초기우식병소에 대한 레이저 fluorescence의 광학적 탐지감도

김효석 · 김왕근 · 이창섭 · 이상호

조선대학교 치과대학 소아치과학교실, 조선대학교 구강생물학연구소

Abstract

OPTICAL SENSITIVITY OF LASER FLUORESCENCE FOR INCIPIENT CARIES DETECTION

Hyo-Suck Kim, Wang-Kwen Kim Chang-seop Lee, Sang-ho Lee

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Chosun University
Oral Biology Research Institute, Chosun University

The aim of this study was to evaluate the optical density of laser fluorescence for detection of incipient caries. Prepared and polished bovine enamel specimens were demineralized in a STPP solution for varying periods of time between 3 hrs. and 60 hrs. with an area of sound enamel retained on each specimen. The randomized specimens were analyzed for optical density of enamel demineralization using laser fluorescence. The specimens were sectioned and examined lesion depth by polarizing light microscope. Results were analyzed statistically with SAS program.

The results from this study can be summarized as follows :

1. Optical density measured by laser fluorescence and lesion depth measured by polarizing light microscope was increased as demineralization time was increased($p<0.001$).
2. Between optical density measured by laser fluorescence and lesion depth measured by polarizing light microscope was correlated highly($\gamma \geq 0.74956$, $p<0.001$).
3. Regressive equation was obtained in this study as follows.

   $Y = [X - 0.260851] / 0.000271$ (R-square : 0.5618, $p<0.001$)

   (X : DENSITY, Y : DEPTH)

In summary, optical density measured by laser fluorescence would be within the range of possibility to quantitatively presume demineralization amount of incipient caries lesion

Key words : Laser, Laser fluorescence, Incipient caries, Optical density

Ⅰ. 서 론

치아우식증이란 산에 의한 법랑질의 탈회현상으로 소아 및 청소년기에 가장 흔히 발생하는 구강질환으로 알려져 있으며 지금까지 이의 예방 및 치료에 대해 많은 연구가 이루어져 오고 있다[1,2]. 특히 치아우식증의 임상적 진단방법을 개선시키거나, 치아우식증을 조기에 탐지하는 방법에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다[3].

초기의 법랑질우식증은 치질을 완전히 건조시켰을 경우, 색조의 차이에 의하여 건전 법랑질과 육안판별이 가능하나 구강내에서 치질이 타액에 젖어있는 경우는 관찰하기가 어렵다고 알려져 있다[2,4]. 또한 초기 법랑질 우식병소는 방사선촬영이나 탐침 등 다른 임상적인 치아우식 검사법에 의해서도 잘 발견되지 않으므로 초기치아우식증을 진단하기는 쉽지 않다. 이런 치아우식증의 조기진단은 가역적인 초기 법랑질 우식병소를 조기에 감지하여 원상태로 회복시켜 줄 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 임상적으로 치아우식이 진행되어 이미 와동이 형성되어 있는 법랑질 우식병소는 감지하기 쉬우나 기계적 제거가 필수적이며 수복치료 후 재발이 빈번히 야기된다. 즉 치아우식증을 조기에 발견한다면 불소도포, 식이조절, 치태조절 및 타액유출량조절 등으로 구강내 환경을 변화시켜 치아를 재광화시킬 수 있다[5-7].

이 때문에 초기 법랑질 병소를 조기에 진단하기 위한 수많은 연구들이 시행되어 왔는데 기존의 초기치아우식증의 진단은 주로 병소를 발견하기 어렵기 때문에 치아를 절단하여 현미경 등으로 관찰하였고 그 후 초기치아우식증의 백반을 시각적으로 감지하는 방법들이 연구되었다. Friedman등[6]은 빛을 치아에 투과시키는 transillumination을 이용하였고, Bakhos등[8]은 iodine을 침투시키는 방법을 소개하였으며, Lamas등[9]은 tetracycline staining fluorescence를 이용하여 우식병소를 관찰하였고, Angmar-Mänsson등[5,10]은 light scattering을 이용하는 방법에 대해 보고한 바 있다. 그 후 Benedict등[11]은 자외선을 이용한 치아의 형광을 이용하였는데, Shretha등[12]은 자외선을 이용하여 매우 초기 탈회병소까지 감지할 수 있다고 하였다. 하지만 자외선의 사용은 복잡한 보호기전과 장비가 요구되어 치의학 분야에 가시광선으로 대치되면서 사라지고[13] 레이저가 의료 및 치의학 분야에 도입됨에 따라 레이저 fluorescence법이 주목을 받게 되었다[14-17].

레이저 fluorescence의 원리는 레이저가 조직에 형광을 발생시키는 특성을 이용한 것으로 분자에 일정파장의 빛을 조사하면 에너지 준위변화에 의해 광자에 의해 빛을 방출하게 되는데 방출되는 빛의 색깔은 주어진 에너지에 좌우되며 이를 fluorescence라 한다. Bjelkhagen[14]와 Angmar-Mänsson[9] 등 여러 학자들은 488nm파장의 청색의 아르곤 레이저를 조사하여 초기치아우식증을 진단할 수 있다고 하였다. 국내에서도 레이저 fluorescence를 이용한 초기치아우식증의 진단방법에 관심을 갖게 되었고 이 등[1]은 아르곤 레이저를 이용하여 치아우식증을 조기에 탐지할 수 있다고 한 바 있다. 그러나 초기치아우식증의 감지가 가능하다고는 하지만 치아우식의 깊이나 광물질 소실량에 따른 fluorescence의 차이, 그리고 그 감지 능력에 대해서는 연구가 미진한 상태이다. 따라서 초기치아우식증을 레이저 fluorescence법으로 감지하여 병소의 깊이를 파악할 수 있다면 임상에서 대단히 유용한 방법이라 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 초기우식병소의 깊이와 레이저 fluorescence법으로 측정한 광밀도간의 상관관계를 파악하여 임상에서 초기치아우식증의 깊이를 파악할 수 있는지 여부를 규명하는 것이다.

Ⅱ. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

1) 시편 제작

소의 전치중 치아우식증이나 마모등의 결함이 없는 법랑질이 건강한 치아 30개를 대상치아로 선정하여 약 6×6mm, 4mm두께의 치아절편을 제작하였다. 제작된 70개의 치아절편을 acrylic plate holder에 고정하였다(Fig. 1).

2. 실험방법

1) 초기인공우식병소 형성

초기치아우식병소를 형성하기 위해 3mm 직경

의 법랑질 표면을 제외한 전면에 nail varnish를 도포하고(Fig. 1) 70개의 치아절편을 고정한 acrylic plate holder를 STPP인공우식용액(0.1M lactic acid, 0.24mM sodium-tripolyphosphate, pH at 4.2 with sodium hydroxide)에 담구었다. 37℃ 항온기에 3시간, 6시간, 12시간, 24시간, 36시간, 48시간, 60시간 동안 각각 10개씩 배양하여 다양한 깊이의 인공우식병소를 유발하였다.

2) 레이저 fluorescence를 이용한 초기우식병소의 광밀도 측정

우식병소의 광밀도를 측정하기 위해 사용된 레이저는 488nm, 연속파장의 아르곤 레이저(HGM, SPECTRUM™), 광섬유의 직경은 600㎛이고 0.6W 출력으로 사용하였으며 치아에서 산란되는 청색의 레이저 빛을 차단하고 순수한 형광빛만 관찰하기 위해 520 - 540nm의 빛만 투과시키는 필터를 사용하였다.

아르곤 레이저를 시편에 일정한 거리에서 조사하고 일정한 거리상에서 520 - 540nm의 빛만 투과시키는 필터를 장착한 CCD 카메라로 촬영하였으며 컴퓨터에 영상 file로 저장하고 영상의 양상을 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램(Image pro plus™, Media cybernetics Co, USA)을 이용하여 병소의 광밀도를 측정하였다(Fig. 2). 각 군의 10개시편의 광밀도를 측정하였다.

3) 편광현미경을 이용한 초기우식병소의 깊이 측정

준비된 각 시편을 병소의 중앙부가 지나도록 low-speed diamond wheel saw(South Bay Tech., USA)로 종단하였다.

약 1mm 두께로 절단된 시편을 240.600 grit SiC 연마지가 부착된 연마기(OMNILAP 2000™, South Bay Tech., USA)를 이용하여 연마한 후 시편을 흐르는 물에 세척한 다음 증류수로 1분간 초음파 세척하여 분진을 제거하였다.

연마된 시편을 편광현미경(×100)으로 관찰하여 병소의 깊이를 측정하였다.

병소의 깊이는 표면에서부터 가장 깊은 부위까지의 거리를 측정하였으며 각각 3번씩 측정하여 평균하였다.

4) 통계적 분석

SAS program을 이용하여 편광현미경으로 관찰한 병소의 깊이와 레이저 fluorescence를 이용한 병소의 광밀도간의 Pearson coefficients를 구하였고 일원배치 분산분석 및 ANOVA test를 이용하여 탈회시간에 따른 병소의 깊이와 레이저 fluorescence를 이용한 광밀도간의 관계를 분석하였다. 그리고

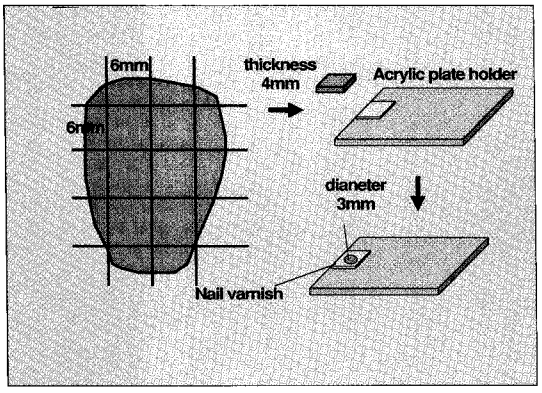

Fig 1. Sample preparation of bovine tooth to form artificial caries.
(tooth specimens size : 6×6mm , thickness : 4mm)
Prepared and polished bovine enamel specimens were demineralized in a STPP solution with diameter 3mm area.

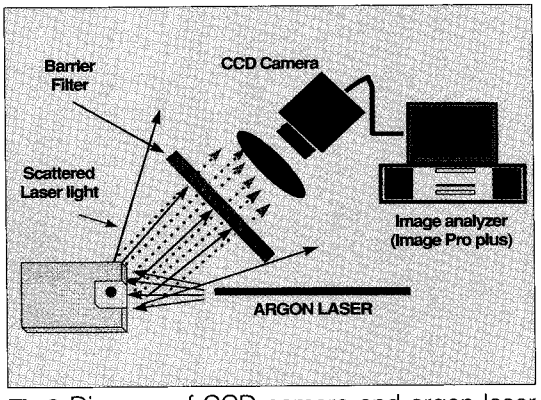

Fig 2. Diagram of CCD camera and argon laser setting to measure optical density from artificial caries

회귀분석을 통해 레이저 fluorescence를 이용한 광밀도 분석의 유의성을 검증하였다.

Ⅲ. 연구성적

1. 레이저 fluorescence를 이용한 초기우식병소의 광밀도 측정

레이저를 조사한 우식병소를 CCD camera로 촬영하고 컴퓨터에 입력한 후 영상분석 system으로 광밀도를 분석한 결과 각 군의 광밀도는 0.238에서 0.600의 범위로 나타났고 탈회 시간이 증가됨에 따라 증가되는 양상을 보였다(Table 1).

2. 편광현미경을 이용한 초기우식병소의 깊이 측정

편광현미경상에서 측정된 병소의 깊이는 56㎛에서 1200㎛의 범위로 관찰되었고 탈회 시간이 증가됨에 따라 증가되는 양상을 보였다(Table 1).

Table 1. depth measured by polarizing light microscopy and optical density measured by laser fluorescence after demineralization for various period.

	Optical density	Lesion depth
Optical density	1.00	0.74956 *
Lesion depth	0.74956 *	1.00

* : $p < 0.001$

그리고 48시간 군에서는 3개의 시편이 시각적으로 식별 가능한 우식 와동이 형성되었고 60시간 군에서는 7개가 시각적으로 식별 가능했으며 이 중 3개의 시편은 법랑-상아 경계선을 따라 치질을 파괴하고 상아질까지 침식되어 있었다. ANOVA test의 군간 비교를 보면 모든 군에서는 유의한 차이가 있었지만 24시간군과 36시간군에서는 유의한 차이가 없었다(Fig. 3).

3. 레이저 fluorescence를 이용한 광밀도와 초기우식병소의 깊이간의 상관관계 평가

레이저 조사시 관찰되는 초기 인공우식병소에서 영상분석 system으로 측정한 광밀도와 치아시편 종단면을 편광현미경으로 직접 관찰하여 측정한 병소의 깊이를 Pearson coefficients를 이용하여 비교 분석한 결과 두 방법간에는 유의한 차이가 없었으며 상관계수(r)는 0.7496 ($p<0.001$)로 강한 상관관계를 보였다(Table 2). 그리고 회귀분석을 시행한 결과 결정계수가 0.5618을 보였으며 상관곡선의 식은 아래와 같고 그래프는 Fig. 4에 나타나 있다.

$$X = 0.000271 \times Y + 0.260851$$

$$Y = [X - 0.260851] / 0.000271$$

X : DENSITY

Y : DEPTH

Table 2. Person coefficients between lesion depth measured by polarizing light microscopy and optical density measured by laser fluorescence.

demineralization time(hour)	No. of specimens	Lesion depth (㎛)	Optical density (arbitrary scale)
3	10	94.2(±34.75)	0.300(±0.0615)
6	10	188.4(±24.85)	0.338(±0.0770)
12	10	411.2(±63.44)	0.289(±0.0595)
24	10	565.9(±66.31)	0.407(±0.0648)
36	10	577.5(±52.19)	0.456(±0.0425)
48	10	752.5(±68.28)	0.471(±0.0796)
60	10	977.0(±83.52)	0.532(±0.0549)

Data are mean(± Standard deviation)

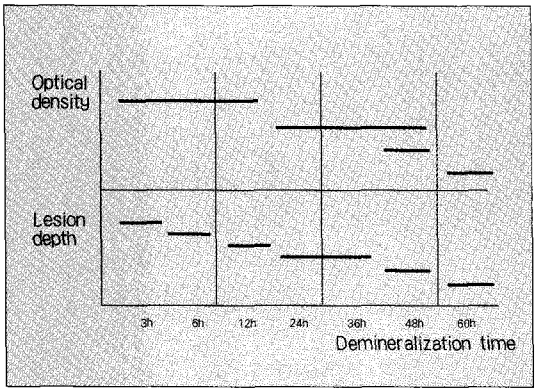

Fig 3. Least square differentiation of ANOVA test for the lesion depth by polarizing light microscope and optical density by laser fluorescence for various periods †.

† : Statically significant difference in optical density and lesion depth according to demineralization time.

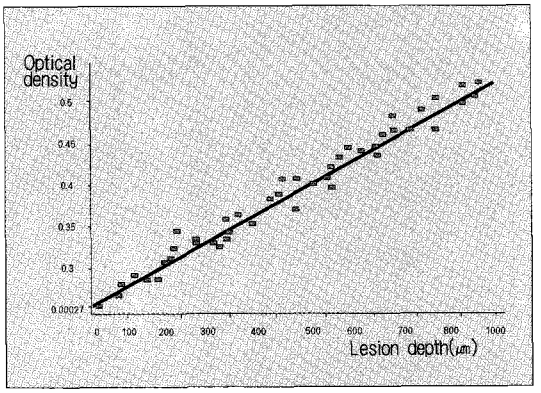

Fig 4. The regression line for prediction of lesion depth or mineral loss from optical density by laser fluorescence.

Ⅵ. 총괄 및 고찰

평활면 초기치아우식증의 와동이 형성되지 않은 초기 탈회단계 즉 백반은 임상적으로 감지할 수 없는 단계로써 표층으로 잘 유지된 표면을 가지고 있으며 25 - 30㎛의 깊이를 이루고 있고 그 하방은 광물질의 손실이 있으며 그 깊이는 대략 300㎛이다[18]. 우식이 더 진행되면 병소체층이 법랑질의 표층뿐만 아니라 깊은 곳까지 포함된다. 표면은 광택이 사라지고 거친 백반이 되며 탐침으로 감지가 가능하게 된다. 이후 재광화가 일어나면 탈회시의 불투명층이 사라지고 딱딱하고 광택이 있는 표면을 가진 백반으로 나타난다[18]. 이런 초기 법랑질 우식 병소는 임상적으로 불투명한 백반상을 보이는 데 이 부위는 정상 법랑질보다 유약하며 백색도가 증가되어 있는 상태로 비교적 건전한 상태를 보이는 표층부와 탈회가 많이 일어난 표층하부 혹은 병소체로 구성되는 특이한 소견을 보인다. 이런 복합적인 구조를 갖는 초기우식 병소는 구강내에서 환경의 변화에 따라 다공성 표층구조를 통해 탈회와 재광화를 계속적으로 반복하며 이런 재광화 현상을 통해 표층부는 거의 정상적인 상태로 회복이 가능하다[1,5,18,19]. 따라서 치아우식증은 서서히 진행되고 구강환경에 의해 초기치아우식증이 완전히 재광화 될 수 있다[3,20]. 따라서 치아우식병소의 심도를 조기에 감지할 수 있다면 우식진행을 정지시켜 수복치료 대신 예방적인 치료만으로 원상태로의 회복이 가능하다. 그러므로 치아우식증에 대한 미래의 대응책은 치아의 광물질함량의 작은 변화를 조기에 감지하여 치료 및 예방을 하는 것이다[21,22].

임상에서 치아우식증을 손쉽게 조기에 탐지하기 위해서는 시각적으로 치아우식증을 관찰할 수 있어야 하는 데 초기치아우식 병소인 백반은 시각적 진단의 기본이 된다[3,23-25]. 초기치아우식증은 육안 상으로 관찰하기가 다소 어렵지만 어떤 빛을 조사하여 나타나는 변화양상을 이용하면 그 이용가치가 많아지며 특정 반점으로 나타나 관찰하기가 용이해 진다. 이런 백반의 표면변화를 이용한 몇가지 시각적 초기치아우식증의 감지방법들이 있다. 정상치질보다 우식치질이 더 많은 양의 빛을 산란시키기 때문에 우식치질에서 더 낮은 빛 투과성을 보이는 것을 이용하여 광섬유를 통해 전달된 강한 빛을 치아 반대편에 조사하고 투과되어 나오는 빛을 관찰하는 fiber optic transillumination 방법이 있는데[26-29] 이 방법은 인접면에서는 매우 우수한 효과를 보이지만 법랑질에 국한된 초기치아우식증의 탐지에는 한계가 있다[30-34]. 또한 초기우식병소에 강한 빛(bright white light)을 조사했을 때 병소에서 더 많은 빛을 산란시키기 때문에 주위 정상 법랑질보다 더 희게 나타나는 특성을 이용하는 light scattering방법은 최근에는 쓰이지 않고 있다[23,35]. 치아에 자외선을 조사할 때 법랑질의

형광이 우식부위와 인공 탈회부위와 같이 광 함유가 낮은 부위에서는 감소되고 우식부위는 형광을 거의 내지 않아 검은 반점으로 나타나는 현상을 이용하는 ultraviolet illumination법은 치과분야에서 레진중합에 이용되던 자외선이 푸른색의 가시광선으로 대체됨에 따라 자외선의 이용이 사라지면서 사라지게 되었다[33,36,-39]. 또 우식병소에 iodine, fluorescence dye, sodium fluorescein이나 potassium iodine등을 침투시켜 법랑질의 다공성 정도를 측정하는 방법들이 있는데 작은 양으로도 시각적으로 조기에 법랑질 병소를 정확히 진단할 수 있으나 구강 내에서 사용할 수 있는 적합한 염료가 없어서 임상실험은 아직까지 시행되지 않고 있다[8,21,40-43]. 최근에는 아르곤 레이저가 조직에 형광을 발생시키는 특성을 이용한 치아우식진단 방법에 많은 관심을 갖게 되었다. Bakhos등[8]은 아르곤 레이저를 이용하여 초기치아우식증을 조기에 시각적으로 탐지할 수 있다고 하였고 Sundström등[44]은 레이저 fluorescence에 관한 spectroscopic study에서 여러 가지 다른 파장의 레이저 빛을 비교하였는데 488nm의 아르곤 레이저가 우식진단에 가장 유용한 파장임을 보고하였다[14]. 우리 나라에서도 이 등[1]은 편광 현미경 상에서 관찰되는 실제 조직학적 병소의 깊이와 레이저 fluorescence조사시 구별되는 병소의 깊이 사이에는 서로 강한 상관관계를 보인다고 하였다.

이렇게 치아우식증을 조기에 시각적으로 진단하기 위해 많은 연구들이 있었지만 시각적 진단방법들로는 초기 치아우식증을 감지하는 데 있어서 몇 가지의 한계점이 있다[44]. 첫째, 치아우식이 완전히 진행된 경우에만 발견이 가능하다. 둘째, 계속되는 탈회의 결과 일어나는 mineral loss의 작은 변화를 감지할 수 없다. 셋째, mineral loss의 양적인 측정을 할 수 없다. 치아우식증은 법랑질의 광물질이 용해되어 소실된 상태를 말한다. 따라서 대부분의 치아우식증의 진단은 이런 광물질의 변화를 측정하는 과정이라 할 수 있다[25]. 불행히도 과거의 광물질의 변화량 측정방법은 단지 치아를 얇게 절단하여 편광현미경으로 관찰하거나 microradiography 또는 미세경도측정을 시행하는 방법밖에 없었다[11,25,44-47]. Koulourides등[48]은 미세경도를 측정하여 광물질 함량과의 연관성을 비교 연구하였고 Arends등[46]은 병소의 깊이와 광물질 함량과의 상관관계를 연구하여 강한 상관관계가 있다고 하였다. 하지만 이런 방법들은 구강 내에서 직접 이용할 수 없을 뿐더러 시간도 많이 소요되고 실험적 가치밖에 없기 때문에 단순하고 비파괴적인 초기치아우식증 진단방법들이 연구되어져 왔다[11,48-51]. 이런 문제점을 해결하기 위해 최근 많은 연구가 시행되고 있는 데 이중 하나가 레이저를 이용한 정량화된 시각적 측정방법이다. 정량적 측정방법은 병소의 심도 측정기구와 병소의 모니터가 필요하다. 정량적 측정은 병소 깊이와 같은 실제 정량의 범위를 가설된 단위로 추정하고 이 단위들은 병소의 깊이, 광물질의 함량, specificity, sensitivity, ROC curve과 연관이 있다[5]. 이런 단위가 절대적 수치화가 이루어진다면 법랑질이 와동화되기 전에 우식의 진행을 막을 수 있을 것이다.

Shern[52]와 Marthaler[30], Ogaard[13]등은 레이저 fluorescence법이 간편하면서 민감하고 비파괴적이며 평활면, 소와 및 열구 인접면에서 초기치아우식증을 시각적으로 조기에 감지할 수 있고 광물질 변화와 병소의 깊이 등과 관계가 있다고 하였으며 5-10μm의 작은 병소 깊이까지도 감지할 수 있다고 하였다. 그러나 Ando[45,47]는 초기치아우식의 병소깊이와 fluorescene의 소실률이 강한 상관관계를 지니고 있다고 하였지만 레이저 fluolescence만의 모니터만으로는 광물질 소실량을 측정하는 것이 다소 어렵다고 하였다. 이런 이유로 염료를 병용하여 시각적인 탐지를 강화시킨 연구들이 이루어져 왔다. Ferreira Zondona[53]는 염료를 병용한 레이저 fluorescence가 단지 레이저 fluorescence를 이용하는 것보다 더 소와 및 열구 우식증에 우수하다고 하였고 염료를 병용한 레이저 fluorescence가 단지 레이저 fluorescence를 이용하는 것보다 효과가 좋다고 하였다. 하지만 Hall등[55]은 레이저와 레이저에 반응하는 특수한 염료를 이용하여 시각적 효과를 더 높여 실험하였고 레이저를 단독으로 이용하는 것이 초기의 병소를 발견할 수 있고 병소의 깊이에 따라 유의성 있는 양적 측정이 가능하다고 하였으며 염료를 병용한 레이저측정은 매우 초기는 유용하지만 유의성이 없다고 하였다. 이렇게 염료를 이용한 레이저 fluorescence는 아직 논란의 여지가 있고 정확히 입증되지 않았으며 O'

Brien[33,54], van de Rijke[41,42]등은 임상적으로 이용할 수 있는 염료를 아직 발견하지 못했다고 하였다.

현재까지 초기치아우식증을 조기에 시각적, 정량적으로 감지하는 많은 연구들이 시행되어 왔지만 앞에서 보듯이 최근에는 인접면, 평활면, 소와 및 열구 등에 모두 유용하며 시각적으로 뚜렷하게 구별이 쉬운 레이저와 염료를 다각적으로 연구하고 있다.

본 실험에서는 레이저 fluorescence방법이 우식병소의 깊이에 따라 어느 정도 민감하게 감지할 수 있으며 깊이에 따른 정량화가 가능한지의 여부를 평가하고자 하였다. 이 실험에서 사용된 영상분석 system을 이용한 광학적 광밀도 분석은 물질이 투과하는 빛의 양을 측정함으로써 시료에서 물질의 양을 판별한다. Standard optical density option은 명암으로부터 광밀도를 계산하기 위한 다음의 광투과식을 사용한다.

OPTICAL DENSITY(x,y) = -log[(Intensity(x,y)-Black)/(Incident-Black)]

여기서 Intensity(x,y)는 intensity(pixel), Black은 물질을 투과하지 못한 빛의 강도이며 Incident는 입사광의 강도이다. 이 계산식을 이용하여 아르곤 레이저를 인공우식병소에 조사 후 영상분석 system으로 분석한 결과 탈회시간이 증가됨에 따라 광밀도가 증가됨을 보여주었지만 일정 깊이의 우식병소에서 다소 넓은 범위의 광밀도를 보여 주었다. 특히 ANOVA test에 의하면 탈회시간에 따른 병소의 깊이가 일정하게 증가한데 비해 레이저 fluorescence에 의한 광밀도는 4시간, 6시간, 24시간 군과 36시간, 48시간 군에서 유의한 차이가 없어 편광현미경을 이용한 병소의 깊이보다는 감도가 떨어짐을 알 수 있었다(Fig. 3). 이는 본 실험상에서 영상의 표준화가 중요한데 레이저의 조사거리와 CCD camera의 거리를 일정하게 하여 실험상의 오차를 최소화하려고 하였지만 치아의 법랑질에 표면굴곡이 있어 빛의 방향에 따라 오차가 발생한 것으로 추정된다. 따라서 앞으로 임상에 응용하기 위해서는 절대적인 비교보다는 해당환자의 정상치질과 상대적인 비교를 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

그리고 편광현미경으로 관찰시 병소의 깊이는 탈회시간에 따라 56㎛에서 1200㎛까지 다양하게 존재하였으며 문헌상에서 5 - 10㎛까지 감지할 수 있다고 하였으나 우식병소가 깊게 형성되어 이를 확인할 수 없었다(Table 1). 그리고 육안으로도 48시간 군에서 2개의 시편이 우식 와동이 확인된 데 비해, 60시간 군에서는 7개의 시편에서 우식 와동이 확인되었고 편광현미경상에서 법랑-상아경계부를 파괴하고 상아질까지 침범하는 소견을 보였다.

레이저 fluorescence를 이용한 방법은 초기의 치아우식증을 시각적으로 감지하기 쉽고 병소의 깊이가 증가됨에 따라 레이저 조사시 병소의 광밀도가 증가함을 보여주었다(Table 1). 그리고 Pearson coefficients는 0.74956 ($p>0.001$)로 높은 상관관계를 보여주었다(Table 2). 더욱이 중요한 것은 레이저 fluorescence의 유의성을 평가하기 위해 회기분석을 시행한 결과 정비례의 직선형태로 결정계수는 0.5618을 보이는데 신뢰도가 56%임을 의미한다 (Fig. 4).

따라서 앞으로 더 많은 실험과 연구 그리고 실제 임상에의 적용에 의해 레이저 fluorescence이 더 개선된다면 레이저 fluorescence를 이용하여 초기치아우식증을 쉽게 감지함과 동시에 병소의 깊이를 정확히 추정하여 재광화시킬 것인지 와동 수복을 시행할 것인지를 판단할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 법랑질 우식에서 아직 어느 정도 깊이까지 재광화를 시킬 수 있는지에 대해서는 아직 연구가 밝혀져 있지 않으므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론적으로 향후 레이저 fluorescence의 정량화 실험을 통해 병소의 깊이에 따른 절대적이거나 상대적인 수치가 제공되고 구강내 병소에 근접할 수 있는 delivery system을 개발한다면 임상에서 쉽게 초기치아우식증을 감지해 내고 병소의 깊이를 예측하여 진단 및 예방적인 차원을 넘어 치료적인 개념으로까지 확대할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

레이저 fluorescence의 초기우식증의 탐지감도를 평가하기 위해 치아우식증이나 마모가 없는 우치의 법랑질 시편을 제작하고 초기 인공우식병소를 여러단계로 형성하여 레이저 fluorescence을 이

용하여 측정한 광밀도와 병소의 깊이를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저 fluorescence를 이용한 초기우식병소의 광밀도와 편광현미경 상에서 관찰되는 병소의 깊이는 탈회시간이 증가함에 따라 증가하였다 ($p<0.001$).
2. 레이저 fluorescence를 이용한 광밀도와 편광현미경상에서 관찰되는 병소의 깊이사이에는 높은 상관관계가 있었다(Pearson coefficients : 0.74956, $p<0.001$).
3. 회귀분석에서 레이저 fluorescence의 광밀도와 병소의 깊이사이에는 정비례 관계의 직선을 보이고 다음과 같은 상관곡선을 구하였다(R-square : 0.5618, $p<0.001$).

$$Y = [X - 0.260851] / 0.000271$$

X : DENSITY

Y : DEPTH

이상의 결과를 종합하면 레이저 fluorescence를 이용하여 초기우식병소의 광밀도를 측정함으로써 우식병소의 탈회량의 정량적 추정이 가능하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이난영, 이창섭, 이상호 : 아르곤 레이저의 법랑질 우식증 조기탐지 효과에 관한연구. 대한소아치과학회지, 24(1):313-322, 1997.
2. Arnold LV : The radiographic detection of initial carious lesion on the proximal surface of teeth. The influence of viewing conditions. J Dent Res 66(10):1579-1582, 1987.
3. de Josselin de Jong E, Sundstr m F, Westerling H et al. : A New Mentod for in vivo Quantification of changes in Initial Enamel caries with Laser Fluorescence. Caries Res 29: 2-7, 1995.
4. Harless J D and Wefel J S : Comparison of artificial white spots by microradiography. J Dent Res 63: 1271-2180, 1984.
5. Angmar-Månsson B, ten Bosch J J : Advances in Methods for diagnosing coronal caries - A review. Adv Dent Res 7(2) :70-79, 1993.
6. Friedman J, Marcus M I : Transillumination of the oral cavity with use of fiber optics. J Am Dent Assoc 80:801-809, 1970.
7. Levine R S : Remineralization of natural carious lesion on enamel. Brit Den. J 137: 132-141, 1974.
8. Bakhos Y, Brundevold F, Aasenden R. : In vivo estimation of the permeability of surface human enamel. Arch Oral Biol 22 : 599-603, 1977.
9. Larmas M, Kortelaimen S : Quantification fo the areas of dentinal lesions and secondary dentin in fissrures of rat molars. Caries Res 23:32-35, 1953.
10. Angmar-Månsson B, ten Bosch J J : Optical mentods for the detection and quantification of caries. Adv Dent Res 1: 14-20, 1987.
11. Benedict H C : Note on the fluorescence of teeth in ultra-violet rays. Science 67:442, 1928.
12. Shrestha B M : Use of ultraviolet light in early detection of smooth surface carious lesions in Rats. Caries Res 14: 448-451, 1980.
13. Øgaard B, ten Bosch J J : Regression of white spot enamel lesions. A new optical method for quantitative longitudinal evaluation in vivo. Am J Ortodontics and Orthopedics 106:238-242, 1994.
14. Bjëlkhagen H, Sundstr m F, Angmar–Månsson B et al. : Early detection of enamel caries by the luminescence excited by visible Laser light. Swed Dent J 6:1-7, 1982.
15. Hafström-Björkman U, Sundström F, Angmar-Månsson B : Initial caries diagnosis in rat molars, using Laser fluorescence. Acta Odontol Scand 49: 27-33, 1991.
16. Schemehorn B R, Stookey G K : Sodium fluorescein and Laser fluorescence for detection of Incipient lesions. J Dent Res, 75(spec iss) :85, 1996.
17. Sundström F, Fredriksson K, Montán S et al. : Laser induced fluorescence from sound and carious tooth subatance ; spectroscopic studies. Swed Dent J 9: 71-80, 1985.
18. Koch G, Modéer T, Poulsen S et al. : Pedodontics - a clinical approach.. Munksgaard 160-165, 1994
19. 이상호, 이종갑 : 레이저 조사의 치아우식 억제 효과에 관한 실험적 연구. 대한소아치과학회

지 18(2):1-15, 1991

20. Vaarkamp J, ten Bosch J J Verdonscot E H et al. : Wavelength - dependent fibre-optic transillumination of small approximal caries lesions ; The use of a dye, and a comparison to bitewing radiography. Caries Res 31:232-237, 1997.
21. Hafström-Björkman U, Sundström F, de Josselin de Jong E et al. : Comparison of Laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. Caries Res 26:241-247, 1992.
22. Woods D : A dental caries susceptibility test based on the occurance of streptococcus mutans in plaque material. Aust Dent J 16 : 116-121, 1971.
23. Anderson P, Daris G R, Ahluwala M H K : Monitoring de- and remineralization of enamel in vitro using an infrared reflectance meter. Caries Res 30:394-399, 1996.
24. Naleway C A, Webster D, Wazniak W T et al. : Assessment of demineralization using luminescence. J Den Res 58(IADR Abast) : 136, 1979.
25. ten Bosch J J, van der Mei, Borsboom P C F : Optical monitor of in vitro caries. A comparision with chemical and microradiographical determination of mineral loss in early lesion. Caries Res 18:540-547, 1984.
26. Peers A, Hill F J, Mitropoulos C M et al. : Validity and reproductibility of clinical exaimination, fiber-optic transillumination, and bite-wing radiography for the diagnosis of small approximal caries lesions ; An vitro study. Caries Res 27:307-311, 1993.
27. Petola J, Wolf J : Fiber optic transillumination in caries diagnosis. Proc Finn Dent Soc 77:240-244, 1981.
28. Sohneiderman A, Elbaum M : Assessment of dental caries with digital imaging fiber-optic transillumination(DIFOTITM) : in vitro study. Caries Res 31:103-110, 1997.
29. Wenzel A, Verdonschot E H, Ttuin G J et al. : Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavited teeth. J Dent Res 71(12):1934-1937, 1992.
30. Martaler T M : Improvement diagnosed methods in caries trials. J Dent Res 63: 746-750, 1984.
31. Miserendino L J, Pick R M : Lasers in dentistry. Quintessence Publishing Co Inc, 1985.
32. Mitropoulos C M : "comparison of fiber optic transillumination with bisecting radiographs. Br Dent J 159: 21-24, 1985.
33. O' Brien W J, Yee J, Dennison J B et al. : The applicaion of blue polymer curing lights for diagnositic transillumination. JADA 106: 839-842, 1983.
34. Wright G Z, Simon I : An evaluation of transillumination for caries detection in primary molars. J Dent Chil 3:199-220, 1972.
35. Brinkman J, ten Bosch J J, Borsboom P C F : Optical quantification of natural caries in smooth surfaces of extracted teeth. Caries Res 22:257-262, 1988.
36. Alfano R R, Yao S S : Human teeth with and without dental caries, studied by visible lunimescent spectroscopy. J Dent Res 80: 120-122, 1981.
37. Foreman P C : The excitation and emission spectra of fluorescent components of human dentin. Archs Oral Biol 25: 641-649, 1980.
38. Heffenen J J, Cooly R O, Hall J B et al. : Use of ultraviolet illumination in oral diagnosis. JADA 82: 1353-1360, 1971.
39. Kleinberg I, Chatterjee R, Domokos A : An ultraviolet photographic technique for the early detection of caries lesion. Methods of caries prediction. Washington(DC) ; Infrmation Retrieval Inc 271-279, 1978.
40. Al-Sehaibany F, White G, Rainey J T et al. : The use of caries detector dye in diagnosis of occlusal caries lesions. Pediatric Dent 20(4):293-298, 1996.
41. Van de Rijke J W : Use of dyes in cariology. Int Dent J 41: 111-116, 1991.
42. Van de Rijke J W, ten Bosch J J : Optical quantification of caries-like lesion in vitro by use of a fluorescenct dye. J Dent Res 69(5):1984-1187, 1990.

43. Zero D T, van Houte J, Russo J : Enamel demineralization by acid produced from endogenous substrate in oral streptococci. Arch Oral Biol 31: 229-234, 1986.
44. ten Bosch J J, Angmar-M nsson B : A review of quantitative methods for studies of mineral content of intraoral incipient caries lesions. J Dent Res 70(1):2-14, 1991.
45. Ando M, Hall A F, Eckert G J et al. : Relative abillity of Laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. Caries Res 31:125-131, 1997.
46. Arends J, ten Bosch J J : Demineralization and remineralization evaluation techniques. J Dent Res 71:924-928, 1992.
47. Ando M, van der Veen, Schemehorn B R et al. : A comparision of quantitative light-induced laser(QLF) on white-spots in permanent and deciduous enamel. Caries Res 31:281-328, 1997.
48. Koulourides T : Experimental changes in enamel mineral density; in Harris. Art and science of dental caries research 355-378(Academic Press, New York 1968).
49. de Josselin de Jong E, Sundstr m F, Emami Z et al. : Quantification of mineral loss in initial caries lesions on natural enamel surfaces with Laser fluorescence. Caries Res 26:216, 1992.
50. Longbottom C, Pitts N B : An initial comparison between endoscopic and conventional methods of caries diagnosis. Quinit int 21:531-540, 1990.
51. Longbottom C, Pitts N B : A comparison of five caries diagnostic methods employing an in vitro simulation and histological validation. Caries Res 26:216, 1992.
52. Shern R J, Kennedy J B : An in vitro evaluation of fluorescein for testing the permeability of white spots on teeth enamel. Pediatric Dentistry 12(5):308-311, 1990.
53. Ferreira Zandona A G, Analoui M : Laser fluorescence detection of demineralization in artifitial occlusal fissure. Caries Res 32:31-40, 1988.
53. O' Brien W J, Vazquez L, Johnson W M : The detection of incipient caries with tracer dyes. J Dent Res 68(2):157-158, 1989.
55. Hall L M, Chaudhry S I, White J M : Spectrophotometric analysis of deciduous dentin. J Dent Res 75(spec iss) 197, 1996.