

# Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination과 Confocal Laser Scanning Microscope를 이용한 초기 법랑질 우식증 연구

김지태\* · 김종수\* · 김성오\*\*

단국대학교 치과대학 \*소아치과학교실, \*\*치과마취과학교실

## 국문초록

최근 새로 개발된 DIFOTI(Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination) 시스템의 초기 법랑질 우식증 진단 능력을 평가하고 임상 적용의 가능성을 타진해 보고자 본 연구를 시행하였다.

임상 연구는 유치 탈락 시기에 근접한 학령기 아동 23명을 대상으로 DIFOTI 이미지 촬영을 시행하고 자연 탈락된 유치 20개를 수거하여 CLSM 촬영 결과를 바탕으로 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 산출하였으며, 실험실 연구에서는 수거된 40개의 유치를 대상으로 Carbopol 인공 우식 용액으로 1, 2, 4 그리고 8일간 탈회시킨 후 각각 방사선 사진, DIFOTI 이미지 그리고 CLSM와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구내에서 촬영한 DIFOTI 이미지의 민감도는 0.61이었고, 특이도는 0.63이었다.
2. 실험실에서 인공 탈회시킨 유치의 협설면 초기 우식증에 대한 DIFOTI 이미지의 민감도는 0.71 였고, 특이도는 0.75 였다.

**주요어** : Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination, 조기 진단, 치아 우식증

## I. 서 론

초기 우식증의 조기 진단과 비침습적(non-invasive) 수복 개념이 새롭게 부각되면서 새로운 실험 장비와 기구를 이용한 다각적인 연구가 요구되었고, 최근 유럽 및 미국을 중심으로 법랑질의 미세한 탈회까지 인지할 수 있는 다양한 장비들이 연구 개발되고 있다<sup>1,2)</sup>. 또한 구강 관리에 대한 관심 증가와 다양한 홍보 교육 및 예방 프로그램 등으로 우식 발생률이 감소하고 있는 추세이며, 특히 인접면 우식증이 교합면 우식증에 비해 상대적으로 증가하는 양상을 보이고 있다<sup>3,4)</sup>.

초기 법랑질 우식증은 치질 내부로부터의 탈회와 치질 외부로부터의 재광화가 동시에 일어나는 진행성 질환으로 육안으로

식별하기 어렵고 특수한 장비를 이용해야만 진단할 수 있다<sup>5-7)</sup>. 기존의 구강 검진 방법들 중 탐침을 이용한 방법은 오히려 법랑질 표면의 건전 표층을 파괴함으로써 와동 형성을 촉진시키는 부작용을 가지고 있으며, 존재 여부를 인지한다 하더라도 그 진행 정도와 상태를 정확하게 판단할 수 없는 한계가 있으며, 방사선 사진 촬영은 초기 법랑질 우식증을 인지할 수 없을 뿐만 아니라 방사선 노출로 인한 부작용에 대한 우려를 낳고 있다<sup>8,9)</sup>.

치아 관리의 총체적 개념은 초기 단계의 우식 진행을 조기에 발견하여 불소 등을 이용한 화학 요법과 같은 비침습적 방법으로 정상 법랑질로 회복시켜 주는 방법부터 와동 형성과 수복 단계에 이르기까지 치질을 자연 상태대로 최대한 보존하도록 노력하는 개념으로 이를 위해서는 보다 정확하고 감도가 높은 새로운 진단 장비가 필요하다<sup>9,10)</sup>.

이러한 목적으로 새로 개발된 조기 진단 장비들로는 레이저를 광원으로 하여 치면에서 반사되는 반사량을 기준으로 탈회 정도를 진단하는 laser fluorescence technique<sup>11-13)</sup>, 탈회 법랑질의 빈 공간에 수분이 충만하게 되고 이 수분에 의해 초음파가 흡수되는 원리를 이용한 ultrasonic system<sup>14)</sup>, back-scat-

교신저자 : 김 종 수

충남 천안시 안서동 산29

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 041-550-1931, 2 Fax : 041-555-2329

E-mail : jskim@dku.edu

tered radiation을 이용하여 표면 직하부 관찰이 가능한 점을 응용한 confocal laser scanning microscopy(CLSM)<sup>15,16)</sup>, 인체에 해가 없는 가시광선을 광원으로 하여 탈회 정도에 따라 반사량이 달라진다는 점에 착안하여 고안된 Quantitative Light-induced Fluorescence(QLF) 시스템<sup>12,17)</sup>과 가시광선이 법랑질 표면을 통과할 때 탈회 부위에서 불투과성을 보인다는 원리를 이용한 Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination(DIFOTI)<sup>18,19)</sup> 시스템 등이 있다.

본 연구는 새로 개발된 초기 법랑질 우식 진단 시스템인 DIFOTI 시스템을 이용한 구강 검사 결과를 실험실에서 재확인하여 임상 적용 가능성을 재평가하며, 실험실에서 인공 탈회시킨 초기 법랑질 우식증에 대한 방사선 사진, CLSM의 진단 능력을 DIFOTI 시스템과 비교 분석하고자 하였다. 또한 차후 DIFOTI 시스템 개발에 필요한 임상 적용시의 문제점을 파악, 개선안을 제시하며, 치아 우식증의 예방과 불소를 이용한 초기 우식증 재광화 방법에 대한 기초 연구 자료를 마련하고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 대상 및 재료

#### 1) 연구 대상

천안 소재 아동 복지 보육원인 신아원 원생 중 학동기 연령에 해당되면서 유치 탈락 시기가 도래된 것으로 기대되는 23명을 대상으로 선정하였으며, 대상 아동들로부터 약 6~8 개월의 기간동안 자연 탈락된 유치 20개를 수거하였다.

유치 탈회에 대한 연구를 위해서는 탈락 시기에 발거된 유치를 개인 병·의원과 단국대학교 치과병원 소아치과로부터 수거하여 사용하였다.

#### 2) 연구 재료

##### ① 방사선 사진

휴대용 방사선 촬영용 장치(Trophy, Korea)와 소아용 구내 필름(Kodak, USA)을 사용하였다.

##### ② Confocal laser scanning microscopy

Confocal Laser Scanning Microscopy(FV 300, OLYMPUS)를 이용하여 촬영하였고, FLUO View V4.2 프로그램을 이용하여 이미지 분석 및 저장을 하였다.

##### ③ 구내 디지털 영상 장비

구내 디지털 영상 장비인 Digital Image Fiber-Optic Trans-Illumination System (DIFOTI®, Electro-Optical Sciences Inc., Irvington, New York, USA)을 이용하였다. DIFOTI® 시스템은 CCD 카메라가 장착된 Hand-Piece와 저전압 50 watt Arc lamp가 내장된 광원의 조절과 영상 전달을 담당하는 Light Control Box, 영상 캡처를 위한 USB 방식의 Foot Pedal 그리고 영상 관

리를 위한 컴퓨터로 구성되어 있으며 구강내에 들어가는 Mouth-Piece는 일회용을 사용한다.

## 2. 연구방법

### 1) DIFOTI 시스템의 구내 촬영에 대한 신뢰도 검증

#### ① DIFOTI 이미지 촬영

구내 DIFOTI 이미지 촬영은 2003년 5월부터 2003년 6월까지 약 1개월간에 걸쳐 신아원을 방문하여 촬영하였다. 대상 치아로는 탈락 시기가 도래된 것으로 기대되는 유전치 및 제1,2유구치를 선정하였다.

CCD Camera가 내장된 hand-piece를 구강내 넣고 위치를 조절하여 가장 좋은 영상이 나타났을 때 foot pedal을 눌러 이미지를 캡처한 후 비압축 형태인 BMP 형식의 이미지 파일로 컴퓨터에 저장하였다. 일회용 mouth-piece를 사용하여 교합면에는 교합면용을, 인접면과 협설면에서는 인접면용 mouth-piece로 교환하면서 모든 대상치의 교합면, 협면, 설면, 근심면, 원심면 이미지를 촬영하였다. CCD 카메라를 통해 전달된 영상은 비압축 형태인 BMP 파일 형식으로 개인용 컴퓨터에 저장되었다.

#### ② 0.1% Thymol 제조

500 ml 증류수에 1.2g Thymol(98%, FW 150.22, Fisher, USA)를 첨가한 후, 실온에서 6시간 동안 교반기에서 용해시킨 후 증류수를 1000 ml가 될 때까지 첨가하여 제조한다.

#### ③ 탈락 유치의 수거

대상 환자들은 자연 탈락된 유치들을 자신의 이름이 쓰여진 0.1% Thymol 용액에 보관하도록 지시한 다음, 한 달 간격으로 정기적으로 방문하여 수거하였다. 대상 치아 중 자연 탈락되지 않은 유치는 발거하여 0.1% Thymol 용기에 보관하였다.

수거된 유치들은 24 시간동안 흐르는 물에 세척하여 혈액을 모두 제거한 다음 표본 채취 전까지 2주 이상 0.1% Thymol 용액에 보관하였다.

#### ④ 시편 준비

수집된 유치를 증류수로 세척하고 육안으로 확인하여 이미 외동 형성이 진행되었거나 아말감 등의 수복 치료를 받은 치아를 제외시켰다. 선정된 치아들을 대상으로 실험실에서 DIFOTI 이미지 촬영을 시행하여 정확한 우식 부위를 표시하고 CLSM용 시편 제작시 도움이 되도록 하였다.

선정된 우식 부위가 포함되도록 저속 경조직 절삭기(다리원, 한국)를 이용하여 치아를 근원심과 협설 방향으로 절단하였다.

절단된 시편들은 작업이 용이하도록 매몰한 다음 320번 연마지를 사용하여 수평을 맞춘 후, 600, 1200번 연마지로 활택 연마한 후 슬라이드 글라스에 순간접착제로 고정시켰다. 반대면도 같은 방법으로 연마 활택하여 시편의 두

께가 500 $\mu$ m 이하가 되도록 하였다.

⑤ 형광 염색

준비된 시편들을 CLSM 촬영을 위해 Rhodamine B(FW 479.02, Fisher, USA)를 사용하여 염색하였다. Rhodamine B는 빛에 민감하기 때문에 용액 제조 및 시편 염색 작업은 암실에서 진행되었다.

Fontana 등<sup>16)</sup>의 방법에 따라 경조직 이미지 촬영에 가장 적합한 것으로 알려진 0.1 mM 농도로 제조하기 위하여 Rhodmin B 0.0479 mg을 1 l 용기에 넣고 교반하였다. 준비된 시편을 0.1 mM Rhodmin B 용액에 1시간동안 담근 후, wipe paper로 잔여 염색용액을 제거한 후 알루미늄 호일을 이용해 빛을 차단하여 보관하였다.

⑥ Confocal laser scanning microscopy 촬영

Fontana 등<sup>16)</sup>의 연구에서 CLSM가 transversal microradiography를 대체할 수 있는 gold standard 라고 주장한 점에 착안하여 gold standard를 얻기 위해 CLSM 촬영을 시행하였다.

CLSM 촬영은 암실에서 진행되었으며, 준비된 시편들은 촬영 직전에 알루미늄 호일을 제거하였다.

Laser를 광원을 투과시켜 30배율 하에서 이미지를 촬영하여 TIFF 형식으로 이미지가 저장되었다.

⑦ 통계 분석

각 시편에 대한 CLSM를 gold standard로 하여 DIFOTI 이미지의 민감도와 특이도를 산출하였다. DIFOTI 이미지의 법랑질 치아 우식증의 진단 평가 기준은 Zero 등<sup>19)</sup>의 방법을 수정하여 사용하였으며, 내용은 Table 1과 같다.

민감도는 CLSM상에서 우식이 확인된 치아 면수에 대해 DIFOTI 이미지상에 우식이 존재한다고 평가된 면수에 대한 백분율로 산출하였다.

특이도는 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 치아 면수에 대해 DIFOTI 이미지상에 우식이 존재하지 않는다고 평가된 면수에 대한 백분율로 산출하였다.

2) DIFOTI 시스템의 실험실 연구에서의 신뢰도 검증

① 치아 준비

0.1% Thymol 용액에 보관되어 수집된 유치들은 육안으로 관찰하여 와동 형성이나 수복 경험이 없는 치아들만 선별하여 세척 후 이물질을 제거하고 다시 실제 현미경 10배율 하에서 crack이 없는 유치만 선택하여 시편 제작 전까지 0.1% thymol 용액에 보관하였다.

② 탈회 용액 제조

탈회 용액은 자연 발생된 법랑질 초기 우식증을 가장 잘 재현하는 것으로 알려진 White<sup>20)</sup>의 방법에 따라 탈회 용액을 제조하였다.

0.1% 젖산 500 ml에 50% 수산화나트륨을 첨가하여 pH 5.0으로 조절한다. 이 용액에 1.5g tribase calcium phosphate(34%~40%, FW 502.3, Fisher, USA)를 염산을 이용하여 pH 5.0으로 유지하면서 30분 동안 용해시킨다. 30분경과 후 필터링한다. 필터링된 용액에 1M 젖산 50 ml와 1M Carbopol 907 stoc solution 200 ml를 첨가한다. 이후 증류수를 1000 ml이 되도록 첨가한다.

③ 유치 법랑질 탈회

준비된 치아들을 다루기 쉽도록 레진을 이용하여 단근치 모습으로 재현해 주고 Table 2와 같이 탈회 기간에 따라 군 당 10개씩 배정하였다. 협설면에 각각 탈회시킬 면을 3×3 mm 크기로 창을 만들고 나머지 모든 부위를 불소가 포함되지 않은 nail varnish (Hera, Korea)로 도포한 후, 치관이 모두 잠기도록 용기에 넣은 후 37 $^{\circ}$ C 항온기에서 탈회 기간에 따라 보관하였다. 실험 기간이 경과한 후 증류수를 이용하여 잔여 탈회 용액을 세척한 후, 아세톤으로 nail varnish를 제거하였다.

④ DIFOTI 이미지 촬영 및 분석

실험 기간 경과후 각 치아에 대한 DIFOTI 이미지를 촬영하였다. 촬영된 DIFOTI 이미지들은 Visual Basic V6.0(Microsoft, USA)으로 자체 제작한 분석용 프로그램을 이용하여 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 투과도비를 백분율로 환산하여 기록하였다.

⑤ 방사선 촬영

휴대용 방사선 촬영기(DS-S, 동서의료기상사, 한국)를 이용하여 정격 전압 60kV, 정격 관전류 10mA, 전압 100mV, 노출 시간 0.6초의 조건으로 성인용 구치부 필름(IP-21, Kodak, USA)을 사용하여 촬영하였다.

Table 1. Criteria for caries status

Score	Description
0	Caries absent
1	Caries present

Table 2. Sample distribution and time schedule

Group	Demin. time (day)	Sample No.	Detection method
I	1	10	Radiography
II	2	10	Confocal laser scanning microscopy
III	4	10	Digital fiber-optic trans-illumination
IV	8	10	

⑥ 시편 제작

인공 치근을 제거하고 저속 경조직 절삭기(다리원, 한국)를 이용하여 대상 치아를 근원심 방향으로 이등분한 후, 다시 우식 부위가 포함되도록 협설 방향으로 절단하였다. 최종 시편의 두께가 1 mm이내가 되도록 절단하였다.

절단면을 600, 1200번 연마지로 활택 연마한 후 슬라이드 글라스에 순간접착제로 고정시켰다. 반대 면을 320번 연마지를 사용하여 수평을 맞춘 후, 600, 1200번 연마지로 활택 연마하여 시편의 두께가 500 $\mu$ m 이하가 되도록 하였다. 준비된 시편들을 Rhodamine B로 염색하였다.

⑦ Confocal laser scanning microscopy 촬영

Gold standard를 얻기 위해 30배율 하에서 CLSM 이미지 촬영을 시행하였다.

⑧ 통계 분석

각 시편에 대한 CLSM를 gold standard로 하여 DIFOTI 이미지의 민감도와 특이도를 산출하였다. DIFOTI 이미지의 법랑질 치아 우식증의 진단 평가 기준은 Table 1과 같다.

Ⅲ. 연구결과

1) DIFOTI 시스템의 구내 촬영에 대한 신뢰도 검증

CLSM상에서 우식이 있는 것으로 확인된 치아 면수 18개중 DIFOTI 이미지 상에서 7면은 없는 것으로 판정되었고 11면에서는 있는 것으로 판정되어 민감도는 0.61이었다(Table 3).

또한 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 치아 면수 27개중 DIFOTI 이미지 상에서 17면은 없는 것으로 판정되었고 10면에서는 있는 것으로 판정되어 특이도는 0.63이었다(Table 3).

2) DIFOTI 시스템의 실험실 연구에서의 신뢰도 검증

대상 치아의 방사선 촬영 결과를 탈회 시간이 지남에도 불구하고 협설면의 변화를 관찰 할 수 없었다.

DIFOTI 이미지를 Fig. 1에서 4까지 나타내었다. 1일군에서는 탈회 현상을 인지할 수 없었으나 점선으로 나타낸 바와 같이 2, 4, 8일군으로 갈수록 투과도가 현저히 감소하여 어둡게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

CLSM 상에서 관찰된 소견을 Fig. 5부터 8까지 나타내었다. 1일군에서 탈회 현상이 법랑질 표면에서 밝게 나타나고 있으며 약간 불규칙한 탈회 범위를 보여 주고 있다(Fig. 5). 2일과 4일군에서도 법랑질 표면 부위에 밝게 나타나는 탈회 부위를 확인할 수 있었으며(Fig. 6, 7), 8일군에서는 탈회 양상이 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 침투 깊이는 최대 약 15~20 $\mu$ m 정도였다(Fig. 8).

탈회 기간에 따른 법랑질 투과도를 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질을 백분율로 환산한 결과를 Table 4에 나타내었다. 1일군의 정상법랑질에 대한 탈회법랑질의 투과도 백분율은 97.16 $\pm$ 2.15%이었고, 2일군에서는 83.13 $\pm$ 1.21%, 4일군은 69.03 $\pm$ 3.98% 그리고 8일군에서는 53.63 $\pm$ 10.88%로 나타났다.

Fig. 9는 Table 4의 결과를 선 그래프로 나타낸 것으로 탈회 시간이 경과함에 따라 투과도가 감소하는 것을 알 수 있다. 좌측의 Y축은 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 백분율을 나타낸 것이고, 우측의 Y축은 정상 법랑질과 탈회 법랑질의 투과도를 나타낸 것이다.

회귀 분석을 통하여 탈회 기간에 따른 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 백분율 변화를 검증한 결과 산출된 회귀식은 Y =

Table 3. Sensitivity and specificity of DIFOTI system in *in vivo*

DIFOTI \ CONFOCAL	Negative	Positive	Total
Absent	17	10	27
Present	7	11	18

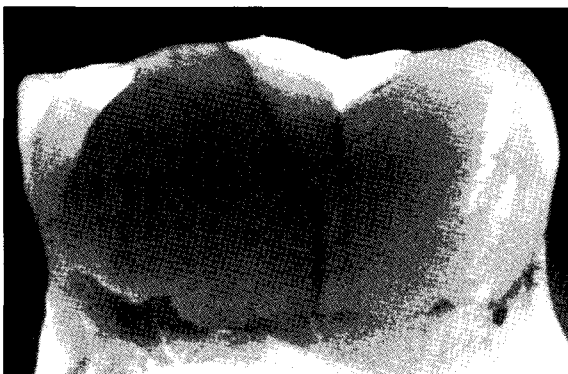


Fig. 1. DIFOTI Image (1 day).

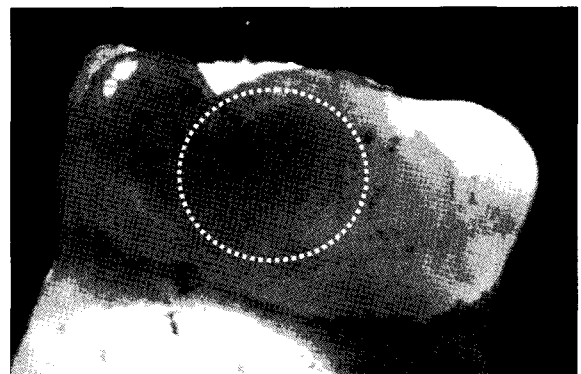
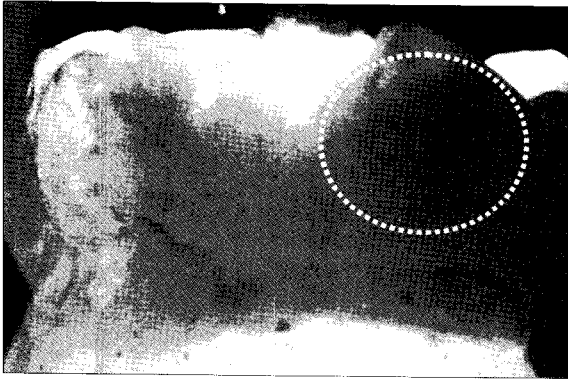
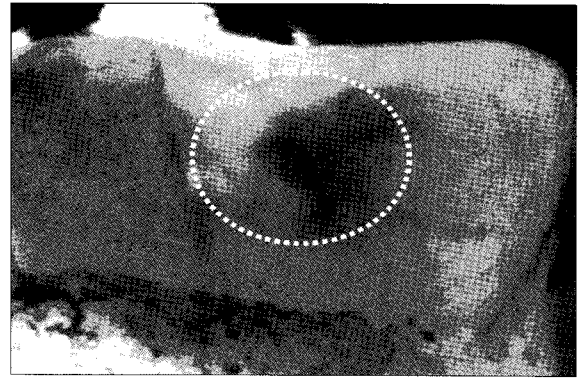


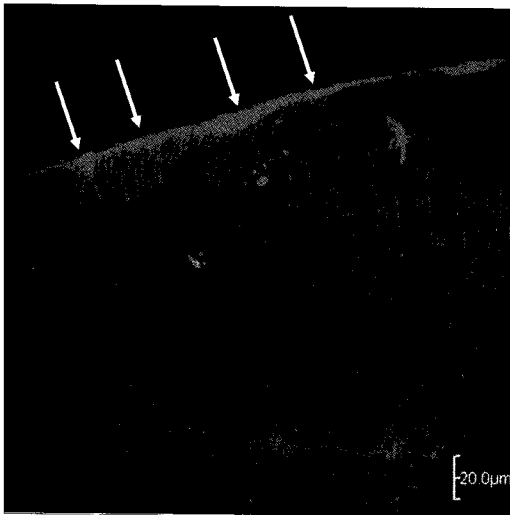
Fig. 2. DIFOTI Image (2 days).



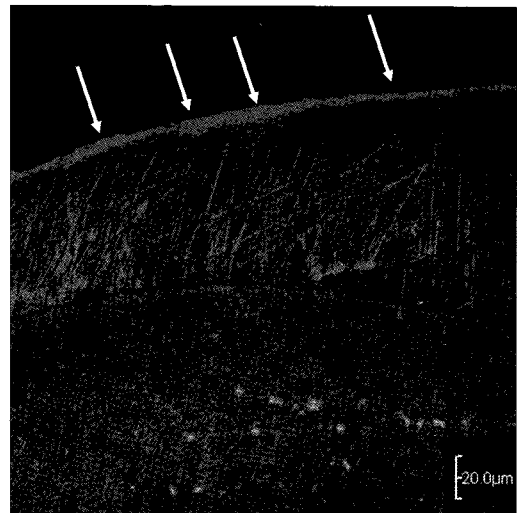
**Fig. 3.** DIFOTI Image (4 days).



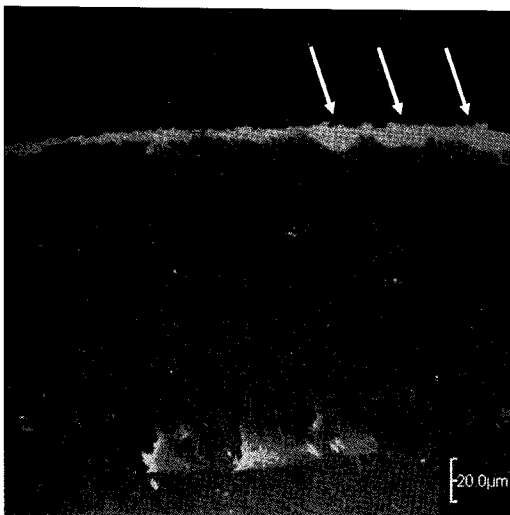
**Fig. 4.** DIFOTI Image (8 days).



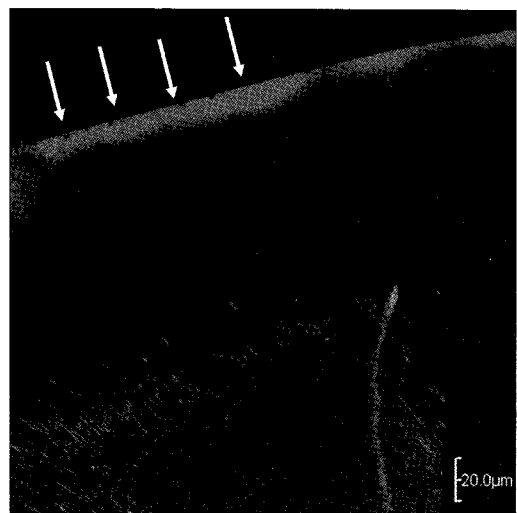
**Fig. 5.** Image of Confocal laser scanning microscopy (1 day).



**Fig. 6.** Image of Confocal laser scanning microscopy (2 days).



**Fig. 7.** Image of Confocal laser scanning microscopy (4 days).



**Fig. 8.** Image of Confocal laser scanning microscopy (8 days).

**Table 4.** Mean and standard deviation of luminosity ratio of demineralization and sound enamel surface by DIFOTI in *in vitro*

Group	Demin. Time (day)	Sample No.	Ratio (Mean±SD, %)
I	1	10	97.16±2.15
II	2	10	83.13±1.21
III	4	10	69.03±3.98
IV	8	10	53.63±10.88

-6.076X + 98.131이었고,  $r^2 = 0.833$ 로 나타났다( $p < 0.05$ ). 이를 Fig. 10에 산포도와 함께 회귀식을 나타내었다.

인공 탈회 시킨 유치를 대상으로 촬영된 DIFOTI 이미지를 CLSM를 gold standard로 하여 신뢰도를 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다.

CLSM상에서 우식이 있는 것으로 확인된 치아 면수 28개 중 DIFOTI 이미지상에서 8면은 없는 것으로 판정되었고 20면에서는 있는 것으로 판정되어 민감도는 0.71이었다.

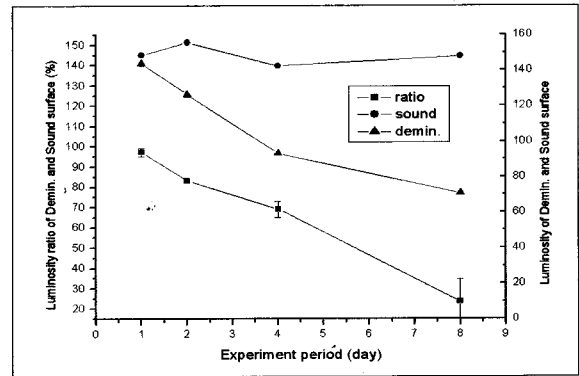
또한 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 치아 면수 12개 중 DIFOTI 이미지상에서 9면은 없는 것으로 판정되었고 3면에서는 우식이 존재하는 것으로 판정되어 특이도는 0.75 이었다.

#### IV. 총괄 및 고안

유럽을 중심으로 시작된 초기 법랑질 우식증 진단에 대한 관심은 미국, 일본 등 여러 나라에서 활기차게 진행되고 있다<sup>21,22</sup>. 초기 진단 장비의 개발은 미래의 임상 치과학에서 다음과 같은 장점들을 가져다 줄 수 있다. 첫째, 탈회된 법랑질을 와동 형성 전에 재광화시킬 수 있는 가능성을 증가시킬 수 있으며, 둘째, 와동 형성 단계로 진행될 수 있는 위험성을 감소시킬 수 있고, 세 번째, 깊은 와동에 의한 치수 자극을 예방할 수 있으며, 네 번째, 와동 형성 및 충전 시술과 관련된 비용을 절감할 수 있고, 다섯째, 자연 교합 상태를 그대로 유지할 수 있으며, 마지막으로 법랑질 고유의 자연미를 보존할 수 있는 장점들을 기대할 수 있다<sup>22</sup>.

1996년에 인디애나 컨퍼런스부터 치아 우식증의 초기 진단의 필요성이 재조명되었고, 새로운 진단 방법의 다양한 가능성이 논의된 바 있다. 또한 이러한 초기 인지가 곧 질환에 대한 진단을 의미하는 것은 아니며<sup>21</sup>, 단지 법랑질내의 무기질 변화를 나타내는 분자 수준의 현상이라는데 의견을 같이 하기로 하였다<sup>20</sup>.

초기 우식증(incipient caries 혹은 early caries)이란 용어



**Fig. 9.** Line graph of luminosity of demineralization and sound enamel surface by DIFOTI system.

는 와동 형성 전단계의 법랑질 탈회 상태로서, 생화학 요법 등에 의해 정상 법랑질로 회복될 가능성을 가지고 있고<sup>23</sup>, 임의 장비에 의해 탈회 상태가 인지될 수 있는 단계에 있다는 의미를 내포하고 있다<sup>22,24</sup>.

현재 미국을 중심으로 세계적으로 추진되고 있는 초기 진단법의 목표는 법랑질 평활면 표면의 200 $\mu$ m 깊이 이내에서 병소, 소와 열구의 평활면 표면의 200 $\mu$ m 깊이 이내에서 병소, 교합면 소와 열구 부위에서 법랑질 두께 1/2 범위까지, 감추어진 우식증(hidden caries), 법랑질 두께 1/2 범위내의 이차 우식증 등을 인지할 수 있어야 하고, 불필요한 침습적 시술을 줄일 수 있는 잘못된 양성 진단(false positive diagnosis)을 감소시켜야 하며, 보다 빠르게 재광화정도를 평가할 수 있어야 하며, 초기에 우식에 민감한 환자를 구분해 낼 수 있어야 한다<sup>22</sup>.

반면, 초기 진단과 관련된 문제점도 지적되고 있는 바, 초기 진단 과정에 소요되는 치과의사의 시간과 노력이 충분히 보상 받을 수 없을 수도 있다는 점과 육안으로 식별 불가능한 질환의 진단과 치료에 대해 치료비를 지불해야 하는데 부정적 견해를 가지고 있는 환자가 있을 수 있다는 측면뿐만 아니라 침습적 시술을 최소화하고 예방이 우선시 되는 치료 개념이 치과대학 교육이나 전문의들의 지지를 받지 못할 상황이 발생할 수도 있다는 점들이 우려되고 있다<sup>22</sup>.

그러나 이러한 우려에도 불구하고 실험실 연구에서 성능의 우수성이 높이 평가되었던 QLF 시스템<sup>16,25-31</sup>과 DIFOTI 시스템<sup>15,32,33</sup>이 이미 소개되어 임상가에서 사용되기 시작하였다. 그러나 아직까지 이러한 장비들에 임상 적용 연구가 부족한 상황이었으며 저자는 이 점에 착안하여 통제된 환경하에 있는 집단에 대한 임상 적용 가능성을 타진해 보고 개선점을 분석하고자 본 연구를 진행하게 되었다.

연구 대상을 소아치과 내원 환자들을 대상으로 시행할 수도 있었으나 동의 확보의 문제점, 통제된 치료 계획이 어렵고, 다양한 생활환경과 경제적 여건 등을 고려해 볼 때 객관적 표본 추출이 어렵다고 판단되었으며, 장기적인 연구 진행을 위해서는 환자의 정기 검진 및 기초 자료가 확실하게 유지 관리되어야

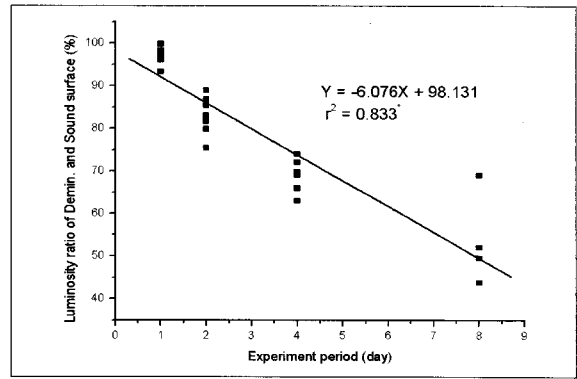
**Table 5.** Sensitivity and specificity of DIFOTI system in *in vitro*

DIFOTI \ CONFOCAL	Negative	Positive	Total
Absent	9	3	12
Present	8	20	28

하고, 필요시 계획된 진료 계획에 따라 구강 관리가 진행되고, 계획된 예방 치료 효과 등에 대한 분석을 시행하기 위해 부득이 보육원을 선택하게 되었다. 그러나 본 연구를 위해 단기간 내에 대상 아동들의 유치 교환이 이루어지지 않고, 개인차에 의해 부득이 6~8개월간의 수집기간이 소요되어 DIFOTI 시스템 분석에 대한 신뢰도가 떨어진 것은 사실이나, 향후 진행될 예방 프로그램 개발을 위한 기초 자료 공유라는 전제하에 어쩔 수 없는 연구 계획의 한계라고 인정하게 된다. 이러한 연구상의 한계점에도 불구하고 임상 적용 연구가 전무한 상태에서 계획된 환경하에서 이루어진 장기적인 임상 연구라는 그 의의를 가진다고 사료된다.

본 연구를 통해 저자는 조기 진단 장비의 초기 도입 비용에 비해 현재 초진 및 재진시 조기 진단에 대한 보험 청구 혹은 일반 청구가 불가능하여 부가 가치 창출을 위한 새로운 진료 서비스가 필요하다가 판단되었다. 본 연구에서 사용된 DIFOTI 시스템의 활용 방안을 살펴보면, 첫째 육안으로 우식이 없다고 판단되며 탐침 등을 통해 재확인하고 시술한 치면 열구 전색재의 실패 원인인 열구내 우식증의 정확한 진단을 통해 법랑질 재형성술 등을 통한 유동성 복합 레진의 수복과 치면 열구 전색재 도포의 정확한 진단이 가능하며, 둘째 방사선 사진으로 진단되지 않는 인접면 초기 법랑질 우식증이나 진단이 어려운 인접면 1급 우식증의 경우도 보다 명확히 진단해 줄 수 있고 환자나 보호자에게 이에 대한 이미지 정보를 제공해 줄 수 있을 뿐만 아니라 불소 치료 등을 이용한 재광화 시술에 대한 결과를 제시할 수 있어, 와동 형성 단계의 치료뿐 아니라 그 전단계의 치료까지 가능하다고 판단된다. 부가적으로 2차 우식증이나 외상에 의한 치아 파절 등을 정확하게 진단해 줄 수 있는 장점 등이 있다.

개인의 노력뿐만 아니라 국민 구강 보건 건강 향상을 위한 차과계의 예방 사업이 국가 차원의 적극적인 지원으로 확산됨에 따라 치아 우식증은 세계적으로 감소 추세에 있으며, 결과적으로 치아 우식증의 발생 부위가 교합면에서보다는 상대적으로 인접면으로 이환되어가는 양상을 보이고 있다<sup>3,4)</sup>. 또한 교합면



**Fig. 10.** Regression analysis of luminosity ratio of demineralization and sound enamel surface of DIFOTI image analysis.

우식증의 경우 깊은 열구 내에서 우식 유발율이 상대적으로 증가하고 있는 현상은<sup>34)</sup> 불소 등을 이용한 재광화 노력의 결과로 판단되어 긍정적으로 평가할 수 있는 반면 우식을 진단하는 측면에서는 오히려 걸림돌이 되는 것으로 해석되고 있다<sup>35-37)</sup>. 식별이 용이하지 않은 부위에 발생하는 우식을 조기 진단하기 위해서는 새로운 장비의 개발이 절실한데 Pitts<sup>37)</sup>는 이상적인 진단 장비로 인정받기 위해서는 치아 우식증이 없는 경우와 예방 치료가 추천되는 경우 그리고 보존 치료가 추천되는 경우 등을 명확히 구분지어 진단해 줄 수 있어야 한다고 주장하였다.

1997년 Schneiderman 등<sup>18)</sup>은 DIFOTI 시스템을 치아 우식증의 진단에 신뢰도가 높은 새로운 장비라고 소개한 바 있다. 본 시스템은 가시 광원을 광섬유를 통해 치아에 전달하고 Charge-Coupled Device(CCD) 카메라로 영상을 획득하여 컴퓨터로 보내고 실시간으로 우식 병소를 진단할 수 있도록 고안되었다. 본 연구에는 미국 EOS사에서 개발하여 시판하고 있는 DIFOTI®(<http://www.difoti.com>) 시스템을 사용하였다.

Keem과 Elbaum<sup>32)</sup>은 DIFOTI 시스템이 방사선 노출이 없고, 필름이 필요하지 않으며, 실시간으로 진단할 수 있고, 기존의 방사선 사진에 비해 매우 높은 민감도를 보여 준다는 장점을 소개하였다. 이러한 장점들은 인내심이 부족하고 성장 중에 있어 방사선에 매우 민감한 소아 환자의 치아 우식증 진단에 매우 유용하다고 판단되어 소아치과 임상에 적극 활용되어야 할 것으로 사료되었다.

실험실 연구 결과를 살펴보면, 1일에서 8일동안 인공 우식 용액으로 유구치 협설면에 형성된 평활면 초기 우식증에 대한 방사선 사진에서 우식 진행에 관한 어떠한 변화도 관찰되지 않았으나, DIFOTI 시스템의 경우 예방 치료가 필요한 평활면에 존재하는 초기 우식증을 진단할 수 있었을 뿐만 아니라, 육안으로 구별하기 어려운 인접면 및 교합면 우식증의 진단에 탁월한 능력을 발휘하여 많은 임상가에게 초기 치아 우식증의 조기 진단에 많은 도움을 줄 수 있으리라고 판단되었다. 1일군의 정상법랑질에 대한 탈회법랑질의 투과도 백분율은 97.16±2.15%(Fig. 1)로 나타나 광투과율이 비교적 정상법랑질과 비

슷하게 나타나고 있으며, 2일군에서는  $83.13 \pm 1.21\%$  (Fig. 2), 4일군에서는  $69.03 \pm 3.98\%$  (Fig. 3) 그리고 8일군에서  $53.63 \pm 10.88\%$  (Fig. 4)로 감소해 탈회 정도에 따른 광투과율이 비례적으로 나타남을 보이고 있다. 이러한 결과는 탈회가 계속적으로 일어나는 8일간의 변화를 인지할 수 있고 차후 이에 대한 재광화 과정을 평가할 수 있는 진단 능력을 가지고 있다고 평가할 수 있다 하겠다. CLSM 관찰에서 8일간의 탈회 기간 동안 형성된 병소 깊이는 약  $15 \sim 20 \mu\text{m}$  정도였으며 이는 Anusavice<sup>22)</sup>가 제안한  $200 \mu\text{m}$  이내 병소의 변화를 감지할 수 있는 능력이 판단되었다.

특정 장비에 대한 신뢰도 검증을 위해서 사용되는 민감도와 특이도에 대한 정의를 살펴보면, 측정된 변수에 대해 양성 결과 나타낸 개체의 수, 즉 true positive의 수를 true positive와 false negative를 합한 수로 나눈 값으로 정의되며, 어떤 분석법이 원하는 결과를 정확하게 감지해내는 능력이라고 설명된다. 이에 반해 특이도는 측정된 변수에 대해 음성의 결과를 나타내는 개체의 수, 즉 true negative의 수를 true negative와 false positive를 합한 수로 나눈 값으로 정의되며, 진단 오류를 감소시키기 위해서는 특이도가 더 중요하며, 특히 임상에서 그 중요성이 더욱 강조된다고 볼 수 있다.

Gold standard를 얻기 위한 조직학적 분석을 위해서는 transverse Microradiography (TMR)가 일반적으로 사용되지만<sup>35)</sup>, 많은 시간과 경비가 소요되고 국내에서는 사용이 어려움이 많아 편광현미경을 이용한 방법을 고려하였으나, Fontana 등<sup>16)</sup>의 연구 결과에서 CLSM이 TMR을 대체할 수 있다고 보고함에 따라 시편 제작이 용이하고 국내에서도 비교적 쉽게 접할 수 있는 CLSM을 gold standard로 활용하게 되었다.

CLSM 촬영시 치의학 분야에서 사용될 수 있는 염색제는 두 가지가 있으며, 복합 레진의 침투 깊이나 미세 누출 등을 관찰을 위해서 레진 결합제나 전처리제에 섞어서 사용하는 Rhodamine B isothiocyanate가 있고 농도는 0.1%가 추천된다<sup>39)</sup>. 그리고 치아나 경조직의 탈회부위 또는 우식부위의 관찰을 위해서는 Rhodamine B가 추천되며, 경조직에서 탈회되거나 부식된 부위로 염색액이 침투해 들어감으로서 해당 부위를 관찰할 수 있으며, 적정 농도는 0.1mM이 추천된다<sup>16)</sup>. 본 연구에서도 Fontana 등<sup>16)</sup>이 사용하고 추천했던 방법과 동일하게 0.1mM Rhodamine B를 사용하여 1시간동안 암실에서 염색하였다. CLSM 관찰시 탈회된 부위로 Rhodamine B 침투하여 밝게 빛나는데 이를 기준으로 탈회된 병소 깊이를 인지할 수 있으며 Fig. 5~8의 CLSM 사진에서 화살표로 표시되어 있다.

치아 우식증의 진단 방법에 있어 통상적인 사진 및 탐침법은 개인의 주관적 판단에 의존하게 되므로 불필요할 수도 있는 침습적 와동 형성으로 치질 손상을 유발 할 수 있거나 교합면 초기 우식증의 오진에 따른 치면 열구 전색재 도포로 인한 2차 우식증을 유발할 수도 있다. 평활면이나 교합면에 발생하는 초기 우식증의 진단은 육안이나 탐침으로 진단하기에는 불가능할 뿐

만 아니라<sup>8,9)</sup>, 탈회된 열구가 탐침에 의해 쉽게 손상되어 와동 형성을 가속화하고 세균과 함께 부산물이 치질내로 침입하게 됨에 따라 의원성 치아 우식증이 야기할 뿐만 아니라<sup>40)</sup>, 감염된 치아로부터 치아 우식 원인균을 탐침에 의해 다른 치아로 옮기게 되어 치아 우식증을 확산시키게 된다<sup>41)</sup>. 또한 Lussi<sup>36)</sup>는 탐침 사용 여부가 진단의 정확도를 높여 주지 못했으며, 탐침 사용의 민감도가 62%, 특이도가 84%로 나타나 치료하지 않아도 될 건강한 치아를 치료하게 되는 결과를 초래할 수 있다고 주장한 바 있으며, 본 연구 결과에서도 육안으로 구별하기 유치의 초기 법랑질 우식증에 대한 DIFOTI 이미지의 민감도가 71%, 특이도가 75%로 나타났으며, 시진보다 우수한 결과를 보여 주었다. 또한 Schneiderman 등<sup>18)</sup>의 연구에서도 기존의 방사선 촬영법보다 DIFOTI 이미지 분석이 보다 우수한 민감도를 보였다고 하였으며, 본 연구에서도 방사선 사진과 비교 분석한 결과 DIFOTI 이미지상에서는 구별되는 초기 법랑질 우식증에 대한 소견을 방사선 사진상에서는 진단할 수 없었다. 이와 같이 기존의 진단 방법인 시진과 탐침은 치아 우식증 진단에 도움이 못되고, 오히려 의원성 와동 형성 및 우식 감염의 확산만을 초래하므로 구강 검진에 많은 주의를 기울여야 할 것이다.

본 연구에서는 유치 법랑질의 탈회 정도를 평가하기 위하여 DIFOTI 이미지 분석 프로그램을 개발하여 분석하였다. 프로그램 개발된 사용된 언어는 미국 Microsoft사의 Visual Basic Language를 사용하였으며, 그래픽 처리를 위한 graphic module은 무료로 공개용으로 프로그램을 사용하였다. 초기 버전에 비해 많은 점이 개선되었으나 차후 pseudo coloring과 처리 속도의 개선 등을 보완하여, 향후 DIFOTI 시스템 개발에 포함시킬 계획이다.

분석 프로그램에서 사용된 투과도비에 대한 용어 정의는 광섬유를 통해 전달된 가시광선이 법랑질을 투과해 CCD 카메라에 잡힌 영상에 나타난 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 밝기의 비를 나타내며, 현재까지 이에 대한 정확한 용어 정의가 확립되어 있지 않다. 초기 진단 장비인 QLF 시스템은 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 형광빛 반사 정도를 나타내는 fluorescence radiance ratio 라는 용어를 사용하고 있으며, 본 연구에서도 이러한 원리를 응용하였다. 유치 법랑질의 투과도를 1일, 2일, 4일 그리고 8일간 탈회시킨 후 투과도비를 구하고, 이를 회귀 분석한 결과 시간이 경과함에 따라 유의하게 감소하였으며, 결정 계수  $r^2=0.833$ , 즉 83%의 매우 우수한 설명력을 보여 주었으며, 회귀 방정식은  $Y=-6.1X+98.1$ 이었다 ( $p<0.05$ ). 이러한 결과로 미루어 본 연구에서 개발된 프로그램은 탈회 법랑질 양상을 분석하는데 적극 활용할 수 있을 것으로 사료되었다.

현재 개발되어 임상에서 사용되어지기 시작한 또 다른 장비 중의 하나인 QLF 시스템은 치아 표면에 비추어진 형광빛에 반사된 이미지를 분석하는 방식으로 주변 빛의 간섭에 영향을 많이 받으며, 치아 표면에 존재하는 타액과 같은 수분에 민감하다는 단점이 지적되고 있다. 이에 반해 DIFOTI 시스템은 가시광



선이 법랑질 내부로 확산되는 방식이어서 주변 빛이나 수분에 영향을 거의 받지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 DIFOTI 시스템의 Hand-Piece 구성물 중 구강 내에 들어가는 mouth-piece는 일회용으로 설계되어 있어 추가적인 살균 소독 등이 필요치 않으며, 크기에 따라 영구치와 유치용으로 구분된 인접면 촬영용과 교합면 촬영용으로 구분되어 있다. 다만 hand-piece의 크기가 비교적 크고 무게감이 있어 장시간 사용시 손의 피로감을 쉽게 느낄 수 있으며, 광원의 밝기가 다소 어두워 처음 사용자에게는 올바른 광원의 방향을 설정하기 어렵고, 손과 발이 잘 협조하여 원하는 이미지가 잡혔을 때 순간적으로 발로 스위치를 눌러야 하기 때문에 익숙해질 때까지 어려움을 많이 겪어야 하며, 이러한 불편 사항을 고려하여 옵션으로 제공되는 음성 작동 스위치는 영어로 명령을 내려야 하며 익숙해질 때까지 반복 학습이 필요하다. 또한 이미지 캡처 인터페이스가 PCI 방식으로 컴퓨터내에 장착되어야 하기 때문에 설치 및 이전에 다소 어려움이 있을 수 있어 USB 방식으로 개선되어야 할 것이다.

DIFOTI 시스템은 구강 검진이나 방사선 촬영에서는 진단할 수 없는 초기 법랑질의 우식증의 변화를 인지할 수 있는 능력이 있는 장비로서 추후 임상 적용에 꼭 필요할 것으로 사료된다<sup>42)</sup>. 현 임상 적용 단계의 연구에서는 교환 시기에 있는 유구치를 대상으로 밖에 할 수 없는 한계가 있어 DIFOTI 이미지 구내 촬영 시기와 자연 탈락을 기다렸다가 조직학적 분석을 시행하여야 하기 때문에 시간 지연으로 인한 실험상의 오차가 있을 수밖에 없다. 그러나 현재 임상 연구가 전무한 상태이고 동일 시간대에 비슷한 조건의 충분한 수의 실험 대상 치아를 구하는 것은 현실적으로 불가능하다고 볼 때 본 연구는 임상 적용을 위한 시험 단계로 그 의의가 크다 하겠다.

DIFOTI 시스템을 이용한 치아 우식증 진단법은 육안으로 구별하기 어려운 유치의 초기 법랑질 우식증의 진단에 매우 유용할 것으로 기대되며, 방사선 사진에서 판독 불가능한 협면과 설면에 대한 진단 능력과 방사선 노출이 필요 없고, 촬영과 현상 및 유지 관리에 필요한 비용과 시간이 절약될 수 있으며, 실시간으로 촬영 결과를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있어, 보호자의 구강 위생 교육 및 치료 계획 수립에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 촬영 시간 동안 환자가 머리를 움직이지 않도록 협조를 얻어야 하며, 장비가 비교적 크고 무거워 능숙하게 다루기 위해서는 다소의 숙련이 필요하며, 촬영 각도에 따라 다양한 영상을 보이기 때문에 원하는 영상을 얻기 위해 다소의 숙련이 필요하며, 촬영된 영상 진단시 타액이나 음식물 잔사, 변색 등과의 감별 진단에 유의해야 한다. 향후 좀 더 다루기 쉽도록 hand-piece가 경량화할 필요성이 있으며, 충분한 광원이 전달되도록 mouth-piece의 밝기 개선되어야 할 것으로 사료된다. 추가적으로 실험실 연구 등을 위한 영상 분석 프로그램이 제공되어야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 DIFOTI 시스템은 앞으로 개선되어야 할 여지가 많이 가지고 있으나 예방적 접근이 중요시 되는 미래 치의학 분야에서 지향해야 할 목표를 충족시켜줄 훌륭한 장비라고 판단

되며, 이를 위해서는 보다 효율적인 재광화 방법이 고안되어야 하고, 탈회 정도에 따른 재광화의 반응 정도 등에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

## V. 결 론

치아 우식증의 조기 진단을 위해 새로 개발된 DIFOTI 시스템의 진단 능력을 검증하기 위해 구강내에서 촬영한 결과와 CLSM를 이용한 조직학적 분석을 비교한 결과와 실험실에서 인공적으로 탈회시킨 유치에 대한 DIFOTI 시스템과 CLSM를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구내에서 촬영한 DIFOTI 이미지의 민감도는 0.61이었고, 특이도는 0.63이었다.
2. 실험실에서 인공 탈회시킨 유치의 협설면 초기 우식증에 대한 DIFOTI 이미지의 민감도는 0.71 였고, 특이도는 0.75 였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 DIFOTI 시스템을 이용한 치아 우식증 진단법은 육안으로 구별하기 어려운 유치의 초기 법랑질 우식증의 진단에 매우 유용할 것으로 기대되며, 방사선 사진에서 판독 불가능한 협면과 설면에 대한 진단 능력과 방사선 노출이 없고, 촬영과 현상 및 유지 관리에 필요한 비용과 시간이 절약될 수 있으며, 실시간으로 촬영 결과를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있어, 환자와 보호자의 구강 위생 교육 및 치료 계획 수립을 위한 영상 정보를 제공할 수 있는 매우 유용한 장비라고 평가되었다.

## 참고문헌

1. Pitts NB, Kidd EA : Some of the factors to be considered in the prescription and timing of bitewing radiography in the diagnosis and management of dental caries. *J Dent*, 20(2):74-84, 1992.
2. Moss ME, Zero DT : An overview of caries risk assessment, and its potential utility. *J Dent Educ*, 59(10):932-940, 1995.
3. Creanor SL, Russell JI, Strang DM, *et al.* : The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *Br Dent J*, 169(5): 126-129, 1990.
4. Lussi A : Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res*, 27(5):409-416, 1993.
5. Von der Fehr FR, Loe H, Theilade E : Experimental caries in man. *Caries Res*, 4(2):131-148, 1970.
6. Joyston-Bechal S, Kidd EA : The effect of three commercially available saliva substitutes on enamel *in vitro*. *Br Dent J*, 163(6):187-190, 1987.

7. Manji F, Fejerskov O, Nagelkerke NJ, *et al.* : A random effects model for some epidemiological features of dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol*, 19(6):324-328, 1991.
8. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A : Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res*, 21(4):368-374, 1987.
9. Ismail AI : Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol*, 25(1):13-23, 1997.
10. Thylstrup A : Mechanical vs. disease-oriented treatment of dental caries: educational aspects. *J Dent Res*, 68(6):1135, 1989.
11. Ando M, Hall AF, Eckert GJ, *et al.* : Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss *in vitro*. *Caries Res*, 31(2):125-131, 1997.
12. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. *Caries Res*, 35(1):21-26, 2001.
13. Ando M, Schemehorn BR, Eckert GJ, *et al.* : Influence of enamel thickness on quantification of mineral loss in enamel using laser-induced fluorescence. *Caries Res*, 37(1):24-28, 2003.
14. Caliskan Yanikoglu F, Ozturk F, Hayran O, *et al.* : Detection of natural white spot caries lesions by an ultrasonic system. *Caries Res*, 34(3):225-232, 2000.
15. Gonzalez-Cabezas C, Fontana M, Stookey GK : Measurement of mineral gain and loss on dental enamel and dentin using confocal microscopy. *Methods Enzymol*, 307:485-496, 1999.
16. Fontana M, Li Y, Dunipace AJ, *et al.* : Measurement of enamel demineralization using microradiography and confocal microscopy. A correlation study. *Caries Res*, 30(5):317-325, 1996.
17. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : Detection of *in vitro* demineralization of primary teeth using quantitative light-induced fluorescence (QLF). *Int J Paediatr Dent*, 12(3):158-167, 2002.
18. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, *et al.* : Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): *in vitro* study. *Caries Res*, 31(2):103-110, 1997.
19. Zero DT, Mol A, Roriz CS, *et al.* : Caries detection using digital imaging fiber-optic Transillumination (DIFOTITM): A preliminary evaluation. *Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference*, 169-184, 1999.
20. White DJ : Use of synthetic polymer gels for artificial carious lesion preparation. *Caries Res*, 21(3):228-242, 1987.
21. Hume WR : Need for change in dental caries diagnosis. *Proceedings of 1st Annual Indiana Conference*, 1-10, 1996.
22. Anusavice KJ : Need for early detection of caries lesions: A United States Perspective. *Proceedings of 4th Annual Indiana Conference*, 13-29, 1999.
23. Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/ remineralization *in vitro*. *Caries Res*, 34(4):281-288, 2000.
24. Ie YL, Verdonschot EH : Performance of diagnostic system in occlusal caries detection compared. *Commu Dent Oral Epidemiol*, 22:187-191, 1994.
25. Ando M, van Der Veen MH, Schemehorn BR, *et al.* : Comparative study to quantify demineralized enamel in deciduous and permanent teeth using laser- and light-induced fluorescence techniques. *Caries Res*, 35(6):464-470, 2001.
26. Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ : Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol*, 30(6):298-307, 2001.
27. Gonzalez-Cabezas C, Fontana M, Gomes-Moosbauer D, *et al.* : Early detection of secondary caries using quantitative, light-induced fluorescence. *Oper Dent*, 28(4):415-422, 2003.
28. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : Detection of *in vitro* demineralization of primary teeth using quantitative light-induced fluorescence (QLF). *Int J Paediatr Dent*, 12(3):158-167, 2002.
29. Pretty IA, Ingram GS, Agalamanyi EA, *et al.* : The use of fluorescein-enhanced quantitative light-induced fluorescence to monitor de- and re-mineralization of *in vitro* root caries. *J Oral Rehabil*, 30(12):1151-1156, 2003.
30. Pretty IA, Pender N, Edgar WM, *et al.* : The *in vitro* detection of early enamel de- and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleats using quantitative light-induced fluorescence. *Eur J Orthod*, 25(3):217-223, 2003.
31. Pretty IA, Smith PW, Edgar WM, *et al.* : Detection of *in vitro* demineralization adjacent to restorations using quantitative light induced fluorescence (QLF).

- Dent Mater, 19(5):368-374, 2003.
32. Keem S, Elbaum M : Wavelet representations for monitoring changes in teeth imaged with digital imaging fiber-optic transillumination. IEEE Trans Med Imaging, 16(5):653-663, 1997.
  33. Young DA : New caries detection technologies and modern caries management: merging the strategies. Gen Dent, 50(4):320-331, 2002.
  34. Truin GJ, van 't Hof MA, Kalsbeek H, *et al.* : Secular trends of caries prevalence in 6- and 12-yr-old Dutch children. Commun Dent Oral Epidemiol, 21:249-252, 1993.
  35. Kidd EA, Naylor MN, Wilson RF : Prevalence of clinically undetected and untreated molar occlusal dentine caries in adolescents on the Isle of Wight. Caries Res, 26(5):397-401, 1992.
  36. Lussi A : Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. Caries Res, 25(4):296-303, 1991.
  37. Pitts NB : Diagnostic tools and measurements - impact on appropriate care. Community Dent Oral Epidemiol, 25(1):24-35, 1997.
  38. Arends J, Bosch JJ : Demineralization and remineralization evaluation techniques. J Dent Res, 71(Spec Iss):924-928, 1992.
  39. Pioch T, Stotz S, Staehle HJ, *et al.* : Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. Adv Dent Res, 11(4):453-461, 1997.
  40. van Dorp CS, Exterkate RA, ten Cate JM : The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. ASDC J Dent Child, 55(5):343-347, 1988.
  41. Basting RT, Sena MC : Occlusal caries: diagnosis and non-invasive treatments. Quintessence int, 30:174-178, 1999.
  42. Friedman MJ : Early detection of caries. Compend Contin Educ Dent, 21(8):668-670, 672, 674, 2000.

Abstract

STUDY OF INCIPIENT ENAMEL CARIES USING A DIGITAL ILLUMINATION FIBER-OPTIC  
TRANSILLUMINATION AND CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPE

Jee-Tae Kim\*, Jong-Soo Kim\*, Seung-Oh Kim\*\*

\*Department of Pediatric Dentistry, \*\*Department of Dental Anesthesiology,  
School of Dentistry, Dankook University

The purpose of this study were to evaluate the efficacy of the newly developed Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination(DIFOTI) system in detecting carious lesions in *in vivo* as gold standard with confocal laser scanning microscopy and compared the efficacy of traditional radiography and DIFOTI system in *in vitro* as gold standard with confocal laser scanning microscopy, too.

For the *in vivo* study, the subject pool consisted of 23 grammar school age patients just prior to entering the mixed dentition phase. Each patient was given a DIFOTI examination of the anterior and posterior teeth. During 6~8 months, the naturally expire primary teeth were collected and the efficacy of DIFOTI system was compared with confocal laser scanning microscopy.

For *in vitro* study, 40 primary teeth were collected and decalcified by Carbopol decalcification solution for 1, 2, 4 and 8 days. Every experiment period, all teeth were DIFOTI examined and sectioned to take an image of confocal laser scanning microscopy.

Sensitivity and specificity were calculated from the result of DIFOTI examine and confocal laser scanning microscopy analysis.

The results are as follows:

1. From the *in vivo* study, the sensitivity of DIFOTI examine was 0.61 and specificity was 0.63.
2. From the *in vitro* study, the sensitivity of DIFOTI examine was 0.71 and specificity was 0.75.

**Key words** : Digital Image Fiber-optic Trans-Illumination, Early detection, Dental caries