 사이에 유의한 차이가 없었으므로, 조사점에 대한 균일하고 정확한 조사가 가능한 탈촉점 방식으로 이후 실험을 진행하였다(Table 2).

건전 유치 법랑질 시편 중앙의 직경 약 2mm 부위를 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파로 4초간 조사한 후 탈회시킨 경우를 비교하였을 때, 6W는 조사 전과 탈회 후 사이에 유의한 차이가 없을 만큼 억제효과가 있었으나, 3W는 억제효과가 거의 없었다(Table 3). 탈회 후 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파로 4초간 조사한 경우를 비교하였을 때, 6W는 탈회 전과 조사 후 사이에 유의한 차이가 없을 만큼 재경화 효과가 있었고, 3W는 탈회 후 보다는 조사 후에 유의한 감소가 있었지만 탈회 전보다는 유의하게 높아서 부분적인 재경화 효과가 있었다(Table 4).

유치 법랑질의 색은 6W로 탈회 후 조사하였을 때 갈색 내지 검은색으로 변색되었고 탈회 전 조사하였을 때 갈색으로 변색되었으며, 탈회 전과 후에 3W로 조사하였을 때에는 색의 변화가 없었다(Table 6). 이러한 변색은 임상적으로 우식예방처치를 할 때 허용될 수 없는 것이므로, 이산화탄소 레이저의 조사 강도의 상한선은 직경 2mm 조사점에 대해 6W로 4초간 조사하는 것보다 더 낮아야 한다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 기존 연구들의 결과와 직접 비교하는 것은 실험 조건들이 달랐기 때문에 어려웠다. 코카콜라로 24시간 탈회 시키고 6W로 4초간 레이저를 조사한 것은 이산화탄소 레이저 조사의 영향을 측정하기 쉽도록 실험 조건을 극단적으로 설정한 것으로서, 실제 구강에서 우식이 발생하는 조건이나 이산화탄소 레이저를 조사하는 조건과는 차이가 있다고 볼 수 있다.

Zuerlein 등<sup>31)</sup>은 이산화탄소 레이저 조사가 산 용해도를 감소시키는 것은 치아 무기질을 구성하는 수산화인회석(hydroxyapatite)으로부터 탄산이 상실되기 때문이라고 하였다. 탈회 후의 재경화가 일어나는 것은 레이저의 광열작용에 의하여 치질이 융합되면서 다공성이 감소하기 때문인 것으로 해석될 수 있을 것이다.

요약하면, 이산화탄소 레이저의 탈회억제 및 재경화 효과를 레이저형광측정법으로 평가하였으며, 이산화탄소 레이저의 우식억제효과 및 측정 도구로서 레이저형광측정법의 타당성을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

연구 목적은 이산화탄소 레이저의 유치 법랑질 탈회 억제 및 재경화 효과를 레이저형광측정법을 사용하여 평가하는 것이었다. 사람 유치의 건전 평활면으로부터 법랑질 시편을 제작하고, 코카콜라에 담가 24시간 탈회시키는 전후에 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파, 3W 또는 6W로 4초간 직경 약 2mm의 조사점에 이산화탄소 레이저를 조사하고, Diagnodent 측정을 통하

여 탈회억제효과와 재경화 효과를 평가하였다.

1. 탈회된 법랑질에 대한 정촉점 연속파 또는 탈촉점 펄스파 조사의 재경화 효과는 두 군 사이에 유의한 차이가 없었으며 모두 탈회 전과 유의한 차이가 없는 수준으로 감소하였다( $P>0.05$ ).
2. 건전 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파 조사의 탈회 억제 효과는 3W군은 탈회 후의 측정치가 유의하게 증가하였고( $P<0.05$ ), 6W군은 탈회 후 유의한 증가가 없었다( $P>0.05$ ).
3. 탈회된 법랑질에 대한 3W 또는 6W 탈촉점 펄스파 조사의 재경화 효과는 3W군은 레이저 조사 후 유의하게 감소하였으나 탈회 전보다 유의하게 컸고( $P<0.05$ ), 6W군은 레이저 조사 후 유의하게 감소하였고( $P<0.05$ ) 탈회 전과 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ).
4. 유치 법랑질의 색은 6W로 탈회 후 조사하였을 때 갈색 내지 검은색으로 변색되었고 탈회 전 조사하였을 때 갈색으로 변색되었으며, 탈회 전과 후에 3W로 조사하였을 때에는 색의 변화가 없었다

## 참고문헌

1. Wong J, Otsuka M, Higuchi WI, et al. : Effect of laser irradiation on the dissolution kinetics of hydroxyapatite preparations. *J Pharm Sci*, 79:510-515, 1990.
2. Anic I, Pavelic B, Vidovic D : Possibility of the application of CO<sub>2</sub> laser in the prevention of demineralisation of the enamel. *Acta Stomatol Croat*, 25:103-108, 1991.
3. Kantorowitz Z, Featherstone JD, Fried D : Caries prevention by CO<sub>2</sub> laser treatment: dependency on the number of pulses used. *J Am Dent Assoc*, 129:585-591, 1998.
4. Hossain M, Nakamura Y, Kimura Y, et al. : Acquired acid resistance of dental hard tissues by CO<sub>2</sub> laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg*, 17:223-236, 1999.
5. Featherstone JDB, Barrett-Vespone NA, Friel Z, et al : CO<sub>2</sub> laser inhibition of artificial caries-like lesion progression in dental enamel. *J Dent Res*, 77:1397-1403, 1998.
6. Takahashi K, Kimura Y, Matsumoto K : Morphological and atomic analytical changes after CO<sub>2</sub> laser irradiation emitted at 9.3 microns on human dental hard tissues. *J Clin Laser Med Surg*, 16:167-173, 1998.
7. Walsh LJ, Perham SJ : Enamel fusion using a carbon dioxide laser: a technique for sealing pits and fissures. *Clin Prev Dent*, 13:16-20, 1991.
8. Fox JL, Yu D, Otsuka M, et al. : Combined effects

- of laser irradiation and chemical inhibitors on the dissolution of dental enamel. *Caries Res*, 26:333-339, 1992.
9. Kakade A, Damle SG, Bhavsar JP, et al. : Combined effect of carbon-dioxide laser and neutral 2% NaF on acid resistance of human tooth enamel. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 14:26-30, 1996.
  10. Hsu J, Fox JL, Wang Z, et al. : Combined effects of laser irradiation/solution fluoride ion on enamel demineralization. *J Clin Laser Med Surg*, 16:93-105, 1998.
  11. Hossain MM, Hossain M, Kimura Y, et al. : Acquired acid resistance of enamel and dentin by CO<sub>2</sub> laser irradiation with sodium fluoride solution. *J Clin Laser Med Surg*, 20:77-82, 2002.
  12. Meurman JH, Hemmerle J, Voegel JC, et al. : Transformation of hydroxyapatite to fluorapatite by irradiation with high-energy CO<sub>2</sub> laser. *Caries Res*, 31:397-400, 1997.
  13. Konishi N, Fried D, Staninec M, Featherstone JD : Artificial caries removal and inhibition of artificial secondary caries by pulsed CO<sub>2</sub> laser irradiation. *Am J Dent*, 12:213-216, 1999.
  14. 김순주, 이종갑 : 탄산가스 레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 12:9-20, 1985.
  15. 이상호, 이종갑 : 레이저 조사의 치아우식 억제효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 18:1-19, 1991.
  16. de Josselin de Jong E, Sundström F, Westerling H, et al. : A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. *Caries Res*, 29:2-7, 1995.
  17. Ando M, Hall AF, Eckert GJ, et al. : Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res*, 31:125-131, 1997.
  18. Hall AF, DeSchepper E, Ando M, Stookey GK : In vitro studies of laser fluorescence for detection and quantification of mineral loss from dental caries. *Adv Den Res*, 11:507-514, 1997.
  19. Lagerweij M, van der Veen M, Ando M, et al. : The validity and repeatability of three light-induced fluorescence systems: an in vitro study. *Caries Res*, 33:220-226, 1999.
  20. Eggertsson H, Analoui M, van der Veen M, et al. : Detection of early interproximal caries in vitro using laser fluorescence, dye-enhanced laser fluorescence and direct visual examination. *Caries Res*, 33:227-233, 1999.
  21. Lussi A, Imwinklerried S, Pitts N, et al. : Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res*, 33:261-266, 1999.
  22. Shi XQ, Welander U, Angmar-Mansson B : Occlusal caries detection with KaVo DIAGNOdent and radiography: an in vitro comparison. *Caries Res*, 34:151-158, 2000.
  23. 김성형, 이광희, 김대업, 박종석 : 레이저형광측정을 통한 Diagnodent의 우식진단에 관한 생체의 연구. *대한소아치과학회지*, 27:24-31, 2000.
  24. 이광희 : Diagnodent를 사용한 우식진단법의 검사자내 신뢰도에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 27:40-44, 2000.
  25. 이광희 : 레이저형광 우식진단법의 검사자간 신뢰도에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 28:668-672, 2001.
  26. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. *Caries Res*, 35:21-26, 2001.
  27. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Validation of DIAGNOdent for quantification of smooth-surface caries: an in vitro study. *Acta Odontol Scand*, 59:74-78, 2001.
  28. Lussi A, Megert B, Longbottom C, et al. : Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. *Eur J Oral Sci*, 109:14-9, 2001.
  29. Attrill DC, Ashley PF : Occlusal caries detection in primary teeth: a comparison of DIAGNOdent with conventional methods. *Br Dent J*, 190:440-443, 2001.
  30. 대한구강내과학회역 : 레이저 치의학, 지성출판사, 113-115, 1996.
  31. Zuerlein MJ, Fried D, Featherstone JD : Modeling the modification depth of carbon dioxide laser-treated dental enamel. *Lasers Surg Med*, 25:335-347, 1999.

---

**Reprint request to:**

**Kwang-Hee Lee**, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University,  
344-2 Sinyongdong, Iksan, Jeollabukdo 570-749 Republic of Korea

E-mail : kwhelee@wonkwang.ac.kr

**Abstract**

**Effect of CO<sub>2</sub> Laser on Caries Inhibition  
Evaluated by Laser Fluorescence Measurement**

Seong-Hyeong Kim, Kwang-Hee Lee, Dae-Eop Kim, Ji-Young Lee, In-Kyung Song

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

The purpose of study was to evaluate the effects of the CO<sub>2</sub> laser irradiation on demineralization inhibition and rehardening of human primary tooth enamel by laser fluorescence measurement. Enamel specimens were made from the human primary teeth. The center spots of the specimens about 2 mm diameter were irradiated by CO<sub>2</sub> laser at the conditions of focused continuous or defocused pulsed, 3 or 6 W, for 4 seconds, before or after the demineralization by Coca-Cola for 24 hours at 37°C. The Diagnodent was used to measure the degree of demineralization and rehardening. There was no significant difference between focused continuous and defocused pulsed irradiation. 6W irradiation inhibited the demineralization but 3W did not. 6W irradiation rehardened the demineralized enamel but 3W did partially. The color of enamel was changed to brown to black after 6W irradiation but 3W caused no color change. CO<sub>2</sub> laser irradiation showed the effects on demineralization inhibition and rehardening of human primary tooth enamel, and the laser fluorescence measurement technique seemed to be a valid evaluation method.

**Key words** : CO<sub>2</sub> laser, Primary teeth, Demineralization, Rehardening, Fluorescence