

Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination과 Laser Fluorescence를 이용한 평활면 초기우식증의 재광화에 관한 비교 연구

황규선 · 김종수 · 유승훈

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination(DIFOTI)이나 Laser Fluorescence(LF)를 이용한 방법이 평활면 법랑질 초기우식증의 재광화 정도를 정확하게 monitoring 할 수 있는지의 여부를 평가하기 위하여 진행되었다. 우치 법랑질로부터 얻어진 인공 우식 절편을 특별히 제작된 의치에 식립한 다음, 10명의 실험 참가자들이 구강 내에 장착하고 3주 동안 불소 양치용액을 사용하도록 한 다음 Confocal Laser Scanning Microscopy(CLSM)로 측정된 병소 깊이를 gold standard로 사용하여 DIFOTI와 LF로 측정된 우식 절편의 재광화 정도를 비교 평가한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. DIFOTI에 측정된 광도 백분율이 재광화 기간이 지남에 따라 증가하였으며, CLSM에서 측정된 병소 깊이와 유의한 역상관관계를 보였다($r=-0.683, p<0.01$).
2. LF 측정치는 재광화 기간이 경과함에 따라 증가하였으며 CLSM에서 측정된 병소 깊이와 유의한 상관관계를 보였다($p<0.05$).
3. CLSM 촬영 결과 500 ppm 불소 양치군이 0 ppm 불소 양치군보다 빠른 속도로 병소 깊이가 감소하는 양상을 보여 주었다.

주요어 : 평활면 초기 우식증, 우치, 재광화, Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination, Laser Fluorescence

I. 서 론

전 세계적으로 치아우식증은 감소 추세에 있으며 치아우식증의 정확한 진단은 점점 더 어려워지고 있다¹⁻³⁾. 통상의 진단 방법인 탐침^{4,5)}이나 방사선 촬영⁶⁾은 초기우식증의 진단에 많은 한계점을 가지고 있다.

미래 치과학에서는 외과적 외동 형성보다는 비침습적 방법을 지향하는 술식이 필요하게 될 것으로 판단되며, 이를 위해서는 실험실 장비의 정확성을 임상에서 재현해 낼 수 있는 장비 개발

의 필연적이다⁷⁻¹⁰⁾.

치아우식증의 탈회와 재광화를 연구하는 실험실 방법으로는 미세 경도 측정¹¹⁻¹³⁾이나 편광 현미경¹⁴⁾ 그리고 횡단 미세방사선법(TMR)¹¹⁾ 등이 사용되고 있으나, 현재까지는 TMR이 가장 우수하다고 알려져 있다.

법랑질의 미세한 광물질 변화를 인지할 수 있는 임상 장비를 개발하려는 다양한 노력의 결과로 laser fluorescence(LF)¹²⁻¹⁵⁾, digital imaging fiber-optic trans-illumination(DIFOTI)^{8,16-19)}, quantitative light fluorescence(QLF)^{10,20-28)} 등이 개발되었으며, 이 외에도 confocal laser scanning microscopy (CLSM)^{29,30)}나 초음파³¹⁾ 등을 이용한 연구도 진행 중이다.

Fontana 등³²⁾은 CLSM이 전통적인 gold standard인 TMR과 높은 상관관계를 보이므로 CLSM을 gold standard로 사용할 수 있다고 하였다.

교신저자 : 김종수

충남 천안시 안서동 산29

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

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

E-mail: jskim@dku.edu

본 연구는 비침습적 진단 방법인 DIFOTI를 이용한 평활면 법랑질 초기우식증의 재광화 연구와 평활면 초기우식증에 대한 LF의 임상 적용에 대한 평가가 매우 미흡하다 판단되어 CLSM을 gold standard로 사용하여 DIFOTI의 영상 분석과 LF의 측정 결과를 비교하여 그들의 임상적 효용성을 평가하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구 재료

(1) 우치 시편의 준비

도살 직후 수거된 소의 상악에서 전치를 저속 디스크로 절단하여 채취한 후 치아 표면의 이물질을 제거하고 우식이나 crack이 없는 우치를 선별하여 0.1% thymol에 보관하였다.

내경 3 mm의 hollow core drill을 사용하여 법랑질 시편을 채취한 후 acrylic rod에 내경 3.5 mm의 hole 형성한 후 Dura Base를 사용하여 acrylic rod에 형성한 와동 내에 법랑질이 상방으로 오도록 고정시켰다.

Acrylic rod를 수직으로 유지할 수 있도록 고안된 금속 홀더에 끼운 후 320, 600, 1200 grit의 실리콘 카바이드 페이퍼로 100 μm정도의 법랑질 표면을 연마하여 시편간의 변이를 최소화하도록 하였다. 이후 30, 1, 0.5 μm 알루미늄실리케이트 파우더를 사용하여 최종 연마하였다.

(2) DIFOTI 시스템

DIFOTI 시스템(DIFOTI, EOS, USA)은 low-voltage 50-watt arc lamp가 장착된 illumination box와 CCD 카메라가 장착된 hand-piece, 영상 저장 스위치로 사용되는 USB 타입의 foot pedal 그리고 영상의 저장 및 관리를 하는 컴퓨터로 구성되어 있다.

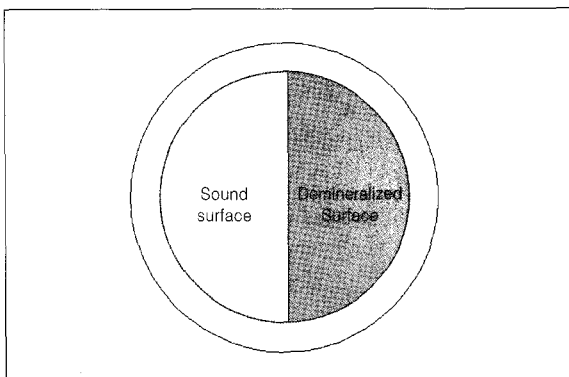


Fig. 1. Schematic drawing of acrylic rod.

(3) LF 시스템

LF 시스템(DIAGNOdent, Kavo, Germany)은 655nm의 파장을 가진 laser를 발광하는 diode가 장착되어 있으며, 탈회 정도에 따라 00~99까지의 수치를 나타내 준다.

2. 연구 방법

(1) 인공 탈회 용액의 제조

탈회 용액은 자연 발생 초기우식증을 가장 유사하게 재현한다고 알려진 White³⁹⁾의 방법에 따라 calcium phosphate, 0.1M Lactic acid와 Carbopol C 907로 탈회 용액을 제조하였다.

0.1% lactic acid 500ml에 50% NaOH를 첨가하여 pH 5.0으로 조절한 후, 1.5g Tribase calcium phosphate (34%~40%, FW 502.3)를 HCl을 이용하여 pH 5.0으로 유지하면서 30분 동안 용해시켰다.

30분경과 후 filtering하였으며, 1M lactic acid 50ml와 1M carbopol stoc solution 200ml를 첨가한 후 증류수를 첨가하여 1000ml가 되도록 하여 완성하였다.

(2) 인공 우식 유발

시편의 절반을 불소가 포함되지 않은 nail varnish로 도포한 후 37℃ 항온기에 24시간 보관하여 법랑질 평활면 초기우식증을 인공적으로 유발시켰다(Fig. 1).

(3) 실험 참가자 선발

실험 지원자 중 최근 1년 이내에 불소 처치나 불소 보조제를 복용하지 않았고, 글라스 아이오노머 수복 재료로 충전한 경험이 없으며, 결손이나 우식 치아가 없는 실험 참가자 10명을 선발하였다. 참가자의 평균 연령은 23.5 ± 3.1 세였다.

실험 참가자들의 상악 인상을 채득하여 가철성 장치를 제작하고 1주간 착용하여 장치의 이상 유무를 확인하였다.

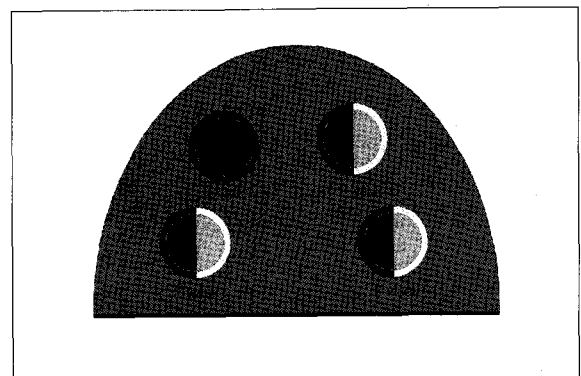


Fig. 2. Schematic drawing of denture with enamel specimens.

(4) 재광화 실시

인공 우식이 유발된 시편을 가철성 장치에 4개씩 sticky wax 로 고정하고(Fig. 2), 동일 조건을 부여하기 위하여 새로 구입 한 치약과 칫솔 지급하였다. 불소 양치 용액의 불소 농도는 실험군은 500 ppm, 위약 실험군은 0 ppm으로 설정하고 각각 5 명의 실험 참가자에게 1주일에 개인당 500 cc씩 제조하여 분배 하였다.

실험 참가자들은 매일 취침 전 약 30 cc의 불소 용액으로 1분 간 입안에 머금고 양치를 한 후 뱉도록 하였다.

잇솔질은 하루 4회 실시하며 장치를 장착하고 시행하며 실험 시편에 직접 잇솔질을 하지 않도록 지시하였으며, 불소 양치 및 잇솔질을 시행한 후 기록지에 기록하도록 하였다.

실험 기간이 경과된 후 수거된 법랑질 시편들은 아세톤을 사용하여 nail varnish를 모두 제거한 다음 증류수에 보관하였다.

(5) DIFOTI image 촬영

정상 법랑질 및 탈회/재광화 법랑질이 모두 선명하게 잘 보이도록 DIFOTI의 hand-piece의 위치를 조절하여 모니터에 나타난 영상을 확인한 후 foot pedal switch를 밟아 영상을 컴퓨터에 시편 별로 저장하였다.

촬영된 이미지는 영상 분석 프로그램(Able Image Analyzer V3.6, USA, Fig. 3)을 사용하여 intensity를 측정한 다음 정상 법랑질(LS)에 대한 재광화법랑질(LR)의 값을 백분율로 계산하였다.

$$\text{Luminosity Ratio (\%)} = \text{LR} / \text{LS} \times 100$$

(6) LF 측정

정상 법랑질 및 재광화 법랑질 표면에서 각각 3회씩 반복 측정하여 평균값을 대표값으로 하여 엑셀 프로그램(MS-Office, Microsoft, USA)에 측정값을 저장하였다. 재광화 전에 대한 재광화 후의 변화량(ΔF)는 다음과 같이 산출하였다.

$$\Delta F = \text{Pre laser fluorescence} - \text{Post laser fluorescence}$$

(7) CLSM 촬영

CLSM을 사용하여 병소 깊이를 측정하기 위해 정상 법랑질과 재광화 법랑질이 모두 포함되도록 low speed saw를 사용하여 시편을 절단하였다(Fig. 4).

절단된 시편은 슬라이드 글라스에 순간접착제를 이용하여 고정하고, 320 grit silicate sandpaper를 사용하여 바닥에 수평이 되도록 연마한 다음 600, 1200, 2400 grit silicate sandpaper를 이용하여 활택 한 후 particle size 30, 1, 0.5 μm aluminosilicate powder로 최종 활택하였다.

활택이 완료된 시편은 0.1mM Rhodamine B(FW 479.02)를 사용하여 1시간 동안 담근 후, wipe paper로 잔여 염색용액을 제거한 다음 aluminum foil을 사용해 빛을 차단하여 보관하였다.

Rhodamine B는 빛에 매우 민감하기 때문에 용액 제조 및 시편 염색 작업은 암실에서 진행하였다.

준비된 시편들은 CLSM(FV 300, Olympus, Japan)을 이용하여 재광화 부위를 확인한 후 FLUO-View V4.2 (Olympus, Japan) 프로그램을 이용하여 영상을 저장하였다.

Table 1. Experimental schedule and grouping

Group	Remin. Time(day)	Fluoride Rinse(ppm)		Detection Method
		0	500	
I	0	5	5	DIFOTI
II	7	5	5	LF
III	14	5	5	CLSM
IV	21	5	5	

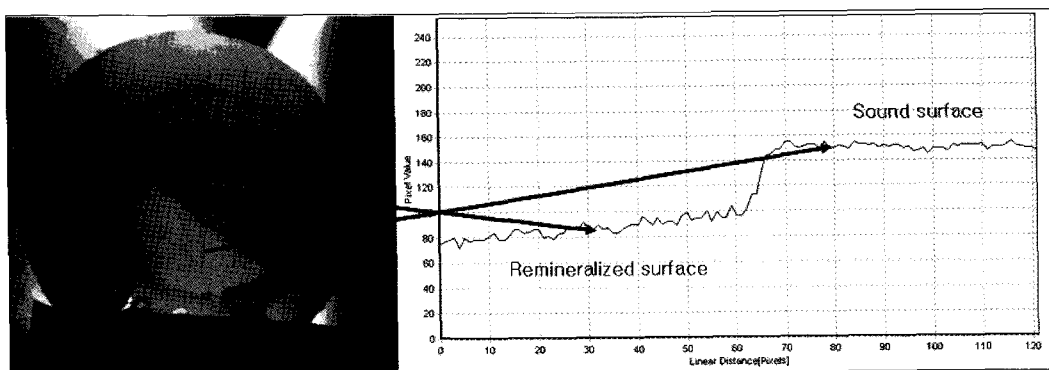


Fig. 3. Image analysis of DIFOTI.

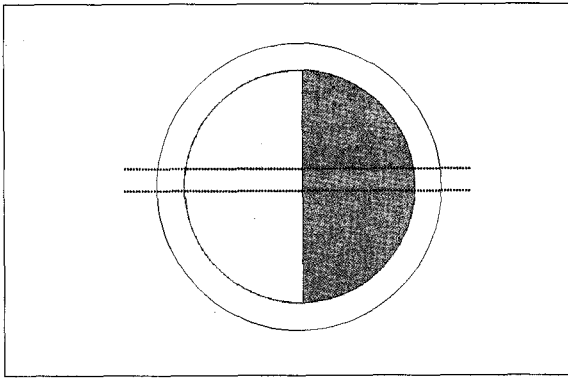


Fig. 4. Schematic drawing of cutting for CLSM.

CLSM 영상은 영상 분석 프로그램(Able Image Analyzer V3.6, USA)을 사용하여 병소의 가장 깊은 곳과 가장 낮은 곳 그리고 중간 값을 골라 측정한 후 평균값을 대표값으로 선정하여 엑셀 프로그램(MS-Office, Microsoft, USA)에 저장하였다.

III. 연구 성적

1. DIFOTI 영상 분석 결과

0 ppm 및 500 ppm 불소 용액 양치군의 시간 경과에 따른 DIFOTI 영상 측정 결과를 평균과 표준편차로 나타낸 표로써 정상 법랑질에 대한 재광화 법랑질의 재광화 정도를 나타내는 광도 백분율은 정상 법랑질에 대한 재광화 정도를 백분율로 평가하였다.

불소가 포함되지 않은 군의 경우 초기에는 광도 백분율이 $22.2 \pm 3.2\%$, 1주 후에는 $48.9 \pm 3.6\%$, 2주 후에는 $66.6 \pm 5.6\%$ 그리고 3주 후에는 $80.6 \pm 2.8\%$ 까지 증가하였다. 500 ppm 불소 양치액을 사용한 군에서는 초기에 $21.6 \pm 1.9\%$, 1주 후에는 $58.5 \pm 3.1\%$, 2주 후에는 $68.1 \pm 2.7\%$ 그리고 3주 후에는 $87.2 \pm 9.2\%$ 를 보여 주었다.

실험 기간에 따른 광도 백분율(luminosity ratio)의 변화를 Fig. 5에 선 그래프로 나타내었다. 재광화 기간이 증가함에 따라 두 군 모두 광도 백분율이 증가하는 양상을 보여 주고 있다. 실험 시작 1주 동안에 500 ppm 불소 양치군이 보다 급격한 증가 양상을 보여 준 것이 특징이었다.

2. LF 측정 결과

0 ppm 및 500 ppm 불소 용액 양치군의 재광화 시작 전과 재광화 기간 경과후의 LF 측정치의 평균과 표준 편차와 재광화 시작 전에 대한 재광화후의 변화량(ΔF)에 대한 평균과 표준편

차를 구하였다.

불소가 포함되지 않은 군의 경우 초기 단계의 LF 변화량은 1.4 ± 1.8 , 1주 후에는 2.6 ± 1.5 , 2주 후에는 4.6 ± 1.5 그리고 3주 후에는 4.4 ± 1.1 까지 증가하였다. 500 ppm 불소 양치액을 사용한 군의 초기 단계에서는 1.6 ± 2.1 , 1주 후에는 2.2 ± 0.8 , 2주 후에는 3.4 ± 1.5 그리고 3주 후에는 5.4 ± 2.8 로 나타났다.

막대그래프로 나타낸 재광화 전후의 laser fluorescence의 변화량은 재광화 기간이 경과함에 따라 서서히 증가하는 양상을 보여 주었다(Fig. 6).

3. Cross sectional CLSM 측정 결과

0 ppm 및 500 ppm 불소 용액 양치군의 병소 깊이를 측정된 결과, 불소가 포함되지 않은 군의 초기 단계의 병소 깊이는 $148.5 \pm 18.5 \mu\text{m}$, 1주 후에는 $128.1 \pm 13.4 \mu\text{m}$, 2주 후에는 $121.0 \pm 20.8 \mu\text{m}$ 그리고 3주 후에는 $110.7 \pm 18.7 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 500 ppm 불소 양치액을 사용한 군의 초기 단계 병소 깊이는 $145.8 \pm 26.3 \mu\text{m}$, 1주 후에는 $121.4 \pm 24.7 \mu\text{m}$, 2주 후에는 $82.4 \pm 17.1 \mu\text{m}$ 그리고 3주 후에는 $68.6 \pm 16.2 \mu\text{m}$ 로 나타났다.

병소 깊이의 변화를 선 그래프로 나타낸 Fig. 7에서 500 ppm 불소 양치군이 0 ppm 불소 양치군보다 더 빠른 속도로 병소 깊이가 감소하는 양상을 볼 수 있었다.

CLSM에서 얻어진 병소 깊이에 대한 DIFOTI의 광도 백분율과 LF의 상관관계 분석 결과(Table 2) DIFOTI의 광도 백분율에 대한 상관 계수는 -0.683 로 역상관관계를 보였으며 ($p < 0.01$), LF에 대한 상관 계수는 0.385 로 상관관계가 있음을 알 수 있었다($p < 0.05$).

각 군의 측정 결과를 회귀 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 불소 농도에 관계없이 모든 군에서 시간이 지남에 따라 변화가 있음을 보여 주고 있다. DIFOTI에서 측정된 광도 백분율의 결과를 보면 불소가 포함되지 않은 군의 회귀식은 $Y = 19.3X + 6.2$ 이었고, 500 ppm 불소 양치군은 $Y = 20.7X + 7.2$ 로 나타나 불소 양치군의 광도 백분율이 약간 더 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. LF의 결과를 살펴보면, 불소가 포함되지 않은 양치 용액군은 회귀식이 $Y = 1.1X - 0.5$ 이었고, 500 ppm 양치군이 $Y = 1.27X + 0.0$ 으로 나타나 500 ppm 양치군이 약간 더 빠르게 LF 값이 증가하는 것으로 나타났다.

그러나 CLSM에서 측정된 병소 깊이의 변화는 불소가 포함되지 않은 군이 $Y = -12.1 + 157.2$, 500 ppm 불소 양치군이 $Y = -27.1X + 172.2$ 로 나타나 500 ppm 불소 양치군이 불소가 포함되지 않은 군보다 약 2.2배 빠르게 감소하는 양상을 보여 주었다.

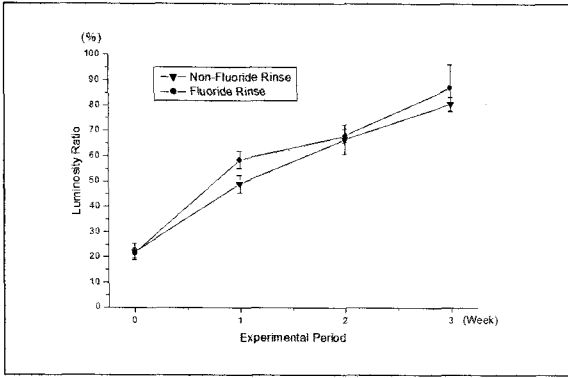


Fig. 5. Luminosity ratio from DIFOTI image of each group.

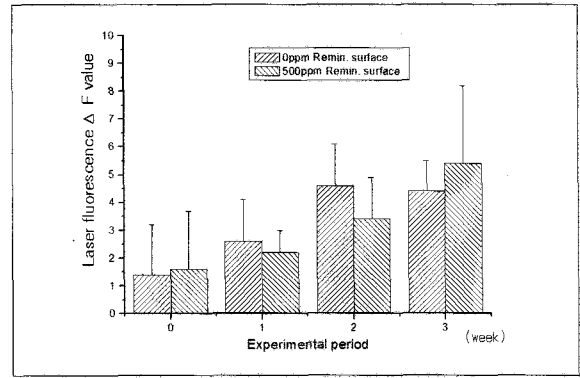


Fig. 6. Laser fluorescence ΔF values from each group.

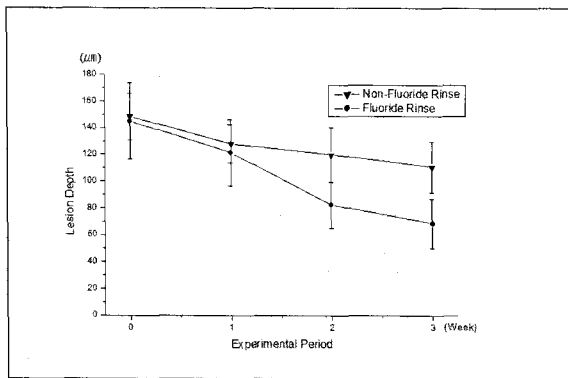


Fig. 7. Lesion depth from cross sectional confocal laser scanning microscopy of each group.

Table 2. Correlation coefficients among ΔF, luminosity ratio and lesion depth

	Luminosity ratio from DIFOTI	Laser Fluorescence
Lesion depth from cross sectional CLSM	-0.683**	0.385*

(** : p<0.01, * p<0.05, from Pearson correlation coefficients)

Table 3. Regression analysis of ΔF, luminosity ratio and lesion depth

Fluoride rinse	Regression formula	
Luminosity ratio from DIFOTI	0 ppm	Y = 19.3X + 6.2*
	500 ppm	Y = 20.7X + 7.2*
Laser Fluorescence	0 ppm	Y = 1.1X - 0.5*
	500 ppm	Y = 1.27X + 0.0*
Lesion depth from cross sectional CLSM	0 ppm	Y = -12.1 + 157.2*
	500 ppm	Y = -27.1X + 172.2*

IV. 총괄 및 고안

정상적인 구강 환경 하에서는 치질의 탈회와 재광화가 동시에 일어난다. 치아의 건강은 이러한 광물질 교환이 평형(equilibrium)을 이룰 때 유지되는 것이며, 균형이 파괴되면 우식과정을 밝게 된다. 재광화가 이루어지지 않으면 결국 와동 형성단계에 이르게 되며 비가역적인 수복 과정이 필요하게 된다. 그러므로 와동 형성전단계의 광물 소실 여부를 조기에 발견하고, 탈

회의 범위와 진행 단계까지를 명확하게 규명할 수 있어야 적절한 예방을 시행할 수 있다^{1,34)}.

통상의 진단법인 탐침에 대해 Ekstrand 등⁴⁾과 Penning 등⁵⁾은 교합면 우식증을 인지하는 민감도가 24%로 매우 낮고, 오히려 정상 법랑질을 우식 법랑질로 진단하는 특이도가 높게 나타나 신뢰할 수 없다고 하였으며, Verdonshot 등⁶⁾도 방사선 촬영에 의한 초기 법랑질의 변화를 인지하는 데는 한계가 있다고 지적하였다.

유럽을 중심으로 새롭게 부각되고 있는 조기 진단의 목표는 법랑질 탈회를 조기에 발견하여 비침습적 방법으로 재광화 시키는데 있다고 할 수 있으며³⁵⁾, 이를 위해서는 초기 법랑질 우식의 변화를 인지할 수 있는 우수한 민감도와 특이도를 가진 새로운 장비의 개발이 요구되는데⁷⁻¹⁰⁾, 이를 위해서 기존의 실험실 연구 방법들을 바탕으로 임상에 적용할 수 있는 다양한 연구 방법들이 모색되었다. 법랑질의 변화를 인지할 수 있는 방법들로는 법랑질의 경도를 측정하여 광물질 소실 정도를 평가할 수 있는 미세경도 측정법¹¹⁻¹³⁾과 편광 현미경 관찰법¹⁴⁾ 등 다양한 방법들이 소개되고 있으나 이러한 방법들은 각각 장단점을 동시에 가지고 있어 활용에 제약이 많다^{36,37)}. 횡단 미세방사선법은 광물질의 조성, 변화와 분포 등을 정확하게 정성 분석이 가능하지만 시편을 반드시 절단해야만 한다¹⁵⁾. 이러한 장비들은 실험실 단계를 벗어나지 못하고 있으며 임상 적용을 위해서는 새로운 개념의 장비가 필요하게 되었다³⁴⁾.

임상 적용에 성공한 장비들로는 레이저를 이용하여 교합면과 평활면의 치아우식증을 평가할 수 있는 LF¹²⁻¹⁵⁾, 빛의 산란을 이용한 fiber-optic trans-illumination^{7,20)}에 디지털 CCD 카메라를 장착한 DIFOTI^{8,16-18)} 그리고 실험실 단계에서는 레이저를 사용하였으나 임상 적용과정에서 가시광선을 사용하여 법랑질의 광물질 변화를 인지할 수 있는 QLF^{10,20-28)}가 사용되기 시작하였다.

새로운 장비들에 대한 기존 연구^{20,33)}에서는 법랑질의 탈회 정도를 평가하는 능력에 대한 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)에 초점이 맞추어져 장비들의 평가가 이루어져 왔으나 임상적으로 불소에 의한 재광화¹⁰⁾에 대한 감시(monitoring)가 제대로 이루어질 수 있는지에 대한 평가가 매우 미흡하다고 사료되어 본 연구를 계획하게 되었다.

본 연구의 목적상 실험 대상으로 사용될 개체의 변이가 최소화되어야 할 것으로 판단하고 발거 시기와 발거한 개체에 대한 나이와 식이 습관에 의한 차이를 배제하기 위하여 우치를 선택하게 되었다. 우치는 대량으로 일시에 구할 수 있는 장점이 있으나 본 연구에 필요한 우치 40개를 준비하기 위하여 소 18마리에서 채취한 200여개의 우치를 활택 연마하였으나, 법랑질 표면의 파손, 결절, 변색, crack, 우식 등 다양한 원인에 의해서 배제되면서 52개의 시편을 완성하게 되었다. 결과적으로 우치는 구하기는 쉽지만 법랑질이 약하고 crack이 많아 좋은 시편을 제작하기에는 어려움이 많은 것으로 판단되었다.

준비된 우치들에서 최대한의 시편을 채취하기 위하여 미국 인디애나 치과대학의 Oral Health Research Institute에서 사용하는 방법에 따라 선반용 밀링 기계를 개조하여 hollow core drill이 장착된 장비를 개발하였다. 이 장비를 이용하여 한 개의 우치에서 2개내지 3개씩의 법랑질 시편을 채취할 수 있었다. 채취된 시편은 다루기 쉽도록 레진 봉에 고정하여 사용하였다. 레진 봉에 고정된 시편은 원형(Fig. 1)이기 때문에 횡단면 평가를 위해 절단할 경우 1개내지 2개의 시편밖에 얻을 수 없다는 단점이 있으나, 실험 과정 중 활택 연마가 용이하고 다루

기 쉬운 장점이 있다.

준비된 시편들은 10명의 지원자들의 가철성 구강 장치에 장착하여 불소 양치 용액을 이용하여 21일간 재광화를 진행하였다. 현재 불소를 이용한 재광화 방법이 가장 보편적이며 효과적으로 사용되고 있으나, 앞으로 보다 획기적이고 선택적으로 탈회 부위를 재광화할 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다. 재광화 과정은 실험자들이 배당된 불소의 농도를 알지 못하는 상태에서 진행되었다.

1997년 Schneiderman 등²¹⁾은 빛의 산란을 이용한 DIFOTI 시스템을 임상에서 사용할 수 있는 장비로 처음으로 소개하였다. 탈회 법랑질에서 빛의 흡수가 일어나 정상 법랑질과 쉽게 구분되어 교합면 우식증은 물로 평활면이나 인접면 우식증의 진단에도 매우 유용하며, 본 교실의 연구¹⁸⁾에서도 그 효용성이 입증된 바 있다. DIFOTI 시스템의 제작에 직접 참여했던 Keem과 Elbaum³⁸⁾은 방사선 노출이 필요 없고, 실시간으로 진단할 수 있으며, 기존의 방사선 사진 촬영법에 비해 매우 높은 민감도를 보여 준다고 소개하였다. 이러한 장점들은 미래 치과 학 분야에서 기초적으로 제공되어야 할 진단적 방법이라고 사료된다.

LF는 이미 여러 연구에서 그 효용성이 입증된 바 있으나 평활면 우식증의 진단 및 재광화에 대한 평가가 미흡하다 사료되어 본 연구에 포함시켰다.

두 장비의 평가를 위해 사용된 gold standard는 CLSM이었다. CLSM은 Fontana 등³²⁾의 연구에서 시간과 노력을 최소화 하면서 TMR에 상응하는 우수한 조직학적 기준을 제공해 준다고 하였으며 이를 바탕으로 본 연구에 도입하게 되었다.

DIFOTI 이미지는 영상 분석 프로그램을 사용하여 정상 법랑질에 대한 탈회/재광화 법랑질의 밝기를 백분율을 구하여 광도 백분율(luminosity ratio)이라 명명하였다. DIFOTI 이미지는 흑백으로써 0에서 255의 밝기 값을 갖게 되는데 영상 분석 프로그램을 사용하여 관심 부위의 값을 측정할 수 있었다. DIFOTI 이미지는 광원으로부터 나온 빛이 광섬유를 통해 치아에 비추지게 되고, 이 빛은 법랑질에 산란되어 반대쪽 CCD 카메라에 영상이 잡히게 된다. 촬영된 영상은 컴퓨터 화면에 흑백으로 나타나게 되며 술자가 이 영상을 보고 판독해야 한다. 향후 영상 관리 프로그램에 영상 분석 기능이 도입되어 임상에서 실시간으로 진단에 도움을 줄 수 있도록 가상 컬러(pseudo-coloring) 혹은 특정 부위의 값을 수치로 표현해 줄 수 있는 소프트웨어적인 보완이 시급하다고 사료되었다.

Gold standard로 사용된 CLSM은 횡단으로 절단된 법랑질 시편을 Rhodamine B로 염색하여 우식 부위를 판독하게 되는데, 이것은 Rhodamine B가 탈회 법랑질의 광물질 소실 부위에 착색되는 원리를 이용한 것이다. 본 연구에서는 천연색으로 촬영된 CLSM 영상을 흑백으로 전환하여 DIFOTI 영상과 같은 방법으로 영상 분석 프로그램에서 불러 들여 병소 깊이를 측정하였다. CLSM 영상에서 필요한 것은 Rhodamine B가 침착된 정도를 밝기에 의해서 구분하기 때문에 Red, Green Blue

값과 Intensity 값들로 표현되는 화소값들 중 Intensity 값만을 얻고자 흑백으로 전환하여 사용하였다.

기존 연구들과의 결과를 비교하고자 여러 문헌들을 고찰하였으나 아직까지 임상에 적용된 재광화 평가 결과가 없어 아쉬움이 남았다.

임상에서 사용되어지고 있는 또 다른 장비중의 하나인 QLF 시스템^{10,20-28)}의 원리는 치아 표면에 비추어진 형광빛이 탈회된 부위에서 반사가 일어나지 않아 정상 법랑질과 구별되도록 하는 것인데, 주변 빛의 간섭에 영향을 많이 받으며, 치아 표면에 존재하는 타액과 같은 수분에 민감하다는 단점이 지적되고 있다. 이에 반해 DIFOTI 시스템은 마우스피스 자체가 치아 전체를 덮게 되어 외부 빛의 간섭을 배제할 수 있어 주변 빛이나 수분에 영향을 거의 받지 않는 장점을 가지고 있다.

결론적으로 DIFOTI 시스템은 평활면 초기우식증의 재광화 정도를 정확하게 측정할 수 있었으며 임상에서 초기 법랑질 우식증의 재광화 치료시 그 변화를 정확하게 평가 할 수 있는 매우 유용한 장비라고 판단되며, 차후 보다 효율적인 초기 우식증 재광화 방법 개발과 이에 대한 임상적 평가가 필요할 것으로 사료되었다.

V. 결 론

DIFOTI와 LF가 평활면 법랑질 초기우식증의 재광화 정도를 정확하게 monitoring 할 수 있는지의 여부를 평가하기 위하여, 우치 법랑질에 인공 우식을 유발 시킨 후 10명의 실험 참가자를 대상으로 3주 동안 0 ppm과 500 ppm 불소 양치용액으로 재광화시킨 후 cross section하여 CLSM으로 측정된 병소 깊이를 gold standard로 사용하여 평가한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. DIFOTI에 측정된 광도 백분율이 재광화 기간이 지남에 따라 증가하였으며, CLSM에서 측정된 병소 깊이와 유의한 역상관관계를 보였다(p<0.01).
2. Laser fluorescence 측정치는 재광화 기간이 경과함에 따라 증가하였으며 CLSM에서 측정된 병소 깊이와 유의한 상관관계를 보였다(p<0.05).
3. CLSM 촬영 결과 500 ppm 불소 양치군이 0 ppm 불소 양치군보다 빠른 속도로 병소 깊이가 감소하는 양상을 보여 주었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 DIFOTI 시스템은 평활면 초기 우식증의 재광화 정도를 정확하게 측정할 수 있었으며 임상에서 초기 법랑질 우식증의 재광화 치료시 그 변화를 정확하게 감시 할 수 있는 매우 유용한 장비라고 판단된다.

참고문헌

1. Bader JD, Brown JP : Dilemmas in caries diagnosis. J Am Dent Assoc, 124(6):48-50, 1993.

2. Hume WR : Need for change in standards of caries diagnosis—perspective based on the structure and behavior of the caries lesion. J Dent Educ, 57(6):439-443, 1993.
3. Verdonschot EH, Wenzel A, Bronkhorst EM : Assessment of diagnostic accuracy in caries detection: an analysis of two methods. Community Dent Oral Epidemiol, 21(4):203-208, 1993.
4. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A : Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. Caries Res, 21(4):368-374, 1987.
5. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, et al. : Validity of probing for fissure caries diagnosis. Caries Res, 26(6):445-449, 1992.
6. Verdonschot EH, van de Rijke JW, Brouwer W, et al. : Optical quantitation and radiographic diagnosis of incipient approximal caries lesions. Caries Res, 25(5):359-364, 1991.
7. Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonschot EH : Light propagation through teeth containing simulated caries lesions. Phys Med Biol, 40(8):1375-1387, 1995.
8. Zijp JR, ten Bosch JJ, Groenhuis RA : HeNe-laser light scattering by human dental enamel. J Dent Res, 74(12):1891-1898, 1995.
9. Ismail AI : Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. Community Dent Oral Epidemiol, 25(1):13-23, 1997.
10. Lussi A, Hibst R, Paulus R : DIAGNOdent: an optical method for caries detection. J Dent Res, 83 Spec 80-83, 2004.
11. Arends J, Schuthof J, Jongebloed WG : Lesion depth and microhardness indentations on artificial white spot lesions. Caries Res, 14(4):190-195, 1980.
12. Davidson CL, Hoekstra IS, Arends J : Microhardness of sound, decalcified and etched tooth enamel related to the calcium content. Caries Res, 8(2):135-144, 1974.
13. Featherstone JD, ten Cate JM, Shariati M, et al. : Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. Caries Res, 17(5):385-391, 1983.
14. Silverstone LM : Structure of carious enamel, including the early lesion. Oral Sci Rev, 3:100-160, 1973.
15. Arends J, ten Bosch JJ : Demineralization and rem-

- ineralization evaluation techniques. *J Dent Res*, 71 Spec 924-928, 1992.
16. Lussi A, Imwinkelried 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.
 17. Chong MJ, Seow WK, Purdie DM, et al. : Visual-tactile examination compared with conventional radiography, digital radiography, and Diagnodent in the diagnosis of occlusal occult caries in extracted premolars. *Pediatr Dent*, 25:341-349, 2003.
 18. 염혜웅, 김종수, 유승훈 : Digital imaging fiber-optic trans-illumination을 이용한 초기 법랑질 우식 병송의 조기 진단. *대한소아치과학회지*, 31(4):587-597, 2004.
 19. Friedman J, Marcus MI : Transillumination of the oral cavity with use of fiber optics. *J Am Dent Assoc*, 80(4):801-809, 1970.
 20. Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonshot EH : Propagation of light through human dental enamel and dentine. *Caries Res*, 29(1):8-13, 1995.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. 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.
 26. Kuhnisch J, Heinrich-Weltzien R : Quantitative light-induced fluorescence (QLF)—a literature review. *Int J Comput Dent*, 7(4):325-338, 2004.
 27. Higham SM, Pretty IA, Edgar WM, et al. : The use of in situ models and QLF for the study of coronal caries. *J Dent*, 33(3):235-241, 2005.
 28. 이창근, 김종수, 유승훈 : Quantitative Light-induced Fluorescence를 이용한 법랑질 탈회 속도에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지*, 31(3):506-515, 2004.
 29. Watson TF, Petroll WM, Cavanagh HD, et al. : In vivo confocal microscopy in clinical dental research: an initial appraisal. *J Dent*, 20(6):352-358, 1992.
 30. Gonzalez-Cabezas C, Li Y, Noblitt TW, et al. : Detection of mutans streptococci in secondary carious lesions using immunofluorescent techniques and confocal laser scanning microscopy. *Caries Res*, 29(3):198-203, 1995.
 31. 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.
 32. 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.
 33. White DJ : Use of synthetic polymer gels for artificial carious lesion preparation. *Caries Res*, 21(3):228-242, 1987.
 34. Gonzalez-Cabezas C, Fontana M, Dunipace AJ, et al. : Measurement of enamel remineralization using microradiography and confocal microscopy. A correlational study. *Caries Res*, 32(5):385-392, 1998.
 35. Anusavice KJ : Need for early detection of caries lesions: A United States Perspective. *Proceedings of 4th Annual Indiana Conference*, 13-29, 1999.
 36. Ten Bosch JJ, Angmar-Mansson B : A review of quantitative methods for studies of mineral content of intra-oral caries lesions. *J Dent Res*, 70(1):2-14, 1991.
 37. Featherstone JD : Consensus conference on intra-oral models: evaluation techniques. *J Dent Res*, 71 Spec 955-956, 1992.
 38. 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.

Abstract

COMPARATIVE STUDY ON THE EFFICACY OF DIGITAL IMAGING FIBER-OPTIC
TRANS-ILLUMINATION AND LASER FLUORESCENCE IN MONITORING THE
REMINERALIZATION PROCESS OF INCIPIENT SMOOTH SURFACE ENAMEL LESIONS

Kyu-Seon Hwang, Jong-Soo Kim, Seung-Hoon Yoo

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

Through out the world dental caries seems to be decreased as it is difficult to make an accurate diagnosis for dental caries.

The traditional diagnostic method which is probing and x-ray taking has many limitations to diagnose the early caries, so there were recommendations for the needs of new equipments such as laser fluorescence(LF), digital imaging fiber-optic trans-illumination(DIFOTI), and quantitative light fluorescence(QLF) which were developed from various study results. Also confocal laser scanning microscopy(CLSM) and ultrasonics are used for research progression.

This study is to evaluate whether it is possible to monitor accurately for remineralization amount of enamel surface early caries using DIFOTI or LF. After inducing artificial caries to bovine teeth to 10 participants, remineralization was enhanced by 0 ppm and 500 ppm fluoride mouth rinse solution for 3 weeks. Then they were cross sectioned and analyzed using gold standard of the lesion depth measured by CLSM. The following results were obtained:

1. The measured percentage of light intensity(luminosity ratio) by DIFOTI increased with remineralization period, and showed significant reverse correlation with lesion depth measured by CLSM ($p<0.01$).
2. The measurement of laser fluorescence increased with remineralization period, and showed significant correlation with lesion depth measured by CLSM ($p<0.01$).
3. To the result for CLSM, 500 ppm fluoride mouth rinse group showed rapid rate for decreased tendency of lesion depth than 0 ppm fluoride mouth rinse group.

In conclusion DIFOTI system was used to measure accurately for the remineralization amount of early surface caries, it is a very useful equipment to detect precisely the changes for early enamel caries remineralization during treatments.

Key words : Smooth surface initial caries, Bovine teeth, Remineralization, Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination, Laser Fluorescence