

Digora[®]영상시스템을 이용한 인접면 인공 치아우식병소의 진단능에 관한 연구

조선대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실

오경란 · 최의환 · 김재덕

I. 서론

디지털 영상법은 물체에 투과되거나 반사된 방사선, 초음파 등의 아날로그신호를 디지털 신호로 변환시켜 디지털 영상으로 재현시키는 방법¹⁾으로 X-선 영상 검출, 디지털화, 영상처리 및 영상재현의 네 단계를 거친다²⁾.

디지털 영상법의 장점은 흑화도와 대조도 조절이 가능하여³⁾ 적은 노출량으로 촬영된 밝은 방사선사진의 경우에도 이를 디지털 영상으로 변환시켜 대조도와 흑화도를 조절하면 판독에 적절한 영상을 얻을 수 있고⁴⁾, 환자의 방사선 노출량을 감소시킬 수 있으며^{5,6)}, 디지털 영상에 대한 분석이 가능하다. 또한 영상강조기법을 이용할 수 있어 얻어진 디지털 영상의 히스토그램을 변화시켜 술자가 원하는 영상을 형성할 수 있게 되어 대조도가 낮은 부위를 대조도가 높게하거나 그 이외의 다양한 영상처리방법을 통하여 영상의 질을 향상시킬 수 있고, 디지털 영상을 파일의 형태로 전송하여 정보를 교환하고 의견을 교환할 수 있다^{7,8,9,10)}.

최근에 구내표준방사선사진상을 디지털화하여 기록하는 몇가지 시스템이 개발되었다. 이들 시스템은 검출기인 CCD(charge-coupled device)센서가 개인용 컴퓨터에 전선으로 연결되어 있는 방법과(예를 들면, RVG(Radio VisioGraphy), Sens-A-Ray, Visualix/Vixa system), laser beam read-out device가 컴퓨터에 연결되어있는 storage phosphor plate를 이용하는 방법으로 크게 대별할 수 있다.

이중 구내 storage phosphor 시스템인 Digora[®]시스템은 디지털 영상 감지기로 영상판(Image plate)을 이용한다. 영상판의 종류로는 성인용과 소아용 2종류가 있으며 구내방사선필름과 동일한 크기로 되어있다. 하드웨어 시스템은 스캐너, 컴퓨터에 삽입할 수 있는 인터페이스판으로 구성되어있다. 영상판이 방사선에 노출되었을 때 에너지는 잠복상으로 storage phosphor 스크린에 저장되어진다. 그후 스캐너로 삽입된 후 He-Ne레이저 빛이 직접 조사되어 잠복상은 방출되어진다. 결과적으로 전기적 신호가 디지털 신호로 전환되어 컴퓨터상에 저장되어진다. Digora 시스템은 노출시간의 범위가 넓어 구내방사선필름의 80%까지 노출시간을 감소시킬 수 있으며, 8배까지의 확대상, 자동계조도 조정, 변

접수일 : 1998년 6월 30일
채택일 : 1998년 7월 14일

연강조(edge enhancement), 계조도 조정, 3-D 상, 반전 등 다양한 영상강조기법이 활용되고 있다.

그동안 직접 디지털 영상 시스템인 CCD센서 시스템의 물리적 특성에 대해서는 많은 연구가 보고되고 있으나^{11,12,13}, phosphor plate 시스템에 대해서는 최근에 자세히 기술되기 시작하였다^{12,14}. Wenlander 등¹⁵은 구내용 storage phosphor 시스템인 Digora의 변조대체기능(modulation transfer function)을 측정하였고, Wenzel 등¹⁴은 Digora시스템과 RVG, Sens-A-Ray, Visualix 등의 CCD센서 시스템들의 인접면, 교합면 치아우식증 진단능력을 평가한 연구에서 Digora 시스템이 우수한 진단능을 보였으며, Digora 시스템 압축상(image compression)에 관한 연구에서 압축율 1:12까지 진단능의 저하를 보이지 않았다고 보고하였다¹⁶. Svanaes 등¹⁷은 인접면 우식병소에 대해 구내표준방사선 사진상과 유사한 진단능을 보임을 보고하였다. Velder 등¹⁸은 노출시간의 넓은 활용도를 보고하였고, Luostarinen 등¹⁹은 치근단 병소 인지능에 관한 연구에서 구내표준방사선사진상과 필적할 만한 진단능을 보였다고 보고하였으며, Sanderink 등²⁰은 구내직접디지털 영상과 비교한 결과 Digora 시스템의 진단능이 낮았다고 보고하였다. 또한 Moystad 등²¹은 구내 storage phosphor 시스템에서 강조영상을 한 후 관찰한 결과 인접면 우식병소를 인지하는데 구내표준방사선사진상보다 증가된 진단능을 보였다고 보고하였다. 고 등²²은 노출시간의 변화에 따른 영향에 관한 연구에서 Digora 시스템은 노출시간의 활용범위가 넓어 노출량 감소와 상조작으로 진단능을 향상시킬수 있다고 보고하였다.

또한, 디지털 방사선상을 이용한 치아우식증의 진단에 대해 Pitts²³는 인접면 우식증에 대한 디지털 영상 분석방법에 대해, Kassebaum 등²⁴은 디지털 영상의 해상능에 대해, Wenzel 등¹⁰은 교합면 치아우식증의 진단에 임상검사, 방사선검사, 디지털 영상및 강조영상의 진단능에 대

해, Verdonshot 등⁹은 인접면 초기 우식병소의 디지털 영상의 회색조 변화시 나타나는 효과에 대해, Hintze 등²⁵은 초기 인접면 우식증에 관한 RVG, Vixa와 일반방사선사진상의 진단능을 비교하였다. Pitts 등²⁶은 영상강조용법을 사용하여 직접디지털 방사선사진상의 진단능을 일반방사선사진상과 비교하였다.

본 연구는 선학들의 연구를 토대로 Digora 시스템의 인접면 치아우식증 진단에 관한 유용성을 밝히기 위해, 인공적으로 인접면 우식병소를 형성하여 촬영한 구내표준방사선사진상과 Digora 비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상의 진단능을 ROC(Receiver Operating Characteristic)분석방법을 이용하여 비교·평가하고자 한다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

1) 발거한 건전한 소구치, 대구치 각각 30개의 인접면 120면을 연구대상으로 하였다.

2) 디지털 영상 시스템

디지털 영상 시스템으로 Digora 시스템(Soradex Orion Co., Finland)을 이용하였으며, 영상감지기인 영상판중 성인용(35×45mm; 416×560 pixel)을 사용하였고 레이저스캐너로 스캔하였다. 컴퓨터는 16MB RAM을 부착한 586 Pentium(GD53P 752, LG)과 1024×768 해상도, 256단계의 색조를 가진 15인치 모니터(1467, LG)를 이용하였다. Digora 시스템의 영상강조용법인 자동계조도 조정프로그램, 변연강조프로그램, 계조도 조정프로그램을 활용하였다(Fig. 2).

3) 구내표준방사선사진 촬영 및 현상

필름은 감광도 E군인 Ektaspeed Plus(Kodak Co., Rochester, USA)를 사용하였고 구내방사선촬영기는 초점크기가 0.7×0.7mm인

Heliodent MD(Simens AG, Germany)를 사용하여 70kVp, 7mA, 0.32sec의 촬영조건으로 촬영하였다. 촬영된 구내방사선필름은 구내자동현상기 Periomat (Dürr Dental GmbH & Co, KG)로 현상하였다.

2. 연구방법

1) 인공병소 및 실험블럭 형성

인접면 우식증이나 결손상이 없는 건전한 소구치, 대구치 각각 30개의 발거치를 수집하여, 초음파치석제거술과 치면세마를 시행하였다. 인접면 우식병소는 접촉점 직하방, 협설측 중앙에 형성하였다. 6mm, 1.2mm에 레진 stop을 부착한 #1/2(0.5mm직경), #2(1mm직경) round bur와 high speed handpiece를 이용하여, 총 120면중 60면에 무작위로 I급(초기우식병소상), II급(진행된 우식병소상)와동을 형성하였고, 나머지 60면에는 병소를 형성하지 않았다. 무작위로 각각 3개의 치아들을 선택하여 중앙부가 일직선이 되도록 위치시킨 다음, 인접면을 접촉시켜 석고블럭내에 매식하였다. 나머지 치아들도 동일한 방법으로 총 20개의 치아군을 형성하였다 (Fig 3).

2) 구내표준방사선 촬영법에 의한 상의 형성

연조직효과를 나타내기 위해 치아블록의 전방에 2.0cm두께의 아크릴 레진을 위치시켰으며, 구내표준방사선사진과 영상판을 동일한 조건하에 촬영하기 위해 암실내에서 필름후면의 납종이(lead foil)를 제거한 후 일회용 플라스틱 백에 함께 봉하여 치아블럭 직후방에 위치시켰다⁹⁾. 초점-필름간 거리는 40cm를 유지하였다. 구내방사선촬영기인 Heliodent MD로, 70kVp, 7mA조건하에서 예비실험을 통해 가장 적절한 노출시간으로 나타난 0.32sec를 노출시켰으며, XCP(Rinn Corp.,USA)을 이용하여 구내표준방사선필름과 영상판을 동시에 촬영하였다(Fig. 4). 구내표준방사선사진상은 자동현상기로 동일한 조건과 시간 하에 현상되어 얻어졌으며, 영상

판은 레이저 스캐너로 스캔하여 bit-mapped (BMP) 영상파일(file size 0.234Mb)을 형성한 후, Digora 시스템의 영상강조프로그램을 활용하여 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상을 얻었다(Fig. 5).

3) 구내표준방사선사진상과 디지털 영상의 판독

판독자들은 Digora 시스템을 활용한 경험이 없는 구강악안면방사선 전문의 10명으로 하였으며, 판독이전에 Digora 시스템의 사용법을 교육받았다. 구내표준방사선사진상과 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상을 무순위로 1주 이상의 간격을 두고 4회 판독하도록 하였다. 총 480인접면에 대해 우식유무를 판독하여 다음과 같은 등급으로 표현하도록 하였다.

1. 분명히 있다. 2. 있는 것 같다.
3. 확실치 않다. 4. 없는 것 같다.
5. 분명히 없다.

모든 구내표준방사선사진은 통상적으로 마운트하고, masking frame과 일정한 광도의 판독대를 이용하여 판독하였으며, 판독대와 판독자간의 거리는 50cm-100cm로 유지하였다. 3종류의 Digora영상을 판독시 구내표준방사선사진과 가능한 동일조건하에 판독하기 위해 제한된 빛 아래 동일한 거리를 두고 모니터 상을 판독하도록 하였다. Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상은 레이저 스캐너로 스캔한 상을 자동계조도 조절 프로그램과 변연강조 프로그램과 계조도조절 프로그램을 활용하여 주 판독자가 판독이 용이하게 적절히 상을 조절하여 판독하도록 하였다.

3. 평가방법과 통계처리

각 판독자들이 판독한 자료들은 Swets 등²⁰⁾이 보고한 rating법 및 trapezoidal법과 동일한 ROC(Receiver Operating Characteristic)분석 방법을 이용하여 구내표준방사선사진상과

Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상들의 진단능을 측정, 비교평가하였다. 판독결과 모두에 대하여 우식병소의 크기(I,II급 우식와동)에 따른 4가지 영상법에 대해 ROC면적을 구하여, 우식크기별 각 영상법에 대해 ROC 면적의 평균값을 구한 후 영상법간의 진단능의 차이를 평가하기 위해서 Paired t-tests를 시행하였고, 관찰자간 다양성 (variance)을 비교하기 위해 F-tests를 시행하였고, multiple tests를 시행할 경우 bonferroni's adjustment를 따라 신뢰도(significance level)는 0.05수준으로 하였다.

Ⅲ. 연구성적

1. 구내표준방사선사진상과 Digora 영상들간의 진단능 비교평가

10명의 판독자가 구내표준방사선사진상과 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상을 판독한 결과를 I급, II급 병소에 따라 각 등급에 대한 민감도와 특이도의 평균값을 얻어 Table 1,2에 나타내었다. 각 등급

에 대한 민감도와 특이도의 평균값을 이용하여 trapezoidal 방법에 따른 ROC 곡선을 얻었고 (Fig. 1), ROC 곡선 하방부위 면적을 구하여 진단능을 측정하여 비교 평가하였다. I급병소의 경우, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Diogra변연강조영상의 진단능은 각각 0.953, 0.933, 0.965, 0.978으로 Digora변연강조영상, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 진단능이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 각각 영상들간의 통계학적 유의한 차이는 없었다 ($p>0.05$). II급병소의 경우, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상의 진단능은 각각 0.969, 0.964, 0.988, 0.994로 Digora변연강조영상, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 진단능이 우수한 것으로 나타났으며, 구내표준방사선사진상과 Digora 변연강조영상간의 진단능 비교시 통계학적 유의성을 인정할 수 있었으나($p<0.05$)(Table 3), 다른 영상들간에는 유의성을 인정할 수 없었다 ($p>0.05$)(Table 4).

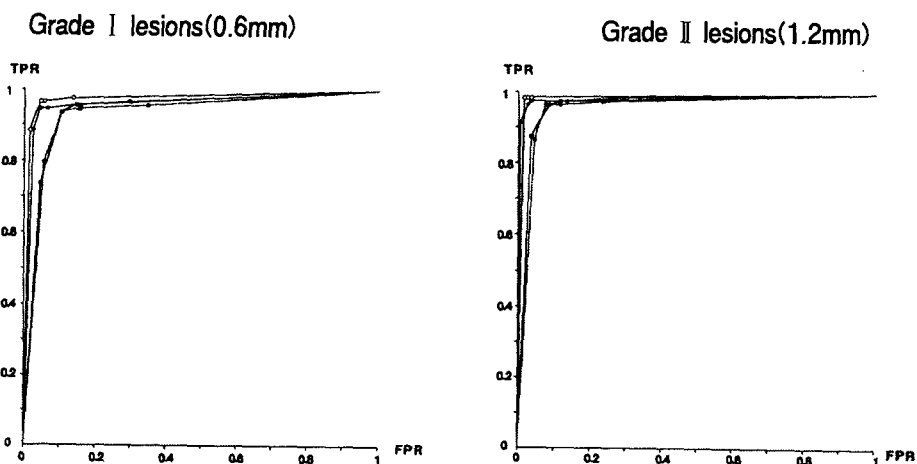


Fig 1. Receiver operating characteristic (ROC) curves obtained by ten observers for detection of proximal artificial caries(grade I, II lesion)with the four image modalities: (□)Digora unenhanced images, (■)Conventional radiographs, (●)Digora controlled images, (○)Digora edge enhanced images.

Table 1. The mean values of the sensitivity and specificity of Grade I lesions(0.6mm)

Rate	Conventional Radiograph		Digora® system Images					
	sensitivity	specificity	Unenhanced I.		Controlled I.(B&C)		Edge enhanced I.	
			sensitivity	specificity	sensitivity	specificity	sensitivity	specificity
1	0.74	0.96	0.80	0.95	0.89	0.98	0.89	0.99
2	0.94	0.90	0.94	0.9	0.95	0.96	0.97	0.96
3	0.96	0.86	0.95	0.85	0.95	0.94	0.97	0.95
4	0.97	0.71	0.96	0.66	0.96	0.85	0.98	0.87
5	1	0	1	0	1	0	1	0

Table 2. The mean values of the sensitivity and specificity of Grade II lesions(1.2mm)

Rate	Conventional Radiograph		Digora® system Images					
	sensitivity	specificity	Unenhanced I.		Controlled I.(B&C)		Edge enhanced I.	
			sensitivity	specificity	sensitivity	specificity	sensitivity	specificity
1	0.88	0.97	0.87	0.96	0.92	1	0.99	0.99
2	0.97	0.92	0.97	0.93	0.97	0.98	0.99	0.98
3	0.98	0.89	0.97	0.89	0.98	0.97	0.99	0.98
4	0.99	0.71	0.98	0.77	0.98	0.88	0.99	0.93
5	1	0	1	0	1	0	1	0

Table 3. Diagnostic accuracy(mean Az values with SD of 10 observers) obtained with four imaging modalities for the detection of artificial proximal carious lesions of extracted premolars and molars

Imaging modality	Grade I mean (SD)	Grade II mean (SD)
CR	0.953(±0.039)	0.969(±0.024)
D1	0.933(±0.075)	0.964(±0.063)
D2	0.965(±0.032)	0.988(±0.021)
D3	0.978(±0.016)	0.994(±0.011)

CR : Conventional radiography, D1 : Digora unenhanced image,

D2 : Digora brightness&contrast controlled image, D3 : Digora enhanced image

Grade I : 0.6mm lesion, Grade II : 1.2mm lesion

Table 4. Paired t-tests between mean diagnostic accuracies obtained from 10 observers using four imaging modalities to detect artificial proximal lesions.

	Modality pairs	p Value	Significance*
Grade I	CR vs D1	0.475	NS
	CR vs D2	0.471	NS
	CR vs D3	0.081	NS
	D1 vs D2	0.247	NS
	D1 vs D3	0.093	NS
	D2 vs D3	0.256	NS
Grade II	CR vs D1	0.839	NS
	CR vs D2	0.065	NS
	CR vs D3	0.010	*
	D1 vs D2	0.273	NS
	D1 vs D3	0.177	NS
	D2 vs D3	0.507	NS

NS : Not significant.

*Significance level set to $P < 0.05$

2. 구내표준방사선사진상과 Digora영상법 (image modalities)내 관찰자간 다양성 (Variances, SD²)평가

10명의 판독자가 구내표준방사선사진상과 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상을 판독한 결과로 얻어진 ROC 하방 면적을 이용하여 각각의 영상법의 관찰자간 다양성(variances, SD²)을 평가한 결과 I, II급 병소 모두에서 Digora변연강조영상의 경우 가장 낮았으며, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 나타났다(Table 3). 그러나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

IV. 총괄 및 고안

근래 컴퓨터의 발달로 새로운 영상진단 시스템인 디지털 영상이 소개되기 시작하였는데, 디지털 영상법은 물체에 투과되거나 반사된 방사선, 초음파 등의 아날로그신호를 디지털 신호로 변환시켜 디지털 영상으로 재현시키는 방법¹⁾으로 X-선 영상 검출, 디지털화, 영상처리 및 영상 재현의 네 단계를 거치며²⁾, 즉각적인 영상 획득, 불필요한 현상과정^{10,17)}, 환자의 방사선 노출량 감소^{5,6)}, 영상 재구성, 디지털 공제술, 영상의 정량적 분석(quantitative analysis), 자동 영상진단(automated image detection), 영상의 원거리 전송 등의 장점을 갖는다²⁸⁾.

디지털 방사선상을 이용한 치아우식증 진단에 대한 연구로는 Pitts 등²⁹⁾이 초기 인접면 치아우식증을 진단한 결과 진단의 오류가 많이 발생되어 진단의 정확도가 감소되었다고 보고하였으며, 이는 디지털화과정중 필요한 정보의 상실일 것이라고 보고하였다. Kassebaum 등²⁴⁾은 디지털 영상의 해상능에 대해 연구한 결과 200, 300, 400um화소크기를 갖는 디지털영상은 구내표준방사선사진상과 동등한 해상능을 보였다고 보고하였다. Wenzel 등²⁹⁾은 모니터에 나타난 영상을 대조도 강조용법을 한 후 치아우식증을

판독한 결과 진단의 정확성이 구내표준방사선사진상과 거의 같았다고 보고하였다. 초기 인접면 우식증에 있어, RVG와 Vixa시스템은 일반방사선사진상과 유사한 진단능을 보였으나, RVG의 인쇄상(paper-print images)은 정확성이 떨어졌다고 보고하였다²⁶⁾. Wenzel 등¹⁰⁾은 디지털화과정을 사용함으로써 교합면 우식증을 평가하는 판독능이 향상되었으며, 판독자들 대부분이 본래의 상보다 조절된 상을 편애하는 경향이 있었다고 보고하였다. Dove 등³⁰⁾은 영상처리(image processing)후 판독시 진단능이 증가하였다고 보고하였으나, Ohki 등³¹⁾은 영상처리 후 판독시 진단능이 감소하였다고 보고하였다. Verdonsschott 등⁹⁾은 법랑질내에 치아우식증은 상 조작 후 민감도나 특이도의 증가를 볼 수 없었으나, 상아질내로 확장시 감소된 특이도와 증가된 민감도를 보였다고 보고하였다.

본 연구에서는 밝기와 대조도 조절과, 변연강조용법 등의 영상처리를 이용한 결과 I급, II급병소에서 Digora강조영상들이 모두 구내표준방사선사진상보다 진단능이 높게 나타났으나, 비조절영상은 구내표준방사선사진상보다 진단능이 낮게 나타났다. 또한, 본 연구에서 사용한 대조도 강조용법은 치아우식증을 판독하는데 중요한 요소인 흑화도를 조절하는 것⁶⁾으로 하나의 영상을 이용하여 진단목적에 따른 다양한 변화 상을 얻을 수 있어 진단시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 변연강조용법은 병적인 조직과 건전한 조직간의 경계를 판독하기 위해 영상내 흐릿함(blur)을 감소시키고, 변연상을 명확하게 하는 영상처리방법으로 교합면, 인접면 우식증을 판독하는데 유용하다고 생각된다.

Digora 시스템에 대한 연구로는 Wenzel 등¹⁴⁾이 RVG, Sens-A-Ray, Visualix/Vixa 시스템과 Digora 시스템을 이용하여 우식증의 진단능을 평가하였는데, 이때 Digora 시스템은 구내 직접 디지털 영상과 비교시 교합면 치아우식 진단시 두번째, 인접면 우식 진단시 첫 번째로 높은 진단능을 나타냈다고 보고하였다. Svanaes 등¹⁷⁾은

구내표준방사선사진상과 Digora 영상의 진단능을 비교하고, 또한 Digora 확대상의 진단능을 비교한 결과 구내표준방사선사진상과 유사한 진단능을 보였으며, Digora 확대상은 비확대상에 비해 진단능이 우수하다고 보고하였다. Moystad 등²¹⁾은 인접면 우식증을 진단하는데 Digora비조절상, Digora강조상, 구내표준방사선사진상을 비교한 결과 Digora비조절상은 CCD 디지털 영상의 경우와 유사한 결과를 보이거나, Digora강조영상은 높은 ROC 곡선 영역, 낮은 관찰자간 다양성을 나타내 유의성있는 진단능의 증가상을 나타냈다고 보고하였다. Gotfredsen 등³²⁾은 4종류의 디지털 영상인 RVG, Sens-A-Ray, Visualix/Vixa 시스템과 Digora 시스템을 이용하여 얻은 상에 대해 판독자들의 영상강화 활용도에 대한 연구에서 치아우식증을 진단하는데 4종류의 디지털 영상간에는 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다.

본 연구에서는 Digora비조절영상은 구내표준방사선사진상보다 다소 낮은 ROC영역을 보였고, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상은 높은 ROC영역을 보였으며, 관찰자간 다양성도 역시 Digora변연강조영상이 가장 낮은 값을 보였으며, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 낮게 나타났다. Digora비조절영상은 구내표준방사선사진상보다 인접면 치아우식증을 판독하는데 진단능이 낮게 나타났는데, 그 이유는 판독자들 모두 Digora 시스템을 활용한 경험이 없고 표준방사선사진상에 익숙하였기에 진단능이 낮았으리라 생각되며, Digora 시스템에 익숙해진 상태에서 판독할 경우에는 좀더 진단능이 증가할 수 있을 것으로 사료된다.

Digora 시스템은 600×800 해상도, 15인치 모니터를 사용했을 때 구내표준방사선사진상보다 4배 확대되어 나타난다. 그러나 이러한 Digora의 확대율은 모니터의 크기와 Digora 스캐너에 제공하는 개인용 컴퓨터에 설치된 그래픽 카드의 해상력의 차이에 따라 달라질 수 있으며

로 모니터 크기와 그래픽 카드를 적절히 잘 조화하면 치아우식증을 진단하기에 좋은 비율로 확대할 수 있다¹⁷⁾. 본 연구에서는 16MB RAM을 부착한 586 Pentium(GD53P 752, LG)과 1024×768 해상도, 256단계의 색조를 가진 15인치 모니터(1467, LG)를 이용하여 구내필름이 4배 확대된 상을 판독하였으며, 구내표준방사선사진상보다는 해상도는 낮았으나 거의 동등한 진단능을 보여주었다.

Webber 등³³⁾은 디지털 영상이 구내표준방사선사진상보다 낮은 공간해상력을 가지더라도 치아우식증을 진단하는데는 큰 영향이 없었다고 보고하였으며, Digora 시스템이 갖는 storage phosphor 시스템의 세부구조의 시각화 능력은 양자반점(quantum noise)에 주로 의존하며, 양자반점은 노출시간을 감소시 증가된다고 보고하였다²¹⁾.

본 연구에서 우리는 Ektaspeed Plus 구내필름과 Digora 영상판을 동시에 노출시켰다. 구내방사선필름의 적정 노출량을 얻기 위해, 영상판은 바람직한 신호대 잡음비보다 더 많은 노출이 이루어졌다. 넓은 관용도, 충분히 작은 0.07mm² 화소크기, 그리고 비교적 높은 노출량에 대한 낮은 잡음들의 결합으로 Digora 시스템이 높은 진단능을 보인 바람직한 결과가 이루어졌다고 생각된다.

본 연구에서 구내표준방사선사진상과 Digora 비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상의 진단능을 비교하기 위해 사용된 ROC 분석방법은 처음에는 잡음에 대한 반응정도를 평가하기 위해 사용되었던 것으로 심리학에서 주로 이용되다가²⁷⁾, Lusted³⁴⁾에 의해 의학분야에 처음 이용되었다. ROC분석은 진단용 영상 시스템의 진단능을 가장 객관적으로 평가하는 방법으로 의학영상이나 치과방사선학의 여러 분야에서 널리 이용되어지고 있으며, 질환 판독시 진단능, 혹은 진단의 효용성을 비교·평가하는데 이용되어진다. "1-특이도"에 대한 "민감도"를 구하여 ROC평면상에서 점을 위치시키고 그 점들

을 연결하는 곡선 혹은 직선 하방의 면적을 구하여 진단능을 구하는데, maximum likelihood법과 trapezoidal법으로 나눌수 있다³⁵⁾. ROC곡선이 ROC평면의 좌측 상단에 위치할수록 진단능이 우수한 것으로 평가되어지며³⁶⁾, ROC면적은 최소 0에서 1까지의 값으로 구하여지며 0.5인 경우는 무작위로 병소의 유무를 판정한 경우로 진단가치가 없는 것을 의미하고, ROC면적이 1에 근접할수록 병소의 유무를 정확하게 판독한 경우를 의미한다³⁷⁾. "truth"에 대한 판독자의 인지력(perception)을 비교함으로써 ROC곡선은 이루어지고, 곡선 하방 면적은 관찰자의 판단적 선입관과 개인적인 견해의 다양성 같은 변수들을 자유롭게 한 상태에서 정확한 지표(true index)를 나타내준다.

본 연구에서는 질환유무를 등급에 따라 판독하는 rating법과 직선하방 면적을 구하는 trapezoidal법을 이용하여 ROC 분석을 시행하였다. 인공병소 형성크기에 따라 I급, II급 병소에 따른 각각의 ROC 곡선과 하방면적을 얻은 결과(Fig. 1), ROC 하방면적은 I급병소에서는 구내표준방사선사진상과 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상은 각각 0.953, 0.933, 0.965, 0.978 이었으며, II급병소에서는 0.969, 0.964, 0.988, 0.994 이었다. I, II급 병소 모두에서 Digora변연강조영상, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 높게 나타났다. 이들의 결과는 ROC 분석을 이용하여 치아우식증진단능에 관해 연구한 선학^{14,17,21,25)}들의 결과보다 높은 값을 나타내었는데 이는 자연우식병소가 아닌 치과용 바(bur)로 형성한 인공우식병소를 이용함으로써 방사선사진상에서 작지만 명확한 변연과 높은 대조도를 가졌기 때문³⁸⁾이라고 생각된다.

판독자가 5 등급으로 판독하였는데 1 등급인 "분명히 있다"로 우식증 유무를 판단하는 기준(cut-off point)을 설정할 때, Digora강조영상들(변연강조영상, 계조도조절영상)은 구내표준방사선사진상보다 민감도, 특이도가 높게 나타났으

며, Digora비조절영상은 구내표준방사선사진상과 유사한 값을 나타내었다. 그러므로 Digora영상을 판독시 강조용법을 사용하면 구내표준방사선사진상보다 인접면 치아우식증을 진단하는데 판단증거를 가지고 좀더 정확한 진단을 내릴 수 있을 것이라 생각된다.

결과적으로 현재의 구내 간접 디지털 영상 시스템인 Digora 시스템은 치아우식증 진단시 구내표준방사선사진상과 거의 대등한 진단능, 관찰자간 다양성을 보임으로써, 적정 흑화도와 대조도를 가진 구내표준방사선사진상을 대신할 수 있는 영상시스템으로 환자의 방사선 노출량 감소, 재촬영의 불필요, 즉각적인 상획득, 현상액의 불필요, 대조도증강, 변연강조, 계조도 반전 등의 영상처리과정 뿐만아니라 영상의 원격 전송 등으로 진단적 유용성을 높일 수 있다고 생각된다. 이제까지 Digora 시스템에 대한 연구들은 실험적 연구에 불과하므로, Digora 시스템을 이용한 실제환자를 대상으로 한 임상적 평가가 이루어져야 하며, 다른 영역인 치근단 병변, 치주질환, 치아 매식술이나 근관치료시 Digora 시스템의 활용도에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

인접면 치아우식증의 진단을 위한 구내 간접 디지털 영상 시스템인 Digora 시스템의 수행능력을 평가하기 위하여 본 연구를 시행하였다. 건전한 소구치, 대구치 각각 30개를 이용하여 인접면 120면중 60면에 I급(초기우식병소상), II급(진행된 우식병소상) 인공병소를 형성한 후 얻어진 구내표준방사선사진상과 Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상 등 3가지 Digora 영상법에 대하여 병소깊이에 따른 ROC 분석을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상의 I급병소의 ROC면적 평균값은 각각 0.953, 0.933, 0.965, 0.978이었으며, Digora변연강조영상, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 높게 나타났다($p>0.05$).
2. 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상, Digora계조도조절영상, Digora변연강조영상의 II급병소의 ROC면적 평균값은 각각 0.969, 0.964, 0.988, 0.994이었으며, Digora변연강조영상, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 나타났다($p>0.05$). II급병소에 대한 Digora변연강조영상은 구내표준방사선사진상보다 유의성있게 증가된 진단능을 나타내었다($p<0.05$).
3. 관찰자간 다양성(interobserver variability; sd^2)은 우식병소 깊이에 상관없이 Digora변연강조영상이 가장 낮았으며, Digora계조도조절영상, 구내표준방사선사진상, Digora비조절영상순으로 낮게 나타났다($p>0.05$).

결론적으로, 현재의 구내 간접 디지털 영상 시스템인 Digora 시스템은 치아우식증 진단시 구내표준방사선사진상과 동등한 진단능, 관찰자간 다양성을 나타내며, 표준방사선사진상을 대신할 수 있는 잠재력을 지닌 영상시스템이라 사료된다.

REFERENCES

1. Brody, W.R. : Digital radiography. Raven Press., 1-82, 1984.
2. Fujita, M., Kodera, Y., Okawa, M., Wada, T. and Doi, K. : Digital image processing of periapical radiographs. Oral Surg., 65: 490-49, 1988.
3. Ishida, M., Doi, K., Loo, L.N. and et al. : Digital image processing: Effect on detectability of simulated low-contrast radiographic patterns. Radiology, 150, 569-575, 1984.
4. Wenzel, A. : Effect of image enhancement for detectability of bone lesions in digitized intraoral radiographs. Scand. J. Dent. Res., 96, 149-169, 1988.
5. Wenzel, A. : Computer-aided image manipulation of intraoral radiographs to enhance diagnosis in dental practice : a review. Int. Dental J., 43, 99-108, 1993.
6. Wenzel, A. : New Caries Diagnostic Methods. J. Dent. Educ., 57, 428-432, 1993.
7. 이영식 : 영상강조기법을 이용한 치근단 병소의 치과방사선진단. 숭실대학교 정보기술학과 석사학위논문 : 1-73, 1993.
8. Southard, T.E. and Southard, K.A. : Maxillary alveolar bone imaging : Wiener filter design. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 75, 645-649, 1993.
9. Verdonshot, E.H., Kuijpers, J.M.C., Polder, B.J. and et al. : Effects of digital grey-scale modification on the diagnosis of small approximal carious lesions. J. Dent., 20, 44-49, 1992.
10. Wenzel, A., Fejerskov, O., Kidd, E. and et al. : Depth of occlusal caries assessed clinically, by conventional film

- radiographs, and by digitized, processed radiographs. Caries Res., 24, 327-333, 1990.
11. Benz, C. and Mouyen, F. : Evaluation of the new Radiovisigraphy system image quality. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 72, 627-631, 1991.
 12. McDonnell, D. and Price, C. : An evaluation of the Sens-A-Ray distal dental imaging system. Dentomaxillofac. Radiol., 22, 121-126, 1993.
 13. Welander, U., Nelvig, P., Tronje, G., McDavid, W.D., Dove, S.B., Morner, A.C. and Cederlund, T. : Basic technical properties of a system for direct acquisition of digital intraoral radiographs. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 75, 506-516, 1993.
 14. Wenzel, A., et al. : Accuracy of caries diagnosis in digital images from charge-coupled device and storage phosphor system: an vitro study. Dentomaxillofac. Radiol., 24(2), 250-254, 1995.
 15. Welander, U. et al. : Resolution as defined by line spread and modulation transfer function four digital intraoral radiographic systems. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 78, 109-115, 1994.
 16. Wenzel, A., Gotfredson, E., Borg E. and Grondahl, H-G. : Impaction of loss image compression on accuracy of caries detection in digital images taken with a storage phosphor system. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 81(3), 35-45, 1996.
 17. Svanaes, D.B., Moystad, A., Risnes, S., Larheim, T.A. and Grandahl. : Intraoral storage phosphor radiography for approximal caries detection and effect of image magnification comparison with conventional radiography : Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Endod., 82, 94-100, 1996.
 18. Velder, X.L. et al. : The effect of different exposure times on the detectability of endodontic files in the new digora direct digital intraoral X-ray system. The proceeding of the 10th international congress of dento-maxillofacial radiol. 245-246, 1994.
 19. Luostarinen, T. et al. : Comparison of intra-oral digital and film radiography for diagnosis of periapical bone lesions. Third Synposium on Digital Image in Dental Radiography. Dentomaxillofac. Radiol., 24(2), 92-93, 1995.
 20. Sanderink, G.C.H., van der Stelt, P.F. and Velders, X.L. : Image quality of a new indirect digital intraoral X-ray sensor system. The Digora system compared to direct digital systems and film in assessing root canal length, The proceeding of the 10th international congress of dento-maxillofacial radiol. 377-379, 1994.
 21. Moystad, A., Svanaes, D.B., Risnes, S., Larheim, T.A. and Grondahl H-G. : Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film. Dentomaxillofac. Radiol., 24(4), 202-206, 1996.
 22. 고지영, 박창서 : Digora®에서 노출시간의 변화가 근관치료용 file의 침부식별에 미치는 영향. 「치과방사선」, 27, 55-67, 1997.
 23. Pitts, N.B. : Detection of approximal radiolucencies in enamel : A preliminary comparison between experienced

- clinicians and an image analysis method. J. Dent., 15, 191-197, 1987.
24. Kassebaum, D.K., McDavid, W.D., Dove, S.B. and Waggener, R.G. : Spatial resolution requirements for digitizing dental radiographs. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 67, 760-769, 1989.
 25. Hintze, H., Wenzel, A. and Jones, C. : In vitro comparison of D- and E-speed film radiography, RVG and Visualix digital radiography for the detection of enamel approximal and dentinal occlusal lesions. Caries Res., 28, 363-367, 1994.
 26. Pitts, N.B. and Russell, M. : Radiographic diagnosis of approximal caries in vitro: different modalities of third-generation 'Radiovisiography' versus E-speed bite-wings[abstract] Caries Res., 27, 206, 1993.
 27. Swets, J.A. : The relative operating characteristic in psychology, Science., 182, 990-1000, 1973.
 28. S.C. White and D.C. Yoon : Comparative performance of digital and conventional images for detecting proximal surface caries. Dentomaxillofac. Radiol., 26, 32-38, 1997.
 29. Wenzel, A., Hintz, H., Mikkelsen, L. and Mouyen, F. : Radiographic detection of occlusal caries in noncavitated teeth. A comparison of conventional film radiographs, digitized film radiographs and radiovisiography.
 30. Dove, S.B., McDavid, W.D., Tronje, G. and Wilcox, C.D. : Design an implementation of an image management and communications system(IMACS) for dentomaxillofac. radiol. Dentomaxillofac. Radiol., 21, 216-221, 1992.
 31. Ohki, M., Okano, T. and Yamada, N. : A contrast-correction method for digital subtraction radiography. J Periodontal Res., 23, 277-280, 1988.
 32. Gotfredsen, E., Wenzel, A. and Grondahl, H.G. : Observers' use of image enhancement in assessing caries in radiographs taken by four intraoral digital system. Dentomaxillofac. Radiol., 25, 34-38, 1996.
 33. Webber, R.L. and Koziol, P.H. : Radiographic spatial frequencies essential to the diagnosis of incipient interproximal lesions. J. Dent Res., 43, 335-42, 1976.
 34. Lusted, L.B. : Logical analysis in roentgen diagnosis. Radiology, 74, 178-193, 1960.
 35. Metz, C.E., Goodenough, D.J. and Rossmann, K. : Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory, with applications in radiography. Radiology, 109, 297-303, 1973.
 36. Hanley, J.A. : Receiver operating characteristic(ROC) methodology : the state of the art.[Review]. Critical Reviews in Diagnostic Imaging., 29, 307-335, 1989.
 37. 허민석, 유동수 : 인공적 인접면치아우식증의 구내표준방사선사진과 디지털 영상의 진단능평가. 「치과방사선」, 24, 439-449, 1994.
 38. Price, C. and Ergul, N. : A comparison of a film-based and a direct digital dental radiographic system using a proximal caries model. Dentomaxillofac. Radiol., 26, 45-52, 1997

-ABSTRACT-

A Study on the Diagnostic Detection Ability of the Artificial Proximal Caries by Digora®

Kyung-Ran Oh, Eui-Hwan Choi, Jae-Duk Kim

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Chosun University

Digora system is an intraoral indirect digital radiography system utilizing storage phosphor image plate. It has wide dynamic range which allows it to decrease the patient's exposure time and may increase diagnostic ability through image processing (such as edge enhancement, grey scale conversion, brightness change, and contrast enhancement). And also, it can transmit and storage image information.

The purpose of this study was to evaluate the diagnostic ability of artificial proximal caries between Conventional radiograph and Digora images (unenhanced image, brightness & contrast controlled image, and edge enhanced image). ROC (Receiver Operating Characteristic) analysis, paired t-tests, and F-tests were done for the statistical evaluation of detectability. The following results were acquired:

1. In Grade I lesions, the mean ROC areas of Conventional radiograph, Digora unenhanced image, Digora controlled image, and Digora edge enhanced image were 0.953, 0.933, 0.965, 0.978 ($p > 0.05$).
2. In Grade II lesions, the mean ROC areas of Conventional radiograph, Digora unenhanced image, Digora controlled image, and Digora edge enhanced image were 0.969, 0.964, 0.988, 0.994. Among these areas, there was just statistical significance between Diagnostic abilities of Digora edge enhanced image and Conventional radiograph ($p < 0.05$).
3. In the Interobserver variability, the ROC curve areas of Digora edge enhanced image was lowermost in these areas, regardless of the Carious lesion depths.

In conclusion, intraoral indirect digital system, Digora system, has the potential possibility as an alternative of Conventional radiograph in the diagnosis of proximal caries.

Key words : Radiography, dental, diagnosis, dental caries, ROC curve

사진부도설명

Fig. 2. Indirect digital image system ; Digora® system.

Fig. 3. The 60 teeth randomly divided into 20 groups, each embedded in plaster

Fig. 4. Geometrically standardized experimental design; Tube head of Heliodont MD, XCP, Acrylic resin plate to hold block of tooth, IP-film positioner, 2cm thick acrylic block stimulating the soft tissue.

Fig. 5. Each image of Conventional radiograph(A), Digora unenhanced image(B), Digora controlled image(C), and Digora edge enhanced image(D).

사진부도

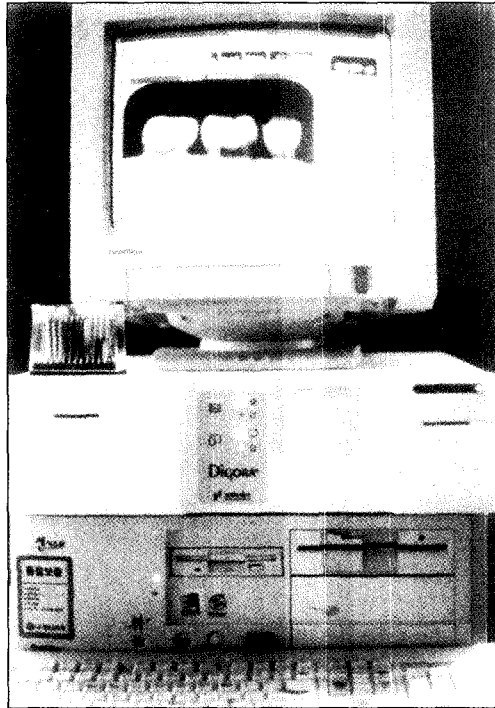


Fig 2

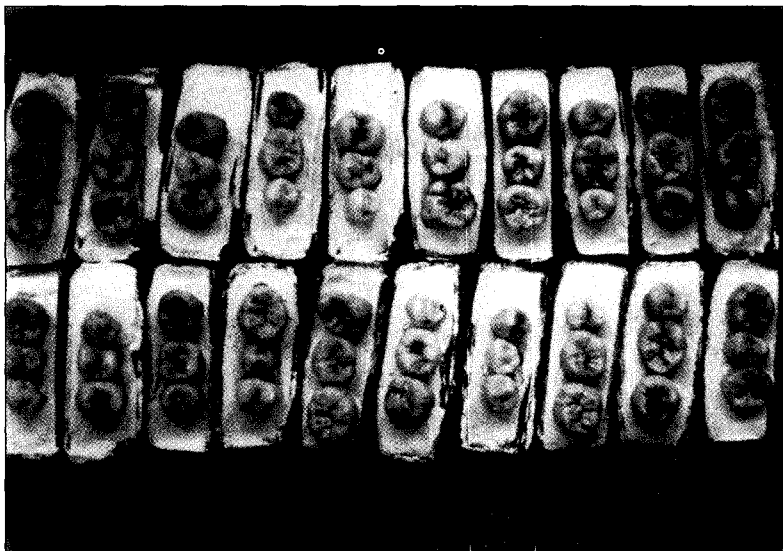


Fig 3

사진부도

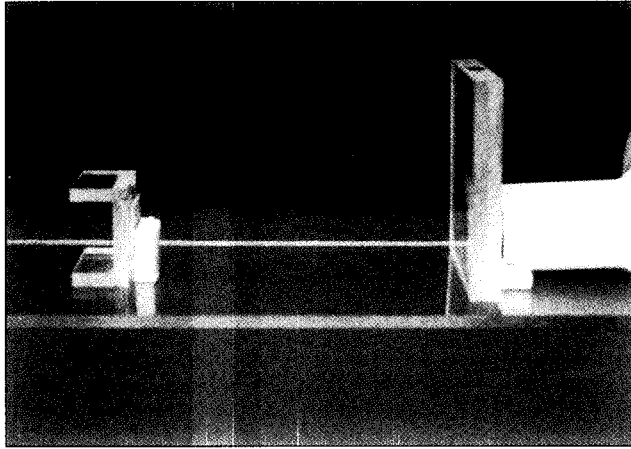


Fig 4

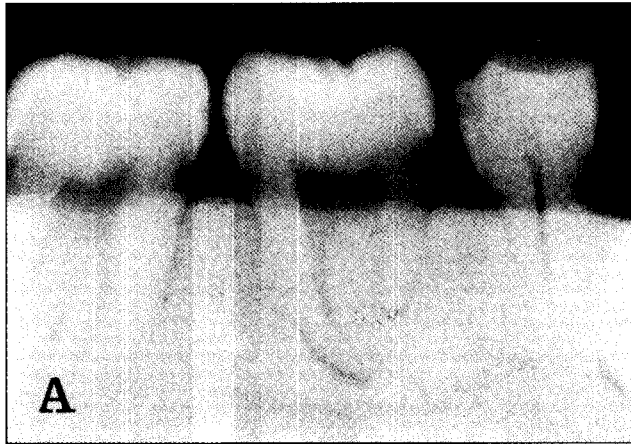


Fig 5-A

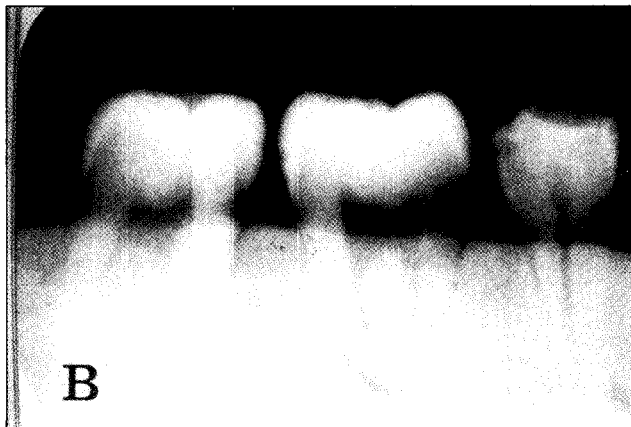


Fig 5-B

사진부도



Fig 5-C



Fig 5-D