

레이저 형광법을 이용한 인접면 우식증의 진단

설재현 · 오유향 · 이난영 · 이상호

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

레이저 형광법을 이용하여 초기 인접면 우식증을 탐지할 수 있는지의 여부와 그 탐지 감도를 평가하여 인접면 우식증의 진단에 활용 가능한지의 여부를 규명하기 위하여 사람의 치아를 사용하여 다양한 깊이의 인공우식병소를 유발시키고 이를 가시광선 투과법에 의한 시진, 교익 방사선사진 촬영, 레이저 형광법, 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법 등으로 관찰하여 검사법 간의 일치도, 상관관계, 병소 깊이에 따른 광밀도 등을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 탈회시간과 각 검사법들과 일치도 검사에서 시진의 경우 tau-c 값이 0.08로 탈회시간에 따른 시진의 검사 수치가 일치하지 않았으나 교익 방사선사진, 레이저 형광법, 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 tau-c 값은 각각 0.60, 0.48, 0.64로 일치하는 것으로 나타났다.
2. 탈회시간에 따른 병소깊이와 각 검사법 간의 상관관계는 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법($r=0.51$), 레이저 형광법($r=0.43$), 교익 방사선사진($r=0.35$), 시진($r=0.33$) 순으로 높았으며 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법과 레이저 형광법은 탈회 시간과 상관관계가 있었다($P<0.05$).
3. 교익 방사선사진을 기준 검사법으로 한 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 진단학적 민감도는 각각 67%, 100%였으며 특이도는 57%, 11%로 민감도에 비해 상대적으로 낮게 나타났다.
4. 병소의 깊이에 따른 병소 표면에서의 건전 치질과 우식 치질 사이의 광밀도의 차이(DFR)는 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법이 레이저 형광법에 비해 크게 나타났으며($P<0.05$) 병소 깊이의 변화에 따른 광밀도 변화는 레이저 형광법의 경우 유의한 변화를 보이는데 반해 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법에서는 변화를 보이지 않았다.

이상의 결과를 종합하면, 초기 인접면 우식증의 진단에 있어 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법은 교익 방사선사진에 뒤지지 않은 진단능을 가지고 있으나 우식 병소의 정성적인 분석뿐 아니라 정량적 분석이 가능한지의 여부는 향후 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

주요어 : 인접면 우식증, 진단, 레이저 형광법

I. 서 론

치아우식증의 진단은 주로 탐침이나 시진에 의한 정성적인 분석에 의해 이루어지고 있으며 정량적인 분석은 단지 와동의 크기나 깊이, 그리고 변색 정도를 눈 짐작으로 표현하는 수준에서 이루어지고 있다. 그러나 방사선사진 검사는 우식증의 진행 정도를 보다 객관적으로 표현하므로써 정량적인 평가가 가능하나 오직 인접면 우식증에 국한된다는 점, 초기 우식증은 탐지되

교신저자 : 이상호

광주광역시 동구 서석동 375번지

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 062-220-3860 Fax : 062-225-8240

E-mail : shclee@chosun.ac.kr

* 이 논문은 과학기술부 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 레이저응용 신기술개발 연구센터의 2004년도 연구비 지원에 의해 연구되었음.

지 않는다는 점, 그리고 방사선 피폭 등이 문제점으로 지적되고 있다¹⁾.

초기 우식증이 발견되었을 때 보존적인 처치가 필요한가 혹은 수복 처치가 필요한가를 선택하는 중요한 요소는 정성적인 진단보다는 정량적인 진단에 의존하기 때문에 치아우식증의 진단 분야에 있어서 정성적인 진단 뿐 아니라 정량적인 진단의 중요성이 강조된다.

근래에 정성적인 진단법에 새로운 기법을 도입하여 정량적인 진단을 가능하게 한 여러 가지 우식 진단법이 소개되고 있는데, 기존의 방사선 촬영 영상을 디지털화한 digital subtraction radiograph(DSR)²⁾, tuned aperture computed tomography (TACT)³⁾ 등 새로운 기법이 소개되고 있으며 가시광선을 이용한 광섬유 투과법(fiber-optic transillumination, 이하 FOTI)에 CCD 카메라를 도입하여 화면을 컴퓨터 영상화한 방법^{4,6)}, 전류를 이용하는 전기 전도도 측정법(electrical conductance measurement, ECM)⁷⁻¹⁰⁾, 초음파를 이용하는 ultrasonic caries detector¹¹⁾ 등이 소개되고 있다. 이외에도 레이저 형광(fluorescence)에 의한 영상을 디지털화한 정량 분석형 레이저 형광법(quantitative laser-induced fluorescence, QLF)^{13,14)}도 관심을 모으고 있다.

이중 레이저 형광법은 광학적 진단법으로 진단 방법이 간단하고 영상화가 쉬워 정량적인 분석이 가능하며 교합면 우식증을 진단할 수 있을 뿐 아니라¹⁵⁻¹⁷⁾ 다른 방법으로 진단할 수 없는 평할면의 초기 우식증을 진단할 수 있다고¹⁸⁻²²⁾ 알려져 있다. 그러나 현재까지 인접면 우식증의 진단이 가능한 지에 대해서는 밝혀진 바 없다.

인접면 우식증은 병소가 노출되어 있는 평할면 우식증이나 교합면 우식증과는 달리 탐침이나 육안으로 탐지하기 어려워 우식 병소가 상당히 진행된 후에야 발견되는 경우가 많다. 특히 소아의 경우 인접면의 접촉점이 크고 법랑질이 얇으며 석회화가 영구치에 비해 상대적으로 덜 되어 인접면 우식증의 발병율이 높을 뿐 아니라 진행 속도도 매우 빠르다. 따라서 인접면 우식증의 조기 진단은 성인 뿐 아니라 소아에서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

현재까지 인접면 우식증을 진단할 수 있는 방법으로 교익 방사선 사진과 가시광선을 치아에 투과시켜 그 명암을 육안으로 확인하는 FOTI 방법²³⁻²⁵⁾ 등이 있는데 전술한 바와 같이 방사선 사진 촬영은 방사선 피폭이나 현상액에 의한 환경오염 문제가 있으며 초기 우식병소의 경우 진단능이 낮다는 점, 주사선이 정확하게 조준되지 않을 경우 인접상과 겹쳐 판독이 불가능하다는 점 등의 문제점을 가지고 있으며^{26,27)}, FOTI는 진단학적 민감도가 낮다는 문제점이 있다²⁸⁻³¹⁾.

레이저 형광법이 다른 방법에 비해 민감도가 좋아 초기 우식증의 진단이 가능하다는 장점을 가지고 있어^{5,16,33)} 인접면 우식증의 진단에 이용될 수 있다면 교익 방사선 사진을 대체할 수 있을 것이다. 이 경우 건강과 환경적인 면에서의 방사선 사진 검사의 문제점을 해결할 수 있음은 물론 이미지를 쉽게 디지털

화 할 수 있어 정량분석이 가능하게 된다.

따라서 본 연구의 목적은 레이저 형광법을 이용하여 초기 인접면 우식증을 탐지할 수 있는지의 여부와 그 탐지 감도를 평가하여 인접면 우식증의 진단에 활용 가능한지의 여부를 규명하는데 있다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

발거된 사람의 치아중 stereoscope상에서 인접면에 우식이나 결함이 없는 건전한 소구치 40개를 선정하였다. 본 연구에 사용한 레이저는 488nm의 연속파장을 갖는 아르곤 레이저(SPECTRUM®, HGM, USA.)이며 600 μ m 직경의 광섬유, 그리고 형광현상의 관찰을 위해 특수한 영역의 파장만 통과시키는 반사율 4.76% 이하의 유리 필터(Kenko®, THK photo products, INC, Japan)를 사용하였다.

2. 실험방법

레이저 형광법이 실제 초기 인접면 우식증을 어느 정도 정확하게 감지할 수 있는지의 여부를 평가하기 위해 사람의 치아를 사용하여 다양한 깊이의 인공우식병소를 유발시키고 이를 가시광선 투과법에 의한 사진, 교익 방사선 사진 촬영, 레이저 형광법으로 관찰한 후 이들 검사법들에 대한 진단학적 일치도와 상관관계를 평가하였으며, 시편의 탈회 시간에 따른 우식병소의 조직학적인 깊이와 레이저 형광법으로 관찰한 병소 표면에서의 광밀도를 측정, 평가하였다.

1) 초기 인접면 우식병소 형성

치근의 1/3을 레진 block에 매몰시켜 경화시킨 후 치관의 근, 원심면에 직경 3 mm의 접착 테이프를 부착한 후 치아의 전면에 nail varnish를 도포한다. 다음 치관에 부착한 접착 테이프를 제거하여 이 부분만 인공우식 용액에 노출되도록 하였다.

시편을 STPP 인공우식 용액(0.1 M lactic acid+0.24 mM sodium tripolyphosphate, pH adjusted at 4.2 with sodium hydroxide)에 담구어 37 $^{\circ}$ C 3일, 5일, 7일, 9일 동안 각각 10개씩 항온기에 위치시켜 다양한 깊이의 초기 인접면 인공우식병소를 유발하였다.

2) 탈회 시간과 각종 검사법들 사이의 일치도(reproducibility) 분석

탈회 시간과 각종 검사법들 사이의 일치도 분석을 위해 우식병소를 다음의 여러 가지 검사 방법으로 관찰, 판정하였다. 일치도는 통계 기법중의 하나인 tau-c(τ -c) 분석법을 이용하였다.

(1) 광선 투과법에 의한 사진

광증합기(Elipar™ FreeLight 2, 3M ESPE, U.S.A.)를 사용하여 우식증이 있는 인접면의 한 측(설측)에서 빛을 투과시키고 반대측이나 교합면으로 우식증을 투과하여 나온 명암을 관찰한다. 우식의 진행 상태에 따른 명암의 정도를 Malaton 등¹¹⁾이 제안한 5단계 판정 기준을 근거로 하여 이를 한 단계를 줄여 변형시킨 분류 기준을 사용하여 판정하였다.

- 0 = same as surrounding enamel
- 1 = mild dark
- 2 = moderate dark
- 3 = severe dark

(2) 교익 방사선 사진 검사

치아의 인접면에 대한 교익 방사선 사진을 촬영하고 방사선 사진상에서 명암을 관찰하여 우식의 정도를 다음과 같은 기준으로 평가하였다. 이때 사용한 필름은 Ektaspeed plus (Eastman Kodak Co., Rochester, NY, USA)였으며 65kVp, 7.5mA로 고정된 Oralix AC(Gendex Co., Milano, Italy) 방사선 촬영기로 0.10초의 노출시간을 부여하였다. 촬영된 필름은 자동현상기로 동일한 조건에서 현상하였다.

- 0 = same as surrounding enamel
- 1 = mild dark
- 2 = moderate dark
- 3 = severe dark

(3) 레이저 형광법을 이용한 검사

우식병소를 관찰하기 위해 아르곤 레이저를 0.6W의 출력으

로 조사하였으며 치아에서 산란되는 청색의 레이저 빛을 차단하고 순수한 형광 빛만 관찰하기 위해 주황색의 유리 필터를 사용하였다. 레이저를 인접면의 전후방에서 조사하여 이때 반사되거나 투과되어서 발생하는 형광 색조를 관찰하였으며 이때의 형광상의 명암을 다음과 같은 기준에 의해 평가하였다.

- 0 = same as surrounding enamel
- 1 = mild dark
- 2 = moderate dark
- 3 = severe dark

(4) 광활성 염료와(dye-enhanced) 레이저 형광법을 이용한 검사

0.075% sodium fluorescin을 초기 인접면 우식증에 도포한 후 물로 세척, 건조하고 상기 2)의 (3)과 같은 방법으로 우식병소를 평가하였다.

- 0 = same as surrounding enamel
- 1 = mild bright
- 2 = moderate bright
- 3 = severe bright

3) 레이저 형광법의 진단학적 민감도(sensitivity), 특이도(specificity) 분석

사진, 방사선 사진 검사, 레이저 형광법, 그리고 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법 간의 검사법의 진단학적 민감도, 특이도를 Huysmans 등⁷⁾이 고안한 분석 평가도 (evaluation system)를 이용하여 평가하였다(Table 1, 2).

Table 1. Evaluation criteria of test

〈Screening criteria〉 Comparative testing method	〈Validation criteria〉 Standing testing method	
	Score 2-3	Score 0-1
Score 2-3	A (True positive)	B (False positive)
Score 0-1	C (False negative)	D (True negative)

Table 2. The equation of sensitivity, specificity and diagnostic power

Sensitivity	$\frac{A}{A+C} \times 100$
Specificity	$\frac{D}{B+D} \times 100$
Diagnostic power	$\frac{A}{A+B} \times 100$

4) 탈회 시간에 따른 초기 인접면 우식증의 조직학적 깊이 및 병소 표면에서의 광밀도(optical density) 측정

(1) 초기 인접면 우식증의 깊이 측정

각 시편을 인접면 우식증의 중앙을 지나가도록 소구치를 low speed diamond wheel saw(Model 650, South Bay Tech., USA)를 이용하여 근원심으로 절단하고 시편을 연마지에 연마하여 약 1mm 두께로 만든 다음 세척, 건조한 후 편광현미경(LSP-13, Russia)으로 40배 확대하여 병소의 깊이를 측정하였다.

병소의 깊이는 표면으로부터 가장 깊은 곳 까지를 측정하였다.

(2) 병소 표면에서의 광밀도 측정

탈회 시간에 따른 우식 병소의 깊이와 병소 표면에서의 광밀도 사이의 상관성을 평가하기 위해 2)의 (3)과 같은 방법으로 우식병소의 표면에 레이저를 조사하였다. 이때 치아에서 산란되는 청색의 레이저 광을 차단하고 순수한 형광 빛만 관찰하기 위해 주황색의 유리 필터를 디지털 카메라(D1 X, Nikon, Japan)의 렌즈 전면에 장착하였으며, 촬영한 형광 상을 PC로 저장한 후 frame grabber(Flash point MV-Lite, USA.) capture board에 의해 영상화하였다. 초기 우식병소 표면의 광밀도를 영상분석 프로그램(Image pro plus®, Media cybernetics Co, USA)으로 측정한 후 건전한 치질과 우식 치질 사이의 광밀도의 차(difference of fluorescence radiance, 이하 DFR)를 구하였다.

5) 통계적 분석

SAS program을 이용하여 초기 인접면 우식병소의 진행 정도와 각 검사법간의 tau-c(τ -c) 수치를 구하여 판정의 일치도를 평가하고 각 검사법간의 상관관계를 평가하기 위하여 피어슨 상관계수를 구하였다. 탈회 시간 경과에 따른 조직학적 우식병소의 깊이와 레이저 형광을 이용하여 측정된 우식병소 표면에서의 광밀도 사이의 유의성 검증을 시행하였다.

III. 실험 성적

레이저 형광을 이용한 초기 인접면 우식증의 진단 가능성 여부를 평가하고자 발견된 소구치 인접면에 초기 인공우식병소를 형성하고 가시광선 투과법에 의한 시진, 교익 방사선 사진, 레이저 형광법, 염료를 이용한 레이저 형광법 등을 이용하여 인접면 우식증을 관찰하고 그 진단 감도를 평가하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

1. 각 검사 성적의 분포

시진, 교익 방사선 사진, 레이저 형광법, 염료를 이용한 레이저 형광법 등을 이용하여 인접면 우식증의 조사 수치와 탈회 시간을 기준으로 한 시편의 분포는 Table 3과 같다.

탈회 시간이 3일, 5일, 7일에서는 시진과, 교익 방사선 사진 검사의 경우 조사 수치가 주로 0과 1에 분포되어 있어 탈회 시간의 변화에 따른 조사 수치의 변화를 보이지 않았다. 또한 광활성 염료를 사용한 레이저 형광법은 탈회 시간에 관계없이 조사 수치가 주로 2와 3에 분포되어 있어 탈회 시간에 무관하게

Table 3. Distribution of specimens according to the method of examinations

De-mineralization time(days)	Score	Visual examination		Bite-wing Radiograph		Laser fluorescence		Dye-enhanced laser fluorescence	
		N	%	N	%	N	%	N	%
3	0	6	60	6	60	2	20	2	20
	1	4	40	4	40	6	60	1	10
	2	0	0	0	0	2	20	5	50
	3	0	0	0	0	0	0	2	20
5	0	4	40	5	50	1	10	1	10
	1	6	60	5	50	4	40	1	10
	2	0	0	0	0	5	50	5	50
	3	0	0	0	0	0	0	3	30
7	0	2	20	4	40	0	0	1	10
	1	8	80	3	30	5	50	1	10
	2	0	0	2	20	5	50	6	60
	3	0	0	1	10	0	0	2	20
9	0	4	40	1	10	0	0	0	0
	1	4	40	5	50	4	40	0	0
	2	1	10	3	30	6	60	5	50
	3	1	10	1	10	0	0	5	50

시편이 분포되어 있는 양상을 보여주고 있다.

2. 탈회 시간과 각종 검사법들 사이의 일치도(τ -c)

탈회 시간에 따른 각 검사법들의 일치도를 분석한 결과 시진은 τ -c 수치가 0.08로 탈회 정도에 따른 시진의 일치도가 매우 낮게 나타났다(Table 4). 교익 방사선 사진 검사의 경우 τ -c 수치가 0.60로 일치도가 높게 나타났으며 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법도 τ -c값이 각각 0.48과 0.64로 일치도가 높게 나타났다.

3. 탈회 시간에 따른 병소의 깊이와 각 검사법 간의 상관관계

탈회 시간에 따른 병소의 깊이와 각 검사법의 검사 수치간의 상관성을 분석한 피어슨의 상관계수가 Table 5에 나와 있다.

조직학적 병소의 깊이에 따른 상관계수는 시진과 교익 방사선 사진이 각각 0.33과 0.35로서 상관관계가 낮았으며 레이저 형광법과, 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법이 각각 0.43,

0.51로 비교적 높은 상관관계를 보여주고 있다($P < 0.05$). 각 검사법간의 상관관계는 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법 사이($\gamma = 0.72$)를 제외하고는 전반적으로 낮았다.

4. 레이저 형광법의 진단학적 민감도, 특이도 분석

시진, 교익 방사선 사진, 레이저 형광법, 그리고 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법 간의 진단학적 민감도, 특이도를 평가한 결과가 Table 6~9에 나와 있다.

시진을 기준으로 한 레이저 형광법, 그리고 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 진단학적 민감도는 분석할 수 없었으며 특이도는 각각 55%, 11%로 나타났다(Table 6, 7).

교익 방사선 사진을 기준으로 한 레이저 형광법, 그리고 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 진단학적 민감도는 67%와 100%, 그리고 특이도는 57%와 11%로 특이도가 상대적으로 낮게 나타났다(Table 8, 9).

Table 4. Reproducibility(τ -c) of visual examination, bite-wing radiograph, laser fluorescence, and dye-enhanced laser fluorescence according to demineralization time

Method of examination	Demineralization time
Visual	0.08
Bite-wing radiograph	0.60
Laser fluorescence	0.48
Dye-enhanced laser fluorescence	0.64

Table 5. Pearson's correlation coefficients among variables related with examination methods

	Depth of lesion	Visual examination	Bitewing radiograph	Laser fluorescence	Dye-enhanced laser fluorescence
Depth of lesion					
Visual examination	0.33				
Bitewing radiograph	0.35	0.24			
Laser fluorescence	0.43*	0.33	0.37		
Dye-enhanced laser fluorescence	0.51*	0.27	0.28	0.72*	

* : Statistically significant($P < 0.05$)

Table 6. Evaluation of laser fluorescence from visual examination

Laser fluorescence	Visual examination	
	Score 2-3	Score 0-1
Score 2-3	0	18
Score 0-1	0	22

Sensitivity=can not tested, specificity=55%

Table 7. Evaluation of dye-enhanced laser fluorescence from visual examination

Dye-enhanced laser fluorescence	Visual examination	
	Score 2-3	Score 0-1
Score 2-3	0	36
Score 0-1	0	4

Sensitivity=can not tested, specificity=11%

Table 8. Evaluation of laser fluorescence from bite-wing radiograph

Laser fluorescence	Bite-wing radiograph	
	Score 2-3	Score 0-1
Score 2-3	2	16
Score 0-1	1	21

Sensitivity=67%, specificity=57%

Table 9. Evaluation of dye-enhanced laser fluorescence from bite-wing radiograph

Dye-enhanced laser fluorescence	Bite-wing radiograph	
	Score 2-3	Score 0-1
Score 2-3	3	33
Score 0-1	0	4

Sensitivity=100%, specificity=11%

Table 10. Mean lesion depth and difference of fluorescence radiance of specimen in accordance with demineralization time

Demineralization time(days)	Number of specimens	Depth of lesion(μ m)	Difference of fluorescence radiance (DFR)	
			Laser fluorescence	Dye-enhanced laser fluorescence
3	10	945 \pm 173	4.17 \pm 1.99	9.45 \pm 2.85
5	10	1128 \pm 235	5.54 \pm 2.01	9.03 \pm 2.22
7	10	1492 \pm 280	5.69 \pm 2.21	10.54 \pm 3.11
9	10	1758 \pm 374	6.86 \pm 2.70	10.14 \pm 2.75
F-ratio		17.22	7.86	3.49
p value		0.003*	0.045*	0.633

* : Statistically significant

5. 탈회 시간에 따른 우식 병소의 깊이와 병소 표면에서의 광 밀도 측정

병소 표면에서의 정상치질과 우식부위의 광밀도를 측정하여 그 차이(Difference of fluorescence radiance)를 구하였으며 병소를 치아의 근원심 방향으로 절단한 후편광 현미경을 이용하여 병소 깊이를 측정된 값이 Table 10에 나와 있다.

탈회 시간에 따라 병소 깊이가 깊어지고 있음을 알 수 있으며 레이저 형광법을 이용하여 측정된 병소 표면에서의 광밀도는 통계학적으로 유의성 있는 변화를 보여주고 있다(P<0.05). 그러나 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법에서는 전반적으로 건전 치질과 우식 치질 사이의 광밀도 차이(DFR)가 크게 나타났으나 병소 깊이에 따른 차이를 보이지는 않았다.

IV. 총괄 및 고찰

교합면 우식증을 탐지하기 위한 방법으로 전기전도도, FOTI, 레이저 형광법 등 여러 가지 방법이 제시되고 있으나 인접면 우식증을 탐지하는 방법으로 지금까지 교의 방사선 사진이 전형적으로 이용되어 오고 있다. 그러나 방사선 사진 검사법은 탐지 감도가 떨어질 뿐 아니라 방사선에 의한 인체의 유해성, 그리고 필름 사용에 따른 현상액에 의한 환경오염 등이 문제가 되고 있다¹⁾. 이와 같은 문제점을 극복할 수 있는 대안을 마련하기 위해 여러 가지 방법에 의한 광 투과법이 시도되고 있으나 이들 역시 가지고 있는 단점^{12,28)}으로 인해 임상화 되지 못하고 있다. 최근에 인접면 우식증을 탐지하기 위한 방법으로 초음파를 이용하는 방법이 소개되었는데, Matalon 등¹¹⁾은 초음파를 사용하여 인접면 우식증을 탐지한 결과 교의 방사선 사진에 비해 민감도와 특이도가 우수하다고 보고한 바 있다. 그러나 이 방법 역시 우식증이 진행하여 치질이 어느 정도 파괴됨으로써 거시적인 구조 변화가 된 경우에만 탐지가 가능하다는 단점이 있다.

따라서 본 연구는 치질의 탈회 변화에 매우 민감한 레이저 형광법을 인접면 우식증에 적용할 수 있는지의 여부를 규명하고자 하였다.

근래에 형광 물질을 이용하여 우식 병소를 진단하는 시도가 이루어지고 있는 바^{33,38,40)}, 본 연구에서도 선학들의 연구를 근거로 0.075% sodium fluorescin을 우식 병소에 도포하고 레이저 형광으로 관찰하여 그 효과를 평가하였다.

탈회시간에 따른 각 검사법들의 일치도를 분석한 결과 시진은 tau-c 값이 0.08로 시진의 검사 값이 탈회시간 즉, 인접면 우식증의 진행 정도와 일치하지 않게 나타났는데, 이는 시진으로 와동형성이 되지 않은 초기 인접면 우식증을 관찰, 탐지하기에는 어렵다는 것을 의미한다. Vaarkamp 등³⁰⁾은 인접면 우식증의 진단법으로 FOTI법에 의한 시진은 진단능이 낮아 교의 방사선 사진을 대체할 수 없으며 인접면 우식증의 진단학적 정확성을 높이는 방법으로 교의 방사선 사진과 더불어 육안이나 FOTI를 보조적으로 사용할 것을 권장하였다. 본 연구에서는 교의 방사선 사진 검사의 경우 tau-c값이 0.60로 탈회시간과의 일치도가 비교적 높게 나타났으나, table 3의 분포도에서 볼 수 있듯이 주로 탈회가 많이 된 경우에서만 관찰됨으로써 와동형성이 안된 초기 우식증의 깊이와는 상관관계가 낮은 것으로 나타났다(Table 4). 일반적으로 tau-c 수치가 0.4~0.6 이상이면 진단학적으로 일치도가 높다고 평가하고 있다.

이를 종합해 보면 교의 방사선 사진 검사는 우식이 진행되어 와동이 형성된 후부터의 인접면 우식증의 진단에는 유용하나 초기 우식병소의 경우 진단능은 상대적으로 높지 않으며 정량적인 진단은 더욱 어려울 것으로 사료된다. Fejerkov와 Kidd²⁶⁾는 인접면 우식증의 진단에 있어 교의 방사선 사진은 진단학적 감도가 떨어지며 주사선이 정확히 인접면에 일치하지 않게 촬영할 경우 상이 겹치게 되어 판독이 어려울 뿐 아니라 주사선의

수직 각도를 달리한 여러 장의 사진이 있어야 정확한 병소의 모양과 크기를 알 수 있어 정량적인 진단이 어렵다고 한 연구 보고와 유사한 결론을 내릴 수 있다.

김 등³²⁾의 레이저 형광법의 교합면 우식증 탐지효과에 관한 연구에 의하면 병소 깊이에 따른 일치도 분석 결과 시진의 경우 kappa 수치가 0.189인데 비해 레이저 형광법은 0.472로 높은 것으로 나타났는데, 본 연구에서는 일치도 분석을 kappa 수치가 아닌 tau-c 수치를 사용하여 시행하였으므로 직접적인 비교는 어렵지만 시진의 경우 0.08, 레이저 형광법은 0.48로 나타나 레이저 형광법은 교합면 뿐만 아니라 인접면에서도 시진에 비해 진단학적 일치도가 높은 것으로 나타났다(Table 4).

광 투과법에 의한 시진에 의해 인접면 우식증의 탐지에 관한 시도는 오래 전부터 있었으나 1991년 O'Brien 등³⁵⁾은 새로 개발한 약 60°까지 구부릴 수 있는 직경 2mm의 광섬유를 치아의 인접면에 최대한 근접시켜 빛을 투과함으로써 진단학적 민감도를 증진시키려 하였으나 이 역시 교의 방사선 사진의 진단 수준을 넘지 못했다.

그러나 Vaarkamp 등²⁹⁾의 연구에 의하면 지금까지 알려진 바와 다르게 FOTI 법에 의한 시진에 의해 인접면 우식증을 관찰할 수 있으며 정량분석까지 가능하다고 하였는데, 이는 고강도의 할로겐 광원을 사용하였으며 가늘고 유연성이 좋은 광섬유를 치아 인접면 사이로 집어넣어 우식증에 상당히 근접하여 교합면으로 비스듬히 빛을 투과시켰기 때문이다. 본 연구에서는 시진을 광 투과법에 의해 시행하였는데, 심미적 수복재 증합용 광중합기를 사용하여 단순히 설면에서 치아와 상당한 거리를 두고 조사하여 협측에서 관찰하였기 때문에 탈회 시간과의 일치도, 다른 검사법과의 상관관계 등 진단학적 감도가 낮게 나타난 것으로 생각된다.

본 연구의 일치도 검사에서는 시편의 개수가 많지 않을 뿐 아니라 평가 분류 기준에 의한 분포가 고르게 분포되지 않고 편중되어 분포하는 경향을 보여 일반적으로 검사법간의 일치도를 평가하는데 사용하는 kappa 분석을 시행하지 못하였으며, 이를 보상으로 일치도 평가를 가능하게 하는 tau-c 분석법을 이용하였다. 그러나 tau-c 분석법은 kappa 분석법보다 검증력이 낮으므로 향후 좀 더 정확한 분석을 위해서는 더 많은 시편을 사용한 보다 정확한 분석이 필요로 하겠다.

이와 같은 일치도 검사 이외에 기준 수치의 변화에 따라 비교 검사 수치가 어느 정도 비례하여 변화하는지를 평가하기 위해 각 검사법간의 상관관계를 분석한 결과 병소 깊이에 대한 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법이 각각 0.43, 0.51의 상관계수를 보임으로서 병소의 깊이 변화와 비교적 높은 상관관계를 보여 주고 있다(Table 5). 그러나 교의 방사선 사진은 tau-c 검사에서는 병소 깊이와 일치됨을 보여주지만(Table 4) 상관관계는 상당히 낮게 나타났는데, 이는 우식 병소가 일정 탈회 시간 이상에서만 방사선 사진상으로 관찰됨으로써 전반적으로 시편이 편중되어 분포되었기 때문으로 생각된다. 따라서 교의 방사선 사진은 육안으로 구별이 어려운 초기

우식 병소는 판별하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

Axelsson³⁴⁾이 제안한 검사법간의 민감도와 특이도를 조사한 결과 교익 방사선 사진을 기준으로 한 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 진단학적 민감도는 67%와 100%로 상당히 높은 편이며 특이도는 57%와 11%로 비교적 낮은 것으로 나타났는데(Table 6~9), 이는 기준 검사법인 교익 방사선 사진 검사로 관찰되는 병소는 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법으로 대부분 관찰할 수 있는 반면, 교익 방사선 사진으로 관찰 할 수 없는 병소를 두 형광법에서는 관찰하였다고 판정하였기 때문이다.

시진을 기준으로 한 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 민감도는 분석 불가능하게 나왔는데, 그 이유는 시편이 편중되어 분석표 상에서 진 양성(true positive)과 가 음성(false negative)에는 분포되지 않았기 때문이다.

이와 같은 연구 결과는 시진과 레이저 형광 검사 간에는 진단능에 있어 현저한 차이가 있음을 보여주고 있으며 교익 방사선 사진 검사와 레이저 형광 검사 사이도 진단능의 차이가 존재함을 알 수 있다.

최근에 Schmidlin 등⁴⁾은 인접면 우식증의 탐지에 있어 레이저 형광법 및 형광 염료와 디지털 이미지 분석을 이용한 FOTI 등의 진단학적 민감도와 특이도를 연구한 결과 레이저 형광법의 경우 민감도와 특이도가 70~80%, FOTI는 40~80% 사이의 높은 민감도와 특이도를 보고한 바 있다. 그러나 이 경우 인공 우식용액을 0.1mol/l acetic acid를 사용하여(pH 4.8) 30주 탈회시킨 표본을 사용하므로써 본 연구의 0.1mol/l lactic acid(pH 4.5)로 제작한 인공 우식 용액에서 3~9일 탈회시킨 표본보다는 상당히 우식이 깊이 진행된 표본을 사용하였기 때문으로 생각된다. 탈회시간에 따른 병소의 조직학적 깊이와 병소표면에서의 광밀도를 측정한 이유는 초기 인접면 우식증의 경우 병소깊이가 어느 정도 되었을 때 각 검사법으로 관찰 가능 여부를 평가하기 위해서였다. Table 3의 시편의 분포 양상으로 보아 시진과 교익 방사선 사진은 1,500 μ m 전후에서 관찰 가능한 것으로 추정되며 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법은 이보다 더 낮은 깊이에서도 관찰 가능한 것으로 평가된다(Table 10).

병소 표면에서의 광밀도는 레이저 형광법의 경우 병소가 깊어지면서 통계적으로 유의하게 변화하는 양상이 관찰되었으나 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 경우 측정 수치는 레이저 형광법에 비해 상대적으로 컸으나 깊이 변화에 따른 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 10). 이는 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법은 초기의 우식병소에도 매우 예민하게 관찰되어 우식병소가 진행된 경우와 차이가 나지 않음에 기인한 것으로 사료된다.

광활성 염료를 사용하여 레이저 형광법으로 관찰한 결과 table 1에서와 같이 탈회 시간이 적은 경우에도 예민하게 우식 병소를 관찰할 수 있지만 병소의 깊이에 따른 건전 치질과의 색조 대비의 차이에 대한 변화를 관찰하기 어려웠다. 이는 레이저

형광법에 형광 염료를 적용할 경우 우식병소의 탐지가 훨씬 용이하다 라는 여러 연구, 보고들^{35,39,40)}과 기본적인 견해는 일치하지만 정량분석을 위한 수단이 되기는 어렵다고 사료된다.

본 연구는 구강 외에서 이루어 졌으나 실제 구강 내에서는 여러 가지 검사 도구의 접근이 제한적이며 시야의 확보가 쉽지 않고 타액이나 치태 등의 각종 물질들이 치아를 덮고 있으며 치열의 배열 이상 등 우식의 진단을 어렵게 하는 여러 가지 변수가 존재하고 있음을 고려해 볼 때 향후 구강 내에서 직접적인 진단학적 요소 이외의 환경적인 요건을 고려한 종합적이고 체계적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구 결과 초기 인접면 우식증의 진단에 있어 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법은 교익 방사선 사진에 뒤지지 않은 진단능을 가지고 있으나 방사선 사진을 대체할 수 있을 정도로 진단학적 효율성을 가지고 있는지에 대해서는 추후 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

레이저 형광법을 이용하여 초기 인접면 우식증을 탐지할 수 있는지의 여부와 그 탐지 감도를 평가하여 인접면 우식증의 진단에 활용 가능한지의 여부를 규명하기 위하여 사람의 치아를 사용하여 다양한 깊이의 인공우식병소를 유발시키고 이를 가시광선 투과법에 의한 시진, 교익 방사선사진 촬영, 레이저 형광법, 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법 등으로 관찰하여 검사법 간의 일치도, 상관관계, 병소 깊이에 따른 광밀도 등을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 탈회시간과 각 검사법들과 일치도 검사에서 시진의 경우 tau-c 값이 0.08로 탈회시간에 따른 시진의 검사 수치가 일치하지 않았으나 교익 방사선사진, 레이저 형광법, 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 tau-c 값은 각각 0.60, 0.48, 0.64로 일치하는 것으로 나타났다.
2. 탈회시간에 따른 병소깊이와 각 검사법 간의 상관관계는 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법($\gamma=0.51$), 레이저 형광법($\gamma=0.43$), 교익 방사선사진($\gamma=0.35$), 시진($\gamma=0.33$) 순으로 높았으며 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법과 레이저 형광법은 탈회시간과 상관관계가 있었다 ($P<0.05$).
3. 교익 방사선사진을 기준 검사법으로 한 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법의 진단학적 민감도는 각각 67%, 100%였으며 특이도는 57%, 11%로 민감도에 비해 상대적으로 낮게 나타났다.
4. 병소의 깊이에 따른 병소 표면에서의 건전 치질과 우식 치질 사이의 광밀도의 차이(DFR)는 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법이 레이저 형광법에 비해 크게 나타났으며 ($P<0.05$) 병소 깊이의 변화에 따른 광밀도 변화는 레이저 형광법의 경우 유의한 변화를 보이는데 반해 광활성 염료

를 이용한 레이저 형광법에서는 변화를 보이지 않았다.

이상의 결과를 종합하면, 초기 인접면 우식증의 진단에 있어 레이저 형광법과 광활성 염료를 이용한 레이저 형광법은 교익 방사선 사진에 뒤지지 않은 진단능을 가지고 있으나 우식 병소의 정성적인 분석뿐 아니라 정량적 분석이 가능한지의 여부는 향후 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

참고문헌

1. Nyttun RB, Raadal M, Espelid I : Diagnosis of dentin involvement in occlusal caries based on visual and radiographic examination of the teeth. *Scand J Dent Res*, 100:144-148, 1992.
2. Nummikoski PV, Martinez TS, Matteson SR, et al. : Digital subtraction radiography in artificial recurrent caries detection. *Dentomaxillofac Radiol*, 21:59-64, 1992.
3. Abreu M, Tyndall DA, Platin E, et al. : Two- and three-dimensional imaging modalities for the detection of caries A comparison between film, digital radiography and tuned aperture computed tomography(TACT). *Dentomaxillofac Radiol*, 28:152-157, 1999.
4. Schmidlin PR, Tepper SA, Scriba H, et al. : In vitro asseement of incipient approximal carious lesions using computer-assisted densitometric image analysis. *J Dent*, 30:305-311, 2002.
5. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, et al. : Assessment of dental caries with digital imaging fiber-optic transillumination(DIFOTI) : in vitro study. *Caries Res*, 31:103-110, 1997.
6. Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EMA, et al. : Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Res*, 35:421-426, 2001.
7. Huysmans M, Longbottom C, Pitts N : Electrical methods in occlusal caries diagnosis : An vitro comparison with visual inspection and bite-wing radiography. *Caries Res*, 32:324-329, 1997.
8. Lussi A, Firestore A, Schoenberg V, et al. : In vitro diagnosis of fissure caries using a new electrical resistance monitor. *Caries Res*, 29:81-87, 1995.
9. Ricketts DNJ, Kidd EMA, Wilson RF : A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Brit Dent J*, 178:11-17, 1995.
10. Rock WP, Kidd EAM : The electrical detection of demineralization in occlusal fissures. *Brit Dent J*, 164:243-247, 1988.
11. Malaton S, Feuerstein O, Kaffe I, et al. : Diagnosis of approximal caries : Bitewing radiology versus the ultrasonic caries detector. An in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 95:626-631, 2003.
12. Verdonshot EH, Bronkhorst EM, Wenzel A : A proximal caries diagnosis using fiber-optic transillumination: a mathematical adjustment to improve validity. *Community Dent Oral Epidemiol*, 19:329-332, 1991
13. 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.
14. Tranaeus S, Shi X, Lindgren LE, et al. : In vivo repeatability and reproducibility of the quantitative light-induced fluorescence method. *Caries Res*, 36:3-9, 2002.
15. Ferreira Zondona AG, Analoui M, Schemehorn BR, et al. : Laser fluorescence detection of demineralization in artificial occlusal fissures. *Caries Res*, 32:31-40, 1998.
16. Housseiny AA, Jamjoum H : Evaluation of visual explorer and a laser device for detection of early occlusal caries. *J Clin Pediatr Dent*, 26:41-48, 2001.
17. Lussi A, Imwinkelried S, Longbottom C, et al. : Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res*, 33:261-266.
18. 김효석, 김왕근, 이창섭 등 : 초기우식병소에 대한 레이저 fluorescence의 광학적 탐지감도. *대한소아치과학회지*, 26(1):109-118, 1999.
19. 이상호, 이난영 : 아르곤 레이저 광감각법에 의한 법랑질 우식증 조기탐지 효과에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 24:313-321, 1997.
20. Bjelkhagen H, Sundström 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.
21. de Josselin de Jong E, Sundstrom 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.
22. Hafström-Björkman U, Sundström F : Initial caries diagnosis in rat molars, using laser fluorescence. *Acta Odontol Scand*, 49:27-33, 1991.
23. Friedman J, Marcus MI : Transillumination of the

- oral cavity with use of fiber optics. *J Am Dent Assoc*, 80:801-809, 1970.
24. O'Brien WJ, Yee J, Dennison JB, et al. : The application of blue polymer curing lights for diagnostic transillumination. *J A D A*, 106:839-842, 1983.
 25. Petola J, Wolf J : Fiber optic transillumination in caries diagnosis. *Proc Finn Dent Soc*, 77:240-244, 1981.
 26. Fejerkov O, Kidd E : Dental caries - The disease and its clinical management. Blackwell Munksgaard London UK, P:122-123, 2003.
 27. Peers A, Hill FJ, Mitropoulos CM, et al. : Validity and reproducibility of clinical examination and bitewing radiology for the diagnosis of small approximal carious lesions : An in vitro study. *Caries Res*, 27:307-311, 1993.
 28. Mitropoulos CM : Comparison of fiber optic transillumination with bisecting radiographs. *Br Dent J*, 159:21-24, 1985.
 29. Vaarkamp J, Bosch JJ, ten Verdonshot EH, et al. : The real performance of bitewing radiography and fiber-optic transillumination in approximal caries diagnosis. *J Dent Res*, 79:1747-1751, 2000.
 30. Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonshot EH, et al. : Wavelength-dependent fiber-optic transillumination of small approximal caries lesions ; The use of a dye, and a comparison to bitewing radiography. *Caries Res*, 31:232-237, 1997.
 31. Verdonshot EH, Bronkhorst EM, Wenzel A : A proximal caries diagnosis using fiber-optic transillumination: a mathematical adjustment to improve validity. *Community Dent Oral Epidemiol*, 19:329-332, 1991
 32. 김창기, 이창섭, 이상호 : 레이저 형광법의 교합면 우식증 탐지 효과. *대한소아치과학회지*, 29(4):600-606, 2002.
 33. Ai-Sehaibany F, White G, Rainey JT, et al. : The use of caries detector dye in diagnosis of occlusal caries lesions. *Pediatric Dent*, 20(4):293-298, 1996.
 34. Axelsson P, Kristoffersson K, Karlsson R : A 30 month longitudinal study of the effects of some oral hygiene measures on *S. mutans* and approximal dental caries. *J Dent Res*, 66(3):761-765, 1987.
 35. Eggertsson H, Analoui M, van der Veen MH, 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.
 36. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, et al. : Detection diagnosing monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an vivo examination with histological validation. *Caries Res*, 32:247-254, 1998.
 37. Lagerweij MD, van der Veen MH, Ando M, et al. : The validity and repeatability of three light-induced fluorescence system: An vitro study. *Caries Res*, 33:220-226, 1999.
 38. O'Brien WJ, Vazquez L, Johnston WM : The detection of incipient caries with tracer dye. *J Dent Res*, 68:157-158, 1989.
 39. Schemehorn BR, Stookey GK : Sodium fluorescein and laser fluorescence for detection of incipient lesions. *J Dent Res*, 75:85, 1996.
 40. Van de rijke W : Optical quantification of caries-like lesion in vitro by use of a fluorescent dye. *J Dent Res*, 69:1184-1187, May, 1990.

Abstract

DETECTION OF EARLY PROXIMAL CARIES WITH LASER FLUORESCENCE

Jae-Heon Seol, You-Hyang Oh, Nan-Young Lee, Sang-Ho Lee

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Chosun University

Artificial carious lesions in various depths were observed with visual examination using light transillumination, bite-wing radiography, laser fluorescence, and dye-enhanced laser fluorescence to determine the reproducibility, correlation of each diagnostic method, diagnostic sensitivity and diagnostic specificity. And optical densities according to demineralized times were measured whether laser fluorescence could be used as a quantitative diagnostic method.

The following results were obtained whether laser fluorescence could be used for diagnosis of initial proximal caries.

1. Tau-c values of visual examination was 0.08 which showed lowest reproducibility, and those of bite-wing radiography, laser fluorescence, dye-enhanced laser fluorescence were 0.60, 0.48, and 0.64, respectively which showed relatively high reproducibility.
2. The correlation between demineralization time and each examination was the highest in dye-enhanced laser fluorescence($\gamma=0.51$), followed by laser fluorescence($\gamma=0.43$), bite-wing radiograph($\gamma=0.35$), and visual examination($\gamma=0.33$). Dye-enhanced laser fluorescence and laser fluorescence showed significant correlation with demineralization time.
3. The sensitivity of laser fluorescence and dye-enhanced laser fluorescence for diagnosing approximal caries based on bite-wing radiography were 67%, 100% and those of specificity were 57%, 11% which showed diagnostic specificity was relatively lower than sensitivity.
4. The difference in optical density(DFR) between sound teeth and carious lesions according to lesion depth was high with dye-enhanced laser fluorescence compared with laser fluorescence. DFR measured with laser fluorescence according to changes in lesion depth was statistically significant but was not statistically significant with dye-enhanced laser fluorescence.

Based on these results, laser fluorescence and dye-enhanced laser fluorescence have comparable diagnostic power as bite-wing radiography in early diagnosis of proximal caries.

Keywords : Proximal caries, Diagnosis, Laser fluorescence