

Comparison of Diagnostic Validity between Laser Fluorescence Devices in Proximal Caries

Changkeun Lee, Daewoo Lee, Jaegon Kim, Yeonmi Yang

Department of Pediatric Dentistry and Institute of Oral Bioscience, School of Dentistry, Chonbuk National University

Abstract

The aim of this study was to evaluate the proximal caries detecting ability and identify the optimal cut-off values of two types of laser fluorescence (LF) devices; classic type (DD) and pen type (DDpen).

The number of proximal surfaces participated in this study were 164 surfaces in primary dentition and 438 surfaces in permanent dentition. Each tooth surface was sequentially assessed by two types of LF devices, and bitewing radiograph. The radiographs were classified into 3 groups in primary dentition (pR_0 , pR_1 , pR_2), and 4 groups in permanent dentition (PR_0 , PR_1 , PR_2 , PR_3) according to the depth of caries, and used as gold standard.

In primary dentition, the area under the curve (AUC) values of DD were 0.851 and 0.890, and those of DDpen were 0.883 and 0.917, respectively in enamel caries and dentin caries. In permanent dentition, the AUC values of DD were 0.762 and 0.886, and those of DDpen were 0.828 and 0.958, respectively in enamel caries and dentin caries.

When detecting proximal caries in posterior teeth with LF devices, DDpen is more useful than DD in both primary and permanent dentition. However, in primary dentition, DD can also be useful to detect proximal caries.

Key words : Proximal caries, Caries detection, Laser fluorescence device

I. 서 론

치아 우식 병소에서 와동 형성 여부를 구분하는 것은 치료 방향을 결정하는 데 있어서 중요한 요소이다[1]. 와동 형성 이전 단계의 우식은 진행 속도가 비교적 느리기 때문에 우식의 진행을 정지시키는 예방적 치료가 가능하며, 이러한 초기단계의 우식은 예방적 접근이 가능하여 더 효과적이고 경제적이다[2,3]. 인접면 우식증은 특히 유치에서 진행이 빠르는데, 그 이유는 영구치와 비교하여 유치는 법랑질과 상아질의 두께가 얇고, 광화가 덜 되어 있으며, 상아 세관이 더 넓기 때문이다[4].

인접면 우식병소의 깊이를 결정하는 데에는 주로 임상적 관찰

과 방사선학적 검사를 함께 시행한다[5]. 구치부 인접면 우식은 인접치로 인하여 시진과 촉진만으로 우식 와동의 형성여부를 구별하기는 쉽지 않다[6]. 치아의 협설측에서 인접면 우식증을 시진-촉진만으로 검사하는 것은 인접치, 허, 치은, 출혈 등으로 인해 제한되기도 한다[7]. 시진과 탐침만으로는 발견하기 어려운 인접면 우식증을 발견하기 위해 교익 방사선 사진 촬영법이 널리 사용된다[2,7]. 그러나 방사선 검사는 미약하지만 전리 방사선의 노출의 위험이 있기 때문에 환자가 거부하는 경우 또는 임신부인 경우에는 검사가 어려울 수 있다[6,7]. 방사선 검사는 인접면 우식 탐지에 있어 상대적으로 낮은 민감도와 높은 특이도를 가지고 있다고 알려져 있다[8].

Corresponding author : Yeonmi Yang

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chonbuk National University, 20, Geonji-ro, Deokjin-gu, Jeonju, 54907, Korea

Tel: +82-63-250-2212 / Fax: +82-63-250-2131 / E-mail: pedo1997@jbnu.ac.kr

Received January 10, 2018 / Revised March 15, 2018 / Accepted February 23, 2018

레이저 형광원리를 이용한 우식 진단 기기인 DIAGNOdent® (DD, KaVo Biberach, Germany)는 우식의 양적평가가 가능한 기기로, 655nm 파장의 붉은 빛을 치면에 적용하였을 때 박테리아로 인해 증가하는 형광 현상을 측정한다[5,9]. 같은 원리를 이용하여 일체형으로 개발된 DIAGNOdent® pen(DDpen, KaVo Biberach, Germany)는 DD와 달리 인접면 우식을 측정하기 위한 probe가 있다[10].

제조사의 지시에 따르면, DD는 0 - 5의 값은 건전치질, 6 - 14의 값은 법랑질 외측 1/2의 우식, 15 - 20의 값은 법랑질 내측 1/2의 우식, 21이상의 값은 상아질 우식을 암시한다. DDpen은 소와열구에서 0 - 12의 값은 건전치질, 13 - 24의 값은 법랑질 우식, 25이상의 값은 상아질 우식을 암시하고, 인접면에서는 0 - 7의 값은 건전치질, 8 - 15의 값은 법랑질 우식, 16이상의 값은 상아질 우식을 암시한다고 한다. 그러나 이러한 절단값은 영구치에 해당하는 수치이며, 유치는 영구치와 조직학적 특성이 다르기 때문에 이 수치를 그대로 적용하기는 어렵다[5].

DD와 DDpen 두 기기는 유치나 영구치의 교합면 우식 탐지에 있어 높은 재현성과 충분한 우식 탐지 능력이 보고되었다[5,10-12]. 인접면 우식에 대해 유치에서 DDpen은 교익 방사선 사진과 비슷한 정도의 우식 탐지능력이 보고되었고, 영구치에서는 교익 방사선 사진에 비하여 더 나은 결과가 보고되기도 하였다[5,13,14]. 한 연구에서는 유치의 인접면 우식에 대하여 DD의 우식 탐지 가능성에 대하여 보고하기도 하였다[4].

이에 이 연구에서는 유치열과 영구치열의 인접면 우식에 대해 교익 방사선 사진을 기준으로 DD와 DDpen의 인접면 우식 진단 능력을 비교하여 두 기기의 정확성을 비교하고, 민감도와 특이도의 확인을 통해 우식 깊이를 예측하기 위한 최적의 절단값을 제시하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

이 연구는 전북대학교 치과병원의 임상 연구 윤리 위원회 (Institutional Review Board, IRB)의 승인 하에 진행되었다(CUH-2017-06-029-002).

1. 연구 대상

1) 유치열

2017년 6월부터 2017년 9월까지 전북대학교 치과병원 소아치과에 내원한 3세 이상의 환자들 중 최근 3개월 이내에 불소도포를 받은 적이 없는 자의 제1유구치 원심면, 제2유구치 근심면 및 원심면이 연구 대상에 포함되었다. 연구대상에 포함된 치면

중 아말감, 레진, 기성금속관 등을 이용한 인접면을 포함한 수복물이 있는 치면과 이에 인접한 치면, 우식와동이 형성되어 육안으로 확인이 되는 치면, 인접치아가 결손되어 접촉점이 없는 치면, 제1대구치가 맹출되지 않아 접촉점이 형성되지 않은 제2유구치 원심면, 치근흡수가 진행되어 동요도가 있는 유구치의 치면은 연구 대상에서 제외되었다.

2) 영구치열

같은 기간 동안 전북대학교 치과병원 소아치과에 내원한 12세 이상의 환자들 중 전신질환이 없고 최근 3개월 이내에 불소도포를 받은 적이 없는 자의 제1소구치 원심면, 제2소구치 근심면 및 원심면, 제1대구치 근심면 및 원심면, 제2대구치 근심면이 연구 대상에 포함되었다. 연구대상에 포함된 치면 중 아말감, 레진, 인레이, 크라운 등의 인접면을 포함하는 수복물이 있는 치면과 이에 인접한 치면, 우식와동이 형성되어 육안으로 확인이 되는 치면, 인접치아가 결손되어 접촉점이 없는 치면, 교정치료 등의 목적으로 밴드가 장착된 치면과 이에 인접한 치면은 연구 대상에서 제외되었다.

2. 연구 방법

1) 인접면 우식 검사

(1) 치면 세마

레이저 형광 기기를 이용한 검사를 시행하기에 앞서 위양성 결과를 최소화하기 위해 검사 대상이 되는 치면을 초음파 스케일러를 이용하여 치석제거를 시행하고 저속 핸드피스와 브러쉬로 치면세마를 시행한 뒤 인접면에 치실을 사용하였다.

(2) 레이저 형광법 검사

연구대상에 포함된 치면에 두 가지 기기 DIAGNOdent® (Fig. 1A, DD, KaVo Biberach, Germany) 및 DIAGNOdent® pen (Fig. 1B, DDpen, KaVo Biberach, Germany)을 이용하여 각각 인접면 우식 검사를 시행하였다. DD는 probe A를 사용하였고, DDpen은 approximal probe를 사용하였다. 제조사의 지시에 따라 calibration을 시행하였고, 건전 치질(주로 상악 중절치 또는 유중절치 순면)을 기준으로 영점을 설정하였다. Probe를 치면에 접촉시킨 상태에서 회전시키며 다양한 각도로 측정하였고, 각 치면당 2회의 측정을 시행하여 가장 높게 나온 값을 기록하였다.

(3) 방사선학적 검사

유치열에서는 좌, 우측 각각 1장 씩, 총 2장의 교익 방사선 사진을 촬영하였고, 영구치열에서는 좌, 우측 각각 소구치부 1장,

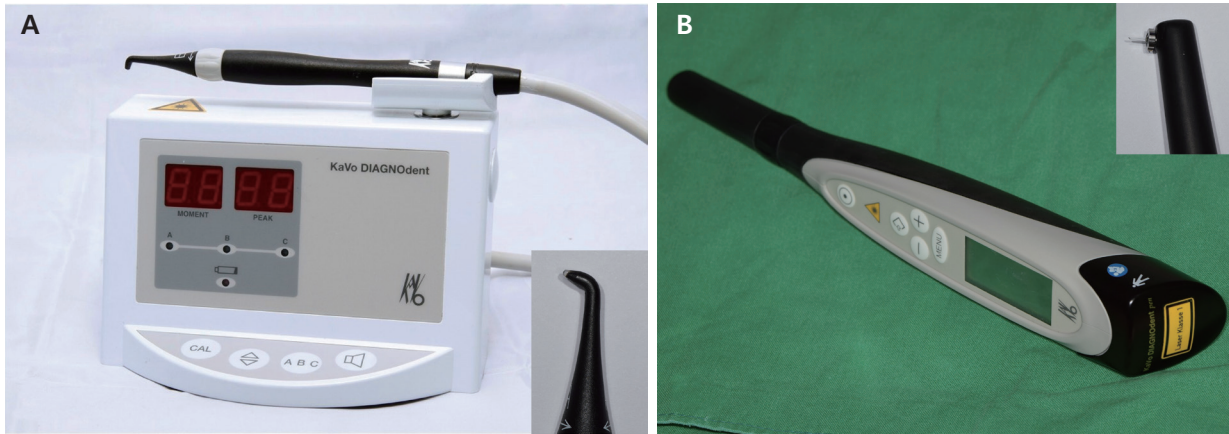


Fig. 1. Laser fluorescence devices used in this study. (A) DIAGNOdent® (DD, KaVo, Biberach, Germany) and probe A, (B) DIAGNOdent®pen (DDpen, KaVo, Biberach, Germany) and approximal probe.

대구치부 1장, 총 4장의 교익 방사선 사진을 촬영하였다. 방사선 사진의 촬영은 구내 방사선 촬영기인 Heliodont^{plus} (Sirona, Bensheim, Germany)와 디지털 센서인 FONACDR (FONAdental, Bratislava, Slovakia)를 사용하여 60kVp, 7mA로 설정하고 0.10s의 노출시간으로 촬영을 시행하였다. 촬영한 방사선 사진을 저장하여 1인의 검사자가 27인치 LED 모니터(Samsung, Seoul, Korea) 상에서 판독을 시행하였다. 유치열에서 방사선투과상이 없는 경우 pR₀, 법랑질 내에 국한된 방사선 투과상은 pR₁, 상아질을 침범한 방사선 투과상은 pR₂로 분류하였다. 영구치열에서 방사선투과상이 없는 경우 PR₀, 법랑질 두께 1/2미만으로 국한된 방사선투과상은 PR₁, 법랑질 두께 1/2이상이나 법랑질 내에 국한된 방사선투과상은 PR₂, 상아질을 침범한 방사선투과상은 PR₃로 분류하였다.

검사 완료 1주일 후에 방사선 사진의 판독을 다시 시행하여 첫 번째 검사 결과와 비교한 검사자 내 신뢰도는 0.984 (0.982 - 0.987)로 높게 나타났다. 2회에 걸친 판독의 결과가 달랐던 경우에는 둘 중 더 낮은 점수를 최종 결과로 기록하였다.

2) 통계적 분석

방사선사진 상 우식 깊이에 따른 DD의 측정값 사이의 차이와 DDpen의 측정값 사이의 차이는 Kruskal-Wallis test ($\alpha = 0.05$)를 시행하였다. DD와 DDpen의 진단능력 비교를 위해 receiver operating characteristic (ROC) 곡선 분석을 시행하여 곡선 하방의 면적인 area under the curve (AUC)를 확인하였고, 민감도와 특이도를 확인하였다. 통계 분석은 SPSS ver 23.0 (Chicago, IL, USA)와 MedCalc ver 14.8.1(MedCalc Software, Mariakerke, Belgium)을 이용하였다.

III. 연구 성적

1. 표본 집단

연구에 참여한 연구대상 중 유치열군은 22명에서 평균 나이 5.64(±1.83)세이고, 영구치열군은 22명에서 평균 나이 15.27(±1.58)세였다. 유치열군의 총 264개 치면 중 제외 기준에 따라 100개의 치면이 제외되어 164개의 치면이 연구대상에 포함되었으며, 영구치열군의 총 524개 치면 중 86개 치면이 제외되어 438개 치면이 연구대상에 포함되었다(Table 1).

2. 방사선학적 우식 깊이에 따른 검사 결과

유치열과 영구치열에서 각각 방사선학적 우식 깊이에 따른 두 가지 레이저 형광법을 이용한 기기의 측정값이 Table 2와 3에 나타나있다. 유치열군에서 두 기기는 우식의 깊이가 깊어질수록 높은 측정값을 나타내었고, 우식 깊이에 따른 세 집단(pR₀, pR₁, pR₂) 사이의 측정값의 차이는 모두 통계학적으로 유의하였다($p < 0.05$). 영구치열군에서도 두 기기는 우식깊이가 깊어질수록 높은 측정값을 나타내었다. 그러나 DD 측정값은 PR₁ 그룹과 PR₂ 그룹사이 및 PR₂ 그룹과 PR₃ 그룹 사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았고, DDpen 측정값은 PR₁ 그룹과 PR₂ 그룹 사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

3. ROC 곡선 분석

유치열군에서 건전치질과 법랑질 우식 사이를 구분하는 경계

Table 1. Subjects participated in this study

	Primary Dentition	Permanent Dentition	
Age (Mean ± SD)	5.64 ± 1.83	15.27 ± 1.58	
Number of Subjects	22	22	
	Male	8	
	Female	14	
Number of Tooth Surfaces (%)	164 (100)	438 (100)	
	Maxillary teeth	76 (46.3)	229 (52.3)
	Mandibular teeth	88 (53.7)	209 (47.7)
	1 st primary molar	63 (38.4)	-
	2 nd primary molar	101 (61.6)	-
	premolar	-	220 (50.2)
	molar	-	218 (49.8)

Table 2. Laser fluorescence readings and mean ranks among three groups classified by radiographic scorings in primary dentition

Radiographic scoring	Number (%)	DD		DDpen	
		Reading (Mean ± SD)	Mean Rank	Reading (Mean ± SD)	Mean Rank
pR ₀	98 (59.8)	1.34 ± 1.82	59.33 ^a	3.45 ± 2.79	57.23 ^a
pR ₁	41 (25)	3.54 ± 2.23	104.87 ^b	7.93 ± 4.33	107.57 ^b
pR ₂	25 (15.2)	7.96 ± 4.47	136.66 ^c	15.88 ± 6.94	140.44 ^c
<i>p</i> -value		< 0.001		< 0.001	

p : Kruskal-Wallis test ($\alpha=0.05$), a,b,c : Mann-Whitney's U test as post-hoc test
 pR₀ : sound, pR₁ : enamel caries, pR₂ : dentin caries
 a,b,c : same superscript letters in the columns indicate non significantly different by the Mann-Whitney's U test

Table 3. Laser fluorescence readings and mean ranks among four groups classified by radiographic scorings in permanent dentition

Radiographic Scoring	Number (%)	DD		DDpen	
		Reading (Mean ± SD)	Mean Rank	Reading (Mean±SD)	Mean Rank
PR ₀	305 (69.6)	1.21 ± 1.50	184.64 ^a	3.73 ± 3.61	175.91 ^a
PR ₁	72 (16.4)	2.68 ± 2.56	260.25 ^b	7.21 ± 4.05	282.65 ^b
PR ₂	31 (7.1)	5.26 ± 5.13	315.32 ^{bc}	11.68 ± 8.52	320.98 ^b
PR ₃	30 (6.8)	9.27 ± 8.54	377.13 ^c	22.13 ± 10.64	406.20 ^c
<i>p</i> -value		< 0.001		< 0.001	

p : Kruskal-Wallis test ($\alpha=0.05$), a,b,c : Mann-Whitney's U test as post-hoc test
 PR₀ : sound, PR₁ : outer enamel caries, PR₂ : inner enamel caries, PR₃ : dentin caries
 a,b,c,d : same superscript letters in the columns indicate non significantly different by the Mann-Whitney's U test

(pR₁ threshold)를 기준으로 한 ROC 곡선(Fig. 2A)과 법랑질 우식과 상아질 우식 사이를 구분하는 경계(pR₂ threshold)를 기준으로 한 ROC 곡선(Fig. 2B)에서 모두 DDpen은 DD보다 높은 AUC를 나타내었으나, 두 기기 사이에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 4).

영구치열군에서 건전치질과 얇은 법랑질 우식 사이를 구분하는 경계(PR₁ threshold)를 기준으로 한 ROC 곡선(Fig. 3A), 얇은 법랑질 우식과 깊은 법랑질 우식 사이를 구분하는 경계(PR₂ threshold)를 기준으로 한 ROC 곡선(Fig. 3B), 법랑질 우식과 상아질 우식 사이를 구분하는 경계(PR₃ threshold)를 기준으로 한

ROC 곡선(Fig. 3C) 세 가지 모두 DDpen은 DD 보다 높은 AUC를 나타내었고, PR₁ threshold와 PR₃ threshold에서만 두 기기 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 4).

4. 최적의 절단값

제조사에서 지시한 절단값을 이 연구에 적용하였을 때 나타나는 민감도와 특이도, 그리고 ROC 곡선 분석을 통하여 민감도와 특이도의 합이 최대가 되는 최적의 절단값에서의 민감도와 특이도가 유치열군과 영구치열군에 대해 각각 Table 5와 6에 나타나

있다. 제조사에서 제시한 절단값을 적용할 경우에는 낮은 민감도와 높은 특이도를 보였고, 이 연구에서의 최적의 절단값은 유치열과 영구치열 모두 제조사가 제시한 값보다 낮은 것으로 나타났다.

IV. 총괄 및 고찰

구치부 인접면 우식의 수복치료에 대한 치료계획의 결정은 환자의 우식 위험도, 와동형성 여부, 우식의 깊이가 고려된다. 방사선 사진 상 상아질 내측까지 진행된 우식은 수복치료가 필요하

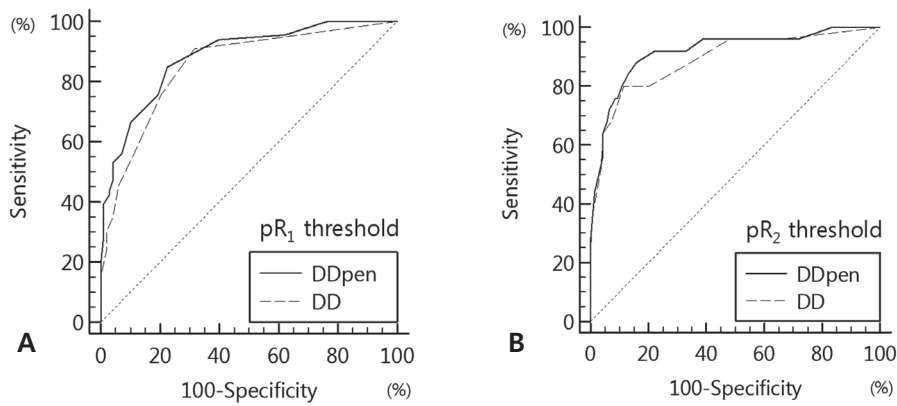


Fig. 2. Receiver operating characteristics curves of DIAGNOdent® (DD, broken line) and DIAGNOdent® pen (DDpen, solid line) at pR₁ threshold (A, enamel caries), and pR₂ threshold (B, dentin caries) in primary dentition.

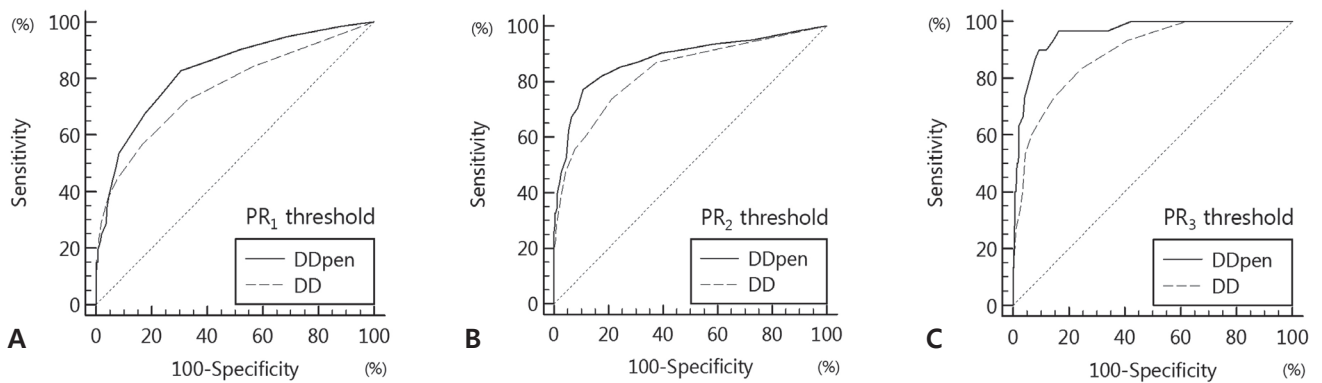


Fig. 3. Receiver operating characteristics curves of DIAGNOdent® (DD, broken line) and DIAGNOdent® pen (DDpen, solid line) at PR₁ threshold (A, outer enamel caries), PR₂ threshold (B, inner enamel caries), and PR₃ threshold (C, dentin caries) in permanent dentition.

Table 4. Area under the ROC curve of DIAGNOdent and DIAGNOdent pen in primary and permanent dentition

	Threshold	DD	DDpen	<i>p</i> -value
Primary Dentition	pR ₁	0.851	0.883	0.285
	pR ₂	0.890	0.917	0.282
Permanent Dentition	PR ₁	0.762	0.828	0.007*
	PR ₂	0.835	0.880	0.121
	PR ₃	0.886	0.958	0.001*

Pairwise comparison of ROC curves (* : *p* < 0.05)
 DD : DIAGNOdent, DDpen : DIAGNOdent pen
 pR₁ : enamel caries, pR₂ : dentin caries
 PR₁ : outer enamel caries, PR₂ : inner enamel caries, PR₃ : dentin caries

Table 5. Sensitivities and Specificities at different cut-off values suggested by manufacturer and the result of this study in primary dentition

	pR ₁ threshold			pR ₂ threshold		
	Cut-off	Sn	Sp	Cut-off	Sn	Sp
DD	6†	0.46	0.94	21†	0.08	1.00
	2‡	0.91	0.68	5‡	0.80	0.89
DDpen	8†	0.56	0.93	16†	0.56	0.96
	5‡	0.85	0.78	9‡	0.84	0.87

† : Manufacturer's suggestion, ‡ : Optimal cut-off maximizing sum of sensitivity and specificity in this study
 DD : DIAGNOdent, DDpen : DIAGNOdent pen
 pR₁ : enamel caries, pR₂ : dentin caries
 Sn : Sensitivity, Sp : Specificity

Table 6. Sensitivities and Specificities at different cut-off values suggested by manufacturer and the result of this study in permanent dentition

	PR ₁ threshold			PR ₂ threshold			PR ₃ threshold		
	Cut-off	Sn	Sp	Cut-off	Sn	Sp	Cut-off	Sn	Sp
DD	6†	0.29	0.98	15†	0.15	1.00	21†	0.13	1.00
	3‡	0.56	0.84	3‡	0.74	0.79	3‡	0.83	0.76
DDpen	8†	0.59	0.88	-	-	-	16†	0.67	0.96
	5‡	0.83	0.70	10‡	0.77	0.89	12‡	0.90	0.91

† : Manufacturer's suggestion, ‡ : Optimal cut-off maximizing sum of sensitivity and specificity in this study
 DD : DIAGNOdent, DDpen : DIAGNOdent pen
 PR₁ : outer enamel caries, PR₂ : inner enamel caries, PR₃ : dentin caries
 Sn : Sensitivity, Sp : Specificity

며, 방사선 사진 상 상아질 외측 1/3이내의 우식은 와동 형성 여부가 불명확하다. 그리고 법랑질에 국한된 우식에서는 와동이 형성된 경우가 거의 없어 수복치료는 연기하고 병소의 진행 혹은 정지 여부를 재평가 하는 것이 필요하다[15]. Innes 등[16]의 연구에서는 법랑질 내에 한정된 우식에 대해 21%의 치과의사가 수복치료를 진행한다고 하였고, 상아법랑경계까지 진행된 우식에 대해서는 48%의 치과의사가 수복치료를 진행한다고 하였다. 이 연구에서 시행한 유치열군에서 DD와 DDpen 측정값은 모

두 방사선학적 우식 깊이에 따른 그룹들 간에 서로 유의한 차이를 보여 두 기기는 유치열 인접면 우식 검사에 적용할 수 있음을 확인하였다. 반면, 영구치열에서 DD의 법랑질 외측 1/2의 우식과 법랑질 내측 1/2의 우식 사이에 측정값의 유의한 차이가 없었고, 법랑질 내측 1/2의 우식과 상아질 우식 사이의 측정값도 유의한 차이가 나타나지 않았다. DDpen은 법랑질 외측 1/2의 우식과 법랑질 내측 1/2의 우식 사이에서 유의한 차이가 없었다. Huth 등[7]의 연구에서도 DDpen을 이용한 검사 시에 법랑질 외

측 1/2의 우식과 법랑질 내측 1/2의 우식의 검사 수치가 유의한 차이를 보이지 않았으나, 두 그룹은 치료 계획이 대체로 같아 임상적으로 두 그룹을 감별하는 것이 중요하지는 않다고 하였다. 한편, 법랑질 내측 1/2의 우식과 상아질 우식은 치료 계획이 다르기 때문에, 이 두 그룹의 측정값 사이에 유의한 차이가 없었던 DD는 영구치 인접면 우식 검사에 사용하기에는 부적절하다. 따라서 영구치 인접면 우식의 검사에는 DDpen의 사용이 추천된다.

유치열에서는 DD가 DDpen과 비슷한 정도의 진단 정확성을 확보할 수 있을 것으로 보인다. 진단의 정확도는 ROC 곡선 하방의 면적인 AUC로 측정될 수 있다[17]. Greiner 등[18]은 AUC에 따라 비정보적인(AUC = 0.5), 덜 정확한(0.5 < AUC ≤ 0.7), 중등도 정확한(0.7 < AUC ≤ 0.9), 매우 정확한(0.9 < AUC < 1.0), 완벽한(AUC = 1.0) 검사로 구분하였다. 이번 연구에서 유치열과 영구치열 모두 각각의 우식 깊이에 따른 ROC 곡선에서 DDpen이 DD보다 더 높은 AUC를 나타내 인접면 우식 검사에 더 정확한 결과를 보였다. 영구치열에서는 법랑질 우식과 상아질 우식에서 DDpen이 유의하게 더 높은 AUC를 나타내었으나, 유치열에서는 법랑질 우식과 상아질 우식 모두 AUC의 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 유치의 접촉점이 영구치에 비하여 긴밀하지 않기 때문에 비교적 틈이 두꺼운 DD를 이용하여도 DDpen만큼 정확한 인접면 우식 검사가 가능했던 것으로 생각된다. 연구에 사용된 DD의 probe는 약 1.3mm의 두께를 가지는 반면 DDpen의 approximal probe는 약 0.4 mm의 얇은 두께의 광섬유로 만들어진다[19]. 하지만 DDpen은 DD에 비하여 구강내에 적용되는 head 부위의 부피가 크고, 기기가 일체형이어서 검사와 동시에 측정값을 읽기가 불편한 단점이 있으며, 얇은 두께의 광섬유 프로브가 부러지기 쉬워 DD보다 재현성이 떨어질 수 있다고 한다[20]. 특히 움직임이 많은 어린이에게서 프로브의 파절 위험성은 더욱 증가한다.

질병의 유무를 결정하는 절단값은 민감도와 특이도가 모두 높은 값을 선택하는 것이 가장 합당하지만 질환의 유병률을 고려할 필요도 있다[17]. DD와 DDpen 기기는 절단값을 어떻게 설정하는 지에 따라 성능이 좌우될 수 있으며, 아직 문헌상의 합의점은 없다[20]. 제조사에서는 영구치열을 기준으로 절단값을 제시하였고, 유치열을 기준으로 제시한 값은 없었다. DDpen에 대해서는 소와열구 및 인접면에서의 절단값이 제시되어 있는 반면, DD에 대해서는 소와열구 우식에 대한 절단값만 제시되어 있다. 이번 연구를 통해 얻은 최적의 절단값은 제조사에서 제시하였던 것 보다는 다소 낮은 값을 나타냈다. 이 연구는 다른 연구와 같은 방법으로 민감도와 특이도의 합이 최대가 되는 절단값을 최적의 절단값으로 설정하였다. 영구치 인접면에서 DDpen을 이용

하여 건전치질과 법랑질 우식을 구별하는 최적의 절단값은 5(민감도 = 0.85, 특이도 = 0.78), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 절단값은 9(민감도 = 0.84, 특이도 = 0.87)로 나타났고, DD를 이용하여 건전치질과 법랑질 우식을 구분하는 최적의 절단값은 2(민감도 = 0.91, 특이도 = 0.68), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 절단값은 5(민감도 = 0.80, 특이도 = 0.89)로 나타났다. 영구치 구치부 인접면에서 DDpen을 이용하여 건전치질과 법랑질 외측 1/2의 우식을 구분하는 절단값은 5(민감도 = 0.83, 특이도 = 0.70), 법랑질 외측 1/2과 내측 1/2의 우식을 구분하는 절단값은 10(민감도 = 0.77, 특이도 = 0.89), 법랑질 내측 1/2과 상아질 우식을 구분하는 절단값은 12(민감도 = 0.90, 특이도 = 0.91)로 나타났다. 영구치열에서 DD를 이용하였을 때는 모든 경계 부위에서 최적의 절단값이 3으로 나타나 영구치열에서 DD로 인접면 우식을 검사하는 것은 부적절한 것으로 생각된다. 최적의 절단값을 확인한 다른 연구들을 살펴보면, Virajsilp 등[4]은 영구치 인접면에서 DD를 이용하여 건전치질과 법랑질 우식을 구분하는 절단값은 2(민감도 = 0.75, 특이도 = 0.94), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 절단값은 4(민감도 = 0.85, 특이도 = 0.89)라고 보고하였고, Souza 등[21]은 영구치 인접면에서 DDpen을 이용하여 건전치질과 법랑질 우식을 구분하는 최적의 절단값은 8(민감도 = 0.58, 특이도 = 0.88), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 최적의 절단값은 32(민감도 = 0.80, 특이도 = 0.98)로 보고하였다. 한편 영구치 구치부 인접면에서 DDpen에 대한 연구들 중에서, Lussi 등[13]은 건전치질과 법랑질 우식을 구분하는 절단값은 6(민감도 = 0.88, 특이도 = 0.92), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 절단값은 15(민감도 = 0.89, 특이도 = 0.82)로 보고하였고, Bizhang 등[5]의 연구에서도 법랑질과 상아질 우식을 구분하는 절단값을 15(민감도 = 0.83, 특이도 = 0.97)로 보고하였다. Huth 등[7]은 건전치질과 법랑질 사이를 구분하는 절단값을 7(민감도 = 0.60, 특이도 = 0.70), 법랑질 우식과 상아질 우식을 구분하는 절단값을 16(민감도 = 0.60, 특이도 = 0.84)으로 보고하였다.

민감도와 특이도는 절단값을 어떻게 설정하는 지에 따라 다양하게 나타난다. 민감도가 높은 검사는 선별검사(rule-out test)에 유리하고, 특이도가 높은 검사는 확진검사(rule-in test)에 유리하다[22]. Nokhbatolfighahaie 등[23]은 영구치열과 유치열에서 DD와 DDpen의 높은 민감도와 낮은 특이도를 보고하면서, 기기가 높은 민감도를 가지기 때문에 우식 진단에 적합하다고 하였다. 그러나 높은 민감도와 낮은 특이도로 인해 위양성의 가능성이 높아 다른 진단법과 병용하는 것이 좋을 것이라고 하였다.

이 연구의 한계점은 교익 방사선 사진이 완벽한 우식 검사 방법이 아니라는 점이다. 완벽한 우식의 확진을 위해서는 검사한

치아를 발치하여 조직학적으로 분석하는 것이 가장 타당할 것이나, 초기 우식을 가진 치아를 발치하는 것은 윤리적 문제를 가진다. Newman 등[24]의 연구에 따르면, 교익 방사선 사진은 유치의 법랑질 우식에 대하여 0.91의 민감도와 0.93의 특이도를 보고하였고, 시진 및 촉진 검사에 비하여 민감도가 월등히 높게 나타났다. Schwendicke 등[25]은 인접면 우식의 진단에 있어서 교익 방사선 사진은 양호한 민감도와 매우 높은 특이도를 보이지만, 초기 우식에 대해서는 민감도가 떨어진다고 하였다. 두 가지의 우식 진단 기기를 비교할 기준으로 교익 방사선 사진이 사용되었는데, 방사선 사진이 초기 우식에서 민감도가 떨어져 실제로 존재하는 초기우식을 발견하지 못할 수 있다는 점에서 한계를 가진다. 이 연구에서 DD와 DDpen은 깊은 우식 보다 초기 우식에서 더 낮은 AUC 값을 나타냈다. 비교의 기준이 방사선 사진이었기 때문에 우식 진단 기기가 방사선 사진과 일치하는 결과를 가질수록 높은 AUC를 나타내는 것이고, 반대의 경우 낮은 AUC를 나타내는 것이다. DDpen과 교익 방사선 사진을 비교하였을 때 법랑질 우식의 양성우도비는 DDpen에서 월등히 높았고, 상아질 우식의 양성우도비는 비슷하게 나타났다[26]. 양성우도비는 위양성에 대한 진양성의 비율로, 초기 법랑질 우식에 대해서 방사선 사진보다는 DDpen이 더 신뢰할 수 있는 진단방법임을 뜻한다. 이것은 이 연구에서 DDpen이 상아질 우식에 비하여 법랑질 우식에서는 비교적 낮은 AUC를 나타내 교익 방사선 사진과는 다소 차이가 있는 결과를 나타냈으나, 실제로는 초기 우식에 대하여 DDpen 검사가 방사선 사진 보다 더 정확한 검사일 수 있음을 암시한다. 이 연구의 한계점을 보완하기 위해서는 발견대상이 되는 치아에 대한 우식 검사와 조직학적 평가를 통해 레이저 형광 원리를 이용한 기기의 정확성을 평가하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

이 연구는 인접면 초기 우식증을 진단하고자 임상에서 사용 가능한 DD와 DDpen의 진단학적 능력을 비교하였다. 연구 결과를 통해 DDpen이 DD보다 교익 방사선 사진과 비슷한 진단 능력을 가지는 것으로 나타났다. DDpen은 영구치열과 유치열에서 인접면 우식 검사에 사용될 수 있는 반면, DD는 영구치열의 우식검사에 사용하기에는 부적절하다. 그러나 유치열에서는 DD도 DDpen과 비슷한 정도의 우식 진단 능력을 보여주었다. 따라서 유치열에 한하여 인접면 우식의 진단에는 프로브가 부러지기 쉬운 DDpen을 대신하여 DD도 활용이 가능할 것으로 생각된다.

이 연구에서 확인한 DD와 DDpen의 진단의 정확도를 높이기 위한 최적의 절단값은 제조사에서 제시하였던 절단값보다 낮

게 나타났다. 이 절단값을 임상에 적용할 경우 제조사에서 제시한 절단값을 적용하는 것보다 민감도가 높아지고 특이도가 낮아져 더 많은 위양성결과를 포함할 수 있다. 따라서 이번 연구 결과의 절단값을 임상에 적용할 경우에는 치아 우식증 확인을 위한 선별검사로써 활용하는 것이 적절할 것이다. 초기 우식을 암시하는 측정값을 나타낼 경우에는 적극적인 예방치료를 시행하고, 깊은 우식을 암시하는 측정값을 나타낼 경우에만 방사선 촬영과 같은 특이도가 높은 검사로 우식의 확진을 시행한다면 환자의 방사선 피폭량을 줄일 수 있을 것으로 생각한다.

References

1. Baelum V, Nyvad B, Grondahl HG, Fejerskov O : Dental caries : the disease and its clinical management, 3rd ed. Wiley-Blackwell, 173-190, 2015.
2. Gomez J : Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health*, 15 Suppl 1:S3, 2015.
3. Schwendicke F, Paris S, Stolpe M : Detection and treatment of proximal caries lesions : Milieu-specific cost-effectiveness analysis. *J Dent*, 43:647-655, 2015.
4. Virajsilp V, Thearmontree A, Paiboonwarachat D, Aryatawong S : Comparison of proximal caries detection in primary teeth between laser fluorescence and bitewing radiography. *Pediatr Dent*, 27:493-499, 2005.
5. Bizhang M, Wollenweber N, Zimmer S, et al. : Pen-type laser fluorescence device versus bitewing radiographs for caries detection on approximal surfaces. *Head Face Med*, 12:30, 2016.
6. Menem R, Barnkggei I, Joury E, et al. : The diagnostic accuracy of a laser fluorescence device and digital radiography in detecting approximal caries lesions in posterior permanent teeth: an in vivo study. *Lasers Med Sci*, 32:621-628, 2017.
7. Huth KC, Lussi A, Neuhaus KW, et al. : In vivo performance of a laser fluorescence device for the approximal detection of caries in permanent molars. *J Dent*, 38:1019-1026, 2010.
8. Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ : A systematic review of the performance of methods for identifying carious lesions. *J Public Health Dent*, 62:201-213, 2002.
9. Banerjee A, Gilmour A, Kidd E, Watson T : Relationship between S.mutans and the autofluorescence of carious dentin. *Am J Dent*, 17:233-236, 2004.
10. Lussi A, Hellwig E : Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J*

- Dent*, 34:467-471, 2006.
11. Huth KC, Neuhaus KW, Lussi A, *et al.* : Clinical performance of a new laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions in permanent molars. *J Dent*, 36:1033-1040, 2008.
 12. Neuhaus KW, Rodrigues JA, Lussi A, *et al.* : Performance of laser fluorescence devices, visual and radiographic examination for the detection of occlusal caries in primary molars. *Clin Oral Investig*, 15:635-641, 2010.
 13. Lussi A, Hack A, Stich H, *et al.* : Detection of approximal caries with a new laser fluorescence device. *Caries Res*, 40:97-103, 2006.
 14. Chawla N, Messer LB, Adams GG, Manton DJ : An in vitro comparison of detection methods for approximal carious lesions in primary molars. *Caries Res*, 46:161-169, 2012.
 15. Kidd EAM, Frencken J, Nyvad B, Opdam NJM, *et al.* : Dental caries : the disease and its clinical management, 3rd ed. Wiley-Blackwell, 335-373, 2015.
 16. Innes NPT, Schwendicke F : Restorative threshold for carious lesion : systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*, 96:501-508, 2017.
 17. Song SW : Using the receiver operating characteristic (ROC) curve to measure sensitivity and specificity. *Korean J Fam Med*, 30:841-842, 2009.
 18. Greiner M, Pfeiffer D, Smith RD : Principles and practical application of the receiver-operating characteristic analysis for diagnostic test. *Prev Vet Med*, 45:23-41, 2000.
 19. Hintze H, Lussi A, Cuisinier F, Nyvad B : Dental caries : the disease and its clinical management, 3rd ed. Wiley-Blackwell, 211-231, 2015.
 20. Moriyama CM, Rodrigues JA, Lussi A, Diniz MB : Effectiveness of fluorescence-based methods to detect in situ demineralization and remineralization on smooth surfaces. *Caries Res*, 48:507-514, 2014.
 21. Souza JF, Diniz MB, Cordeiro RCL, *et al.* : In vitro performance of a pen-type laser fluorescence device and bitewing radiographs for approximal caries detection in permanent and primary teeth. *Indian J Dent Res*, 25:702-710, 2014.
 22. Florkowski CM : Sensitivity, specificity, receiver-operating characteristic (ROC) curves and likelihood ratios : communicating the performance of diagnostic tests. *Clin Biochem Rev*, 29 Suppl1:S83-87, 2008.
 23. Nokhbatolfoghahaie H, Alikhasi M, Yaqhoub ZB, *et al.* : Evaluation of Accuracy of DIAGNOdent in diagnosis of primary and secondary caries in comparison to conventional methods. *J Laser Med Sci*, 4:159-167, 2013.
 24. Newman B, Seow WK, Holcombe T, *et al.* : Clinical detection of caries in the primary dentition with and without bitewing radiography. *Aust Dent J*, 54:23-30, 2009.
 25. Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S : Radiographic caries detection : A systematic review and meta-analysis. *J Dent*, 43:924-933, 2015.
 26. Zandona AF, Zero DT : Diagnostic tools for early caries detection. *J Am Dent Assoc*, 137:1675-1684, 2006.

국문초록

레이저 형광 원리를 이용한 우식 진단 기기의 구치부 인접면 우식 진단 능력 비교

이창근 전공의 · 이대우 교수 · 김재곤 교수 · 양연미 교수

전북대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실 및 구강생체과학연구소

이 연구의 목적은 두 가지 형태의 레이저 형광원리를 이용한 우식 진단 기기(DD, DDpen)의 구치부 인접면 우식을 진단 하는 능력을 비교하고, 두 기기의 최적의 절단값을 확인하는 것이다.

이 연구에는 164개의 유구치 인접면과 438개의 영구치 구치부 인접면이 연구 대상에 포함되었다. 각 치면은 순서대로 두 가지 기기를 통한 검사를 시행하였고, 두 기기를 비교할 기준으로서 교익 방사선 사진 촬영을 시행하였다. 방사선 사진 촬영 결과는 우식의 깊이 에 따라 유치열 3개의 군(pR_0 , pR_1 , pR_2), 영구치열 4개의 군(PR_0 , PR_1 , PR_2 , PR_3)으로 분류하였다.

유치열에서 법랑질 우식과 상아질 우식의 AUC 값은 DD가 각각 0.851과 0.890으로 나타났고, DDpen은 각각 0.883과 0.917로 나타났다. 영구치열에서 법랑질 우식과 상아질 우식의 AUC 값은 DD가 각각 0.762과 0.886으로 나타났고, DDpen은 각각 0.828과 0.958로 나타났다.

유치열과 영구치열 모두 구치부 인접면 우식을 검사하는 데에는 DDpen이 DD보다 정확한 결과를 보였다. 하지만 유치열에 대해서는 DD도 인접면 우식 검사에 활용이 가능할 것으로 보인다.