

인공적 인접면 치아우식증의 구내방사선사진과 디지털 영상의 진단능 평가*

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실

허민석·유동수

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 연구방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

구내방사선사진은 해상능이 우수하고^{1,2,3)} 진단능이 우수하며^{4,5)} 사용이 간편하여 치과분야에서 필수적인 진단법으로 사용되어져 왔다. 더불어 근래 컴퓨터의 발달로 디지털 영상이 소개되었는데⁶⁾ 초기에 개인용 컴퓨터를 이용하여 형성한 디지털 영상은 방사선사진에 비해 해상능이 낮고 비용과 시간적인 면을 고려할때 비효율적이어서, 대형 컴퓨터를 이용하는 등^{6,7)} 상의 질을 향상시키기 위한 많은 연구가 있었으며 최근 기술의 발달과 함께 상의 질이 우수한 디지털 영상을 형성할 수 있게 되었다.

디지털 영상법은 입력방법에 따라 간접 디지털 영상법과 직접 디지털 영상법으로 나눌 수 있다. 간접 디지털 영상법은 현상된 방사선사진의

상을 입력장치를 이용하여 디지털 영상을 형성하는 방법이고, 직접 디지털 영상법은 X선에 민감한 물질을 이용하여 피사체를 통과한 X선의 감쇄정도를 직접 감지하여 영상을 형성하는 방법이다.^{8,9)}

이러한 디지털 영상의 장점은 흑화도, 대조도를 조절할 수 있으므로¹⁰⁾ 적은 노출량으로 촬영된 밝은 방사선사진의 경우에도 이를 디지털 영상으로 변환시켜 대조도와 흑화도를 조절하면 판독에 적절한 영상을 얻을 수 있고¹¹⁾ 이와 같은 특성을 이용하여 환자에 대한 방사선 노출량을 감소시킬 수 있는 것과¹²⁾ 디지털 영상에 대한 분석이 가능하여 길이 혹은 면적 등의 값을 수치화하거나 관찰이 어려운 부분을 분석함으로써 판독을 용이하게 할 수 있다는 것이다.^{13 15)}

또한 디지털 영상은 영상강조기법을 이용할 수 있어¹⁶⁻¹⁹⁾ 얻어진 디지털 영상의 히스토그램을 변화시켜 술자가 원하는 영상을 형성할 수 있게 되어 대조도가 낮은 부위를 대조도가 높게 하거나 그 이외의 다양한 영상처리방법을 통하여 영상의 질을 향상시킬 수 있다.¹²⁾ 또한 디지털 영상을 파일의 형태로 전송하여 멀리 떨어진 두 지점에서 정보를 교환하고 다른 전문가와 의견교환을 할 수 있다.²⁰⁻²⁵⁾

Pitts¹³⁾는 인접면 치아우식증에 대한 디지털 영상 분석방법에 대하여 연구하였고, Kassebaum 등²¹⁾은 디지털 영상의 해상능에 대하여 연구를 하였다. Wenzel 등¹⁸⁾은 교합면 치아우식증

* 이 논문은 1994년도 서울대학병원 임상연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

의 진단에 임상검사, 방사선검사, 디지털 영상 및 강조영상의 진단능에 대하여 연구하였으며, Verdonshot 등¹⁶⁾은 인접면 초기 치아우식병소의 디지털 영상의 회색조 변화시 나타나는 효과에 관한 연구를 하였다.

국내에서는 이 등²⁶⁾이 치근단 방사선사진의 디지털 영상의 판독능, 박 등²⁷⁾이 videodensitometry법에 대한 연구를 하였고, Gang²⁸⁾은 치조골의 정량적 변화를 측정하기 위하여 DSR (Digital Subtraction Radiography)를 이용하였으며, 이¹⁷⁾는 치근단 병소의 진단에 간접 디지털 영상의 영상강조기법을 평가하였다. 강은 인접면 치석의 판독²⁹⁾, 인접면 치아우식증의 디지털 영상을 평가하였고³⁰⁾ 그 외에도 권 등³¹⁾, 조 등³²⁾의 연구가 있었다.

본 연구에서는 인공적 인접면 치아우식증을 형성한 치아의 구내방사선사진과, 국내에서 개발된 소프트웨어를 이용하여 얻어진 간접 디지털 영상 및 영상강조기법 중 히스토그램 specification 처리과정에 의하여 형성된 강조영상의 진단능을 ROC(Receiver Operating Characteristic) 분석을 통하여 비교하고자 시행하였다.

II. 연구재료 및 연구방법

발거된 인접면이 건전한 36개의 소구치, 대구치를 실험대상으로 하여 총 72 인접면 중 36면에 무작위로 #1/2과 #1 치과용 바를 이용하여 인접면 치아우식증을 형성하였고 나머지 36면에는 병소를 형성하지 않았다. 실험대상 치아 2개와 실험대상이 아닌 치아 1개를 함께 하나의 base plate wax block에 매식하였다. 이때 좌측 2개는 실험대상 치아, 우측 1개는 실험과 무관한 치아의 순으로 배열하였는데 가장 우측의 치아는 가운데 치아의 인접면이 악골에서의 치열과 같은 효과를 내기 위하여 이용되었다. 나머지 치아들도 같은 방법으로 매식하여 총 18개의 치아군을 형성하였다.

치아가 매식된 block과 방사선원 사이에 1.5 cm 두께의 튜밥을 섞은 석고 block을 위치시켜 촬영시 치조골의 효과를 내도록 하여 구내방사선사진 촬영을 시행하였다. Asahi사의 GX-70

구내방사선촬영장치를 이용하여 70 kVp, 10 mA, 0.32 sec의 촬영조건으로, 초점-필름간 거리를 40 cm로 유지하였으며 Kodak 사의 Ektaspeed 필름(E 군)을 사용하여 동일한 조건으로 촬영하였다(Fig. 1). Dürr Dental 사의 자동현상기를 이용하여 동일한 조건으로 동일한 시간에 현상하였다.

얻어진 구내방사선사진을 통상적인 방법으로 마운트하고 치과 의사 7인이 판독대에서 인접면 치아우식증의 유무를 판독하였다(Fig. 2). 판독 방법은 각 인접면에 대해 병소의 유무를 등급에

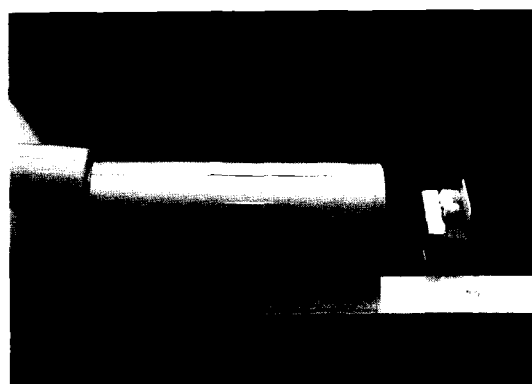


Fig. 1. Conventional radiograph taking.
The film-focus distance is 40 cm.
70 kVp, 10 mA, 0.32 sec
(Asahi GX-70)



Fig. 2. Conventional radiograph

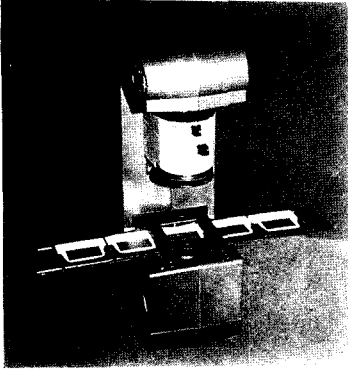


Fig. 3. Fotovix-IIIIS (image receptor : film video processor)



Fig. 4. Digital image on the monitor for video (SuperSync 3M)

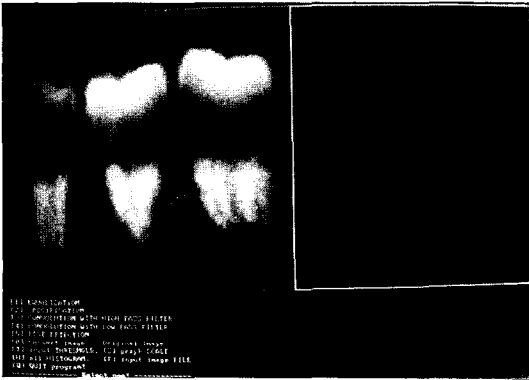


Fig. 5. Unenhanced digital image

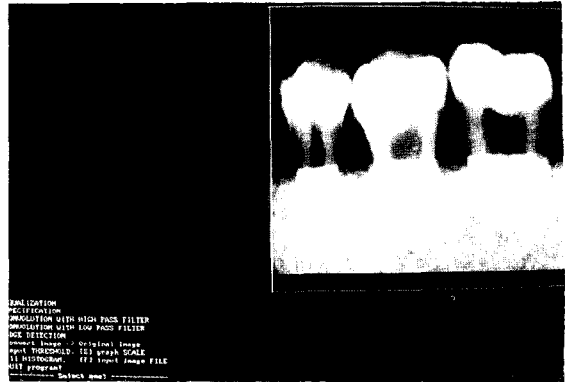


Fig. 6. Enhanced digital image.
Histogram specification processing

따라 숫자로서 판독하도록 하였으며 등급은 1. 분명히 있다 2. 있을 것 같다 3. 확실치 않다 4. 없을 것 같다 5. 분명히 없다의 5등급으로 나누어 총 18장의 필름, 72인접면에 대해 판독하도록 하였다.

디지털 영상을 형성하기 위해 입력장치로는 Fotovix-IIIIS(Tamron, Japan, Fig. 3)를 이용하였고 비디오용 모니터인 SuperSync 3M(TVM Corp., Taiwan, Model No.: MD-11III) 상에 영상을 얻어 조작하였다(Fig. 4). 입력장치로부터 발생한 신호를 아날로그-디지털 신호 변환 장치인 DT-2851(Data Translation, Inc., 100 Locke Drive, Marlboro, MA, USA)을 이용하여 512 ×

512 × 8 bit 영상의 디지털 신호로 변환시켰으며 이를 컴퓨터에 파일로 저장하였는데 이때 얻어진 파일의 크기는 각 245,760 바이트였다. 이와 같이 저장된 디지털 영상은 C언어로 만들어진 소프트웨어로 영상을 1024 × 768 해상도의 컴퓨터용 모니터의 좌측 1/2에 나타나도록 하였다(Fig. 5).

이와같이 얻어진 디지털 영상에 대하여 동일한 7인의 판독자가 구내방사선사진을 판독한 후 적어도 1주일 이상의 시간이 경과한 후 판독을 하도록 하였다. 판독조건은 외부의 빛이 차단된 실내에서 시행하였고, 판독자간 판독조건이 가능한 동일하도록 유지하였으며 판독방법은 구내

방사선사진을 판독할 때와 같이 5 등급 중 하나를 선택하도록 하였다.

다시 1주일 이상의 시간이 경과한 후 디지털 영상을 히스토그램 specification 처리하여 얻어진 강조영상(이하 강조영상)을 컴퓨터용 모니터의 우측에 나타나도록 한 후(Fig. 6) 동일한 7인의 판독자가 판독하도록 하였으며 판독방법은 동일하게 5 등급 중 하나를 선택하도록 하였다.

각 판독자가 구내방사선사진과 디지털 영상, 강조영상의 3가지 영상을 판독한 결과에 대해 rating 법 및 trapezoidal 법을 이용한 ROC 분석을 하여 진단능의 차이를 비교하였다. 즉 72 인접면에 대한 각 판독자의 판독 결과가 1인 것만을 병소가 있다고 판독한 것으로 가정하고, 나머지 2에서 5까지로 판정한 것은 병소가 없다고 판독한 것으로 가정하여 실제 상태 즉 gold standard와 비교하여 민감도와 특이도를 구하였다.

다음은 판독자가 1, 2로 판정한 것을 병소가 있다고 판정한 것으로, 3, 4, 5로 판정한 것은 병소가 없다고 판정한 것으로 가정하여 이에 대하여 앞서서와 마찬가지로 민감도와 특이도를 구하였다. 이와 같은 방법으로 계속 진행하여 얻어진 민감도와 특이도의 5쌍을 이용하여 ROC 평면상의 점을 설정하고 그 점을 직선으로 연결하여 직선 하방으로 얻어진 사변형의 면적을 구하였다. 판독자 7인 모두에 대하여 3가지 영상법에 대해 ROC 면적을 구하여 각 영상법에 대한 ROC 면적의 평균값을 구하고 영상법 간의 진단

능의 차이, 즉 구내방사선사진의 결과와 디지털 영상, 구내방사선사진과 강조영상, 디지털 영상과 강조영상 간의 진단능의 차이를 paired t-test로 검증하였다.

III. 연구성적

모든 판독자가 구내방사선사진과 디지털 영상 및 강조영상을 판독한 결과의 각 등급에 대한 민감도와 특이도의 평균값은 Table 1.과 같았으며 이를 이용하여 얻어진 ROC 곡선은 아래와 같다 (Fig. 7 ~ Fig. 9).

Trapezoidal 법에 따라 각 영상법에 대한 ROC

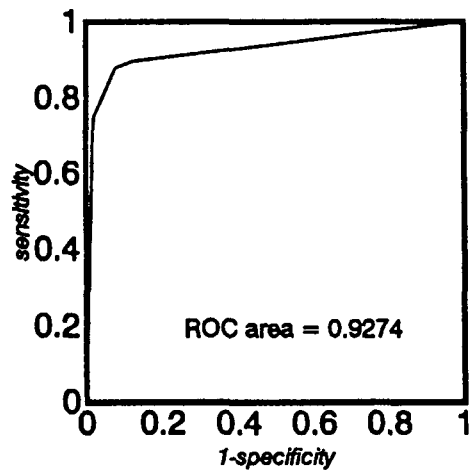


Fig. 7. ROC result of conventional radiograph

Table 1. The mean value of the sensitivity and specificity

rating	conventional radiograph		unenhanced digital image		enhanced digital image	
	sensitivity	specificity	sensitivity	specificity	sensitivity	specificity
1	0.750	0.980	0.778	0.984	0.754	0.996
2	0.857	0.933	0.845	0.917	0.877	0.933
3	0.881	0.923	0.857	0.917	0.881	0.925
4	0.897	0.877	0.877	0.857	0.897	0.837
5	1	0	1	0	1	0

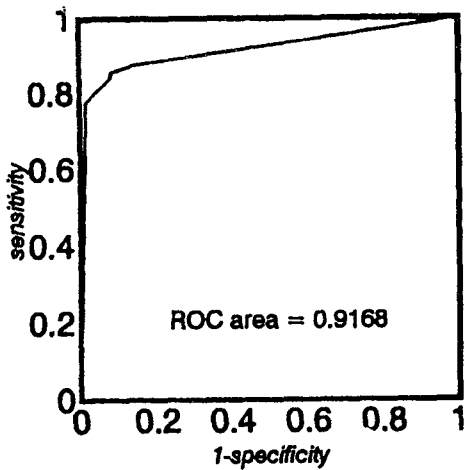


Fig. 8. ROC result of unenhanced digital image

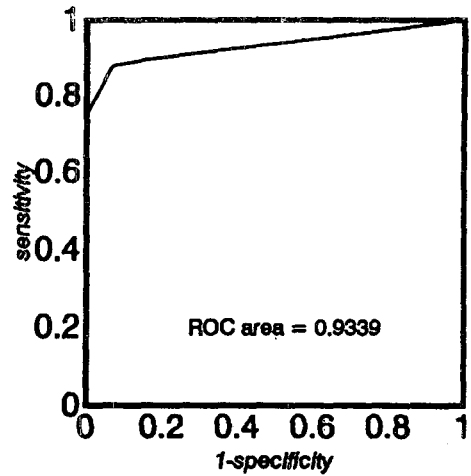


Fig. 9. ROC result of enhanced digital image

면적을 구하였을 때 구내방사선사진은 0.9274, 디지털영상은 0.9168, 강조영상은 0.9339 이었다. ROC 면적에 따르면 진단능은 강조영상, 구내방사선사진, 디지털 영상의 순으로 우수한 것으로 나타났으나 paired t-test에 따른 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$).

IV. 총괄 및 고안

ROC 분석법은 처음에는 잡음에 대한 반응 정도를 평가하기 위해 사용되었던 것으로³³⁾ 심리학에서도 이용되었으며^{34,35)} 의학분야에서는 Lusted^{36,37)}에 의해 처음 소개되었다. ROC 분석은 진단용 영상의 진단능을 객관적으로 평가하는 방법으로^{38,39)} 질환 판독시의 진단능, 혹은 진단의 효용성을 알아보기 위한 방법으로 이용되지만⁴⁰⁻⁴²⁾ 임상적으로 적용하기가 어려운 단점이 있어 제한적으로 이용된다⁴³⁾. 분석 방법은 "1-특이도"에 대한 "민감도"를 구하여 ROC 평면상에서 점을 위치시키고 그 점들을 연결하는 곡선 혹은 직선 하방의 면적을 구하여 진단능을 구하는데 이때 ROC 곡선이 ROC 평면의 좌측 상단으로 치우칠수록 진단능은 우수한 것으로 평가된다^{42,44)}. ROC 면적은 최소 0에서 최대 1까지의 값으로 구하여지며 0.5인 경우는 무작위로 병소의 유무를 판정한 경우로 진단가치가 없는 것의 의

미하고 ROC 면적이 1에 근접할수록 병소의 유무를 정확하게 판독한 경우를 의미한다. ROC 분석이 의미가 있으려면 일정 집단에 대해 판독을 할 때 질환이 있는 증례의 수와 질환이 없는 증례의 수가 같아야 하고^{45,46)} 실제 판독을 할 때 "질환이 있다"고 판단할 수 있는 기준, 즉 cut-off point를 설정해야 할 필요가 있다⁴⁷⁾.

ROC 분석법은, 판독방법에 따라, 일정한 cut-off point를 설정하여 그 기준에 따라 질환의 유무를 판정하여 이를 분석하는 alternative 법과 질환의 유무를 등급에 따라 판독하여 그 결과를 분석하는 rating 법으로 나눌 수 있다^{44,45,48)}. 또한 곡선을 연결하여 분석하는 방법에 따라 ROC 평면상의 점을 가상의 곡선으로 연결하여 얻어진 곡선 하방의 면적을 구하여 분석하는 maximum likelihood 법과, ROC 평면상의 점을 직선으로 연결하여 그 하방에 형성되는 사변형의 면적의 합을 구하여 분석하는 trapezoidal 법으로 나눌 수 있다²¹⁾.

본 논문에서는 이 중 rating 법과 trapezoidal 법을 이용하여 ROC 면적을 구하여 인공적 인접면 치아우식증을 판독할 때 각 영상의 진단능을 평가하였으며 각각 구하여진 ROC 면적 상호간에 paired t-test에 따라 유의성을 검증하였다. 그 결과 진단능은 강조영상, 구내방사선사진, 디지털 영상의 순으로 ROC 면적값이 감소하였으

나 각 영상 간 판독 결과의 차이는 통계적인 유의성을 보이지 않았다. Hintze 등⁴¹⁾의 연구에 의하면 인접면 치아우식증의 진단시 구내방사선사진과 디지털 영상간 진단능의 유의성 있는 차이는 없는 것으로 보고되었는데 본 연구에서 얻어진 ROC 면적보다 작은 값으로 얻어졌다. 이것은 연구대상의 차이로 나타나는 차이로 문헌 상에서는 발견된 치아를 대상으로 조직절편을 얻어 현미경으로 gold standard를 얻어 병소의 크기가 판독에 어려울 정도로 작고 병소의 범위를 뚜렷이 구분할 수 없으며 대조도가 낮은 경우가 많은 반면, 본 논문에서 실험을 위해 형성된 인공적 치아우식증은 치과용 바를 이용하여 치아우식증을 형성하였기 때문에 환자에서 관찰되는 치아우식증보다는 더 명확하고 방사선사진상 대조도가 높아 구내방사선사진상에서 병소의 범위가 뚜렷하게 나타났고 디지털 영상에서도 병소가 뚜렷한 경우가 많아 본 실험에서 얻어진 진단능이 타 문헌에서 얻어진 진단능에 비하여 훨씬 더 높은 것으로 나타났다⁴⁹⁾. 이 등²⁶⁾은 구내방사선사진과 디지털 영상의 판독능을 비교하기 위하여 정상 해부학적 구조물을 식별할 수 있는 정도를 점수로 환산하여 이를 분석한 바 있으나 본 논문에서는 좀더 과학적이고 객관적인 ROC 분석을 이용하였다.

디지털 영상은 크게 직접 디지털 영상과 간접 디지털 영상으로 나눌 수 있는데 직접 디지털 영상은 필름이 없이 영상을 얻는 방법으로 구강내에서 이용가능한 것으로는 RVG^{3,50-53)}, Visualix⁵⁴⁾, Sens-A-Ray^{9,55)} 등의 기종이 개발되었고, 구외방사선사진을 직접 디지털 영상법으로 영상을 얻는 방법도 연구되고 있다⁵⁶⁾. 간접 디지털 영상법은 필름을 이용하여 피사체의 방사선사진을 얻고난 후 방사선사진의 상을 입력장치에 의하여 아나로그 신호로 변환시키고 이 신호를 아나로그-디지털 신호변환장치에 의해 컴퓨터가 인식할 수 있는 디지털 신호로 변환시켜 이 디지털 신호를 컴퓨터에 저장하고 이것을 모니터 상에 디지털 영상으로 나타내도록 하는 방법이다^{8,57)}.

본 논문에서는 간접 디지털 영상에 대한 평가를 하였으며 이에 필요한 소프트웨어는 국내에서 개발된 것으로¹⁷⁾, 방사선사진으로부터 얻어진

디지털 영상을 모니터의 좌측 1/2에 나타나도록 하고 모니터의 우측 1/2에는 좌측에 나타난 디지털 영상의 히스토그램을 변형한 여러가지 강조 영상을 형성할 수 있도록 고안되어졌다. 이 소프트웨어에서 가능한 영상강조 기법으로는 히스토그램 equalization, 히스토그램 specification, 회선커널을 이용한 고역통과 필터법 및 저역통과 필터법, edge enhancement 등의 강조영상처리를 할 수 있을 뿐만 아니라 영상강조를 연속으로 시행할 수 있으며 각 영상의 신호 대 잡음비 및 히스토그램을 나타낼 수 있는 특징이 있다.

강조영상은 디지털 영상의 큰 특징으로 이 방법은 인공위성에서 지표면을 촬영한 사진의 해상능 증가, 군사적인 목적 혹은 천체 연구용 사진촬영을 위해 개발된 방법⁵⁸⁾으로 의학분야에 적용되어 디지털 영상의 질을 더욱 우수하게 할 수 있게 되었다. 이는 디지털 영상의 각 화소단위의 회색조 값의 분포도인 히스토그램을 특정 함수에 의하여 변화시켜 변화된 분포에 따라 컴퓨터 모니터 상에 나타나도록 하는 방법으로 여러가지 방법이 있을 수 있다. 대표적인 것으로 equalization, specification, filtering, edge enhancement 등이 있으며 이를 적절히 이용하면 진단능을 향상시킬 수 있다⁵⁹⁾. Ando 등⁶⁾은 대조도의 증가 혹은 edge enhancement를 이용하여 진단능을 향상시킬 수 있고, 히스토그램을 변화시켜서 대조도의 차가 적은 부위를 대조도의 차가 크게 나타낼 수 있다고 하였다. 본 연구에서 이용된 소프트웨어에서는 히스토그램 equalization, specification, 회선커널을 이용한 고역통과 필터법 및 저역통과 필터법, edge enhancement 등의 영상강조가 가능하며¹⁷⁾ 이 중 히스토그램 specification 처리를 한 영상을 이용해 보았다. 이때 유의성 있는 차이는 나타나지 않았으나 비교적 다른 영상법보다 높은 진단능을 보여 여러 영상강조 기법을 응용한다면 좀더 우수한 진단능을 가지는 영상을 형성할 수 있을 것으로 기대된다.

디지털 영상의 질은 주로 화소단위(pixel)의 크기에 의하여 큰 영향을 받는다^{50,60)}. 화소단위의 크기가 작을수록 진단의 정확도가 높는데 화소단위의 크기가 0.2mm 정도이면 구내방사선사

진과 거의 같은 효과를 가지는 상으로 나타난다고 보고되었다²¹⁾. Fujita 등⁶⁰⁾은, 디지털 영상은 대조도가 우수하여 판독이 용이한 반면 정보가 소실되고 잡음이 증가하며 artifact가 증가할 수 있으므로 이를 해결하기 위해서는 디지털 영상의 화소단위의 크기를 작게하여 정보의 손실을 적게해야 한다고 하였다. 그리고 Ohki 등⁵⁰⁾은 32 단계의 회색조를 가지는 디지털 영상은 방사선 사진과 큰 차이가 없는 상을 형성한다고 하였다.

본 연구에서 형성된 디지털 영상은 512 × 512의 화소단위 및 256 단계의 회색조를 가지며 화소단위의 크기는 약 0.2mm로 구내방사선사진의 진단능과 큰 차이가 없을 것으로 예상되었다. 한편 사람의 눈은 회색조를 구분할 수 있는 단계보다는 색상을 구분하는데 훨씬 더 민감하여 대략 1,500가지의 색을 구분할 수 있으므로 0에서 255까지의 회색조의 해당 값에 따라 색상을 부여하여 회색조의 차이를 구분하기 쉽도록 하려는 연구도 있었다⁶¹⁾.

해상능은 1mm당 구분할 수 있는 선쌍(lp/mm)으로 평가하는데 구내방사선사진은 1mm당 최대 10선쌍¹⁾, 2배율의 확대경을 이용하면 최대 20선쌍을 구별할 수 있는 반면^{1,62)} 디지털 영상의 해상능은 구내방사선사진에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다^{1,3,4)}. 그러나 디지털 영상을 컴퓨터 모니터상에 나타낼 때 확대시킬 수 있으며 흑화도와 대조도를 조절하거나 강조영상을 이용함으로써 진단의 정확도(accuracy)가 더욱 향상될 수 있다¹²⁾. 즉, 구내방사선사진에서 이용되는 필름은 보통 No. 2 필름으로 3 × 4 cm 크기의 방사선사진상을 이용하여 판독하는 것이지만 디지털 영상은 14인치 혹은 17인치 등의 컴퓨터 모니터 상에서 판독하므로 구내방사선사진에서는 너무 작아서 관찰할 수 없는 병소도 컴퓨터 모니터를 이용하면 판독하기가 더 쉬울 것이다.

그러나, 방사선사진을 디지털 영상으로 변환시키는 과정 중에서 발생할 수 있는 오류 및 디지털 영상 고유의 특징으로 정보의 일부가 소실될 수 있으나^{14,21)} 판독에 큰 영향을 줄 정도는 아니다^{11,63)}.

디지털 영상의 대조도와 흑화도는 병소를 판독하는데 큰 영향을 미친다. 따라서 이를 적절히

조절하는 객관적인 방법이 필요하다. 디지털 영상에서 대조도와 흑화도는 구내방사선사진을 디지털 신호로 바꾸는 과정에서 입력장치에서 조절될 수 있고, 입력된 방사선사진이 컴퓨터 화면상에 나타날때 화면의 대조도와 흑화도를 조절하는 방법이 있다. 본 실험에서는 실험자에 의하여 가장 적절하다고 생각되는 정도의 대조도와 흑화도로 조절되었는데 이 과정에서 좀더 좋은 영상을 얻기 위하여 적절한 정도의 대조도와 흑화도를 얻기 위한 객관적인 방법이 연구되어야 하겠다.

간접 디지털 영상의 질은 입력장치에 의해서도 크게 좌우된다. 간접 디지털 영상의 입력장치는 TV용 카메라(CCD 카메라), 스캐너 등을 이용할 수 있는데 TV용 카메라보다는 스캐너가 우수한 것으로 알려져 있다^{64,65)}. Ohki 등⁵⁰⁾은 입력장치 중 TV용 카메라, 레이저 스캐너, 드럼스캐너를 비교하였을때 드럼스캐너가 가장 우수하다고 하였다. 본 연구에서 사용된 입력장치는 film video processor인 Fotovix-III로 일종의 CCD 카메라이며 35mm 필름 슬라이드를 디지털 영상으로 나타내는데 적합한 장치이다.

디지털 영상은 환자에 대한 노출량을 줄일 수 있다. 필름을 이용하여 방사선사진상을 얻을 때에 X선에 대한 노출량을 감소시키기 위하여 X선 장치의 개발, 민감한 필름 이용, 적절한 증감지의 이용 등으로 X선의 노출량을 줄일 수 있는데⁶⁶⁾ 간접 디지털 영상의 경우에는 적은 노출량으로 촬영되어 대조도가 낮은 방사선사진에서 얻어진 디지털 영상의 대조도와 흑화도를 조절하고 강조영상을 이용하면 진단능이 향상되고 그만큼 노출량을 감소시킬 수 있으며, 직접 디지털 영상의 경우에는 X선에 민감한 물질을 이용하여 노출량을 매우 감소시킬 수 있는 것으로 보고되었다^{53,67)}.

여러 연구에 따르면 디지털 영상은 민감도는 높은 반면 특이도는 낮은 것으로 보고되었다^{13,63)}. 디지털 영상은 대조도의 차가 크게 나타나므로 방사선투과상으로 나타나는 부위가 더 강조되어 나타나게 되어 병소가 아닌 부위도 병소로 오진할 가능성이 높고, 인접면의 burn-out 현상이 크게 나타나 특이도는 낮아진다^{13,68)} 이 문

제는 디지털 영상을 형성하는 여러 장치의 발달로 점차 해결되고 있으며 앞으로도 계속 개선되어 나갈 것으로 기대된다.

최근의 디지털 영상에 대한 연구로는 구내방사선사진을 이용하여 3차원적인 영상을 얻어내는 방법에 대한 연구⁶⁹⁾, 방사선사진을 자동으로 분석하여 병소의 유무 및 병소의 진행방향을 예측할 수 있는 방법이 개발되고 있다^{6,68)}. 또한 치근단 부위의 평가를 위해 디지털 영상이 이용되었는데 Mol 등⁷⁰⁾은 치근의 연장선을 가상으로 분석하여 구하고 치근단 병소의 진행방향을 예측할 수 있는 방법을 연구하였다.

앞으로 디지털 영상의 활용은 점차 증가할 것으로 기대된다. 특히 직접 디지털 영상은 사용이 편리하고 현상과정이 불필요하며 노출량이 적어 임상적으로 매우 유용한 장비가 될 것이다. 따라서 직접 디지털 영상에 대해서도 영상의 질적 평가가 이루어져야 할 것이며 우수한 영상을 형성하기 위한 연구 및 소프트웨어의 개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

인접면이 건전한 36개 치아의 72 인접면 중 36 면에만 인공적으로 인접면 치아우식증을 형성한 후 얻어진 구내방사선사진과 디지털 영상 및 강조영상의 3가지 영상법에 대한 ROC 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구내방사선사진에 대한 ROC 면적의 평균값은 0.9274, 디지털 영상에 대한 ROC 면적의 평균값은 0.9168, 강조영상에 대한 ROC 면적의 평균값은 0.9339이었다.
2. 진단능의 값은 강조영상, 구내방사선사진, 디지털 영상의 순으로 나타났다.
3. 3가지 영상법의 진단능의 값을 paired t-test로 검증한 결과 유의성 있는 차이는 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$).

REFERENCES

1. Sivasriyanond, C. and Manson-Hing, L.R. : Microdensitometric and visual evaluation of the resolution of dental films. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 45 : 811-822, 1978.
2. Jensen, Th.W. : Image perception in dental radiography. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 9 : 37-40, 1980.
3. Benz, C. and Mouyen, F. : Evaluation of the new RadioVisioGraphy system image quality. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 72 : 627-631, 1991.
4. Downer, M.C. : Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res.*, 9 : 231-246, 1975.
5. Marthaler, T.M. : Improvement of diagnostic methods in clinical caries trials. *J. Dent. Res.*, 63(Spec. Iss.) : 746-750, 1984.
6. Ando, S., Nishioka, T., Ozawa, M. and et al. : Computer analysis of radiographic images. *J. Nihon Univ. School Dent.*, 10 : 65-70, 1968.
7. Möystad, A, Svanæs, D.B., and Larheim, T.A. : Personal computer equipment for dental digital subtraction radiography vs. industrial computer equipment and conventional radiography. *Scand. J. Dent. Res.*, 100 : 117-122, 1992.
8. Wenzel, A. : Tandlægebladet. Digital billedbehandling. *Danish Dent. J.*, 95 : 1-33, 1991.
9. Furkart, A.J., Dove, S.B., McDavid, W.D. and et al. : Direct digital radiography for the detection of periodontal bone lesions. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 74 : 652-660, 1992.
10. 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.
11. Wenzel, A. : Effect of image enhancement for detectability of bone lesions in digitized intraoral radiographs. *Scand. J. Dent. Res.*, 96 : 149-160, 1988.
12. Wenzel, A. : New Caries Diagnostic Methods. *J. Dent. Educ.*, 57 : 428-432, 1993.
13. 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.

14. Zubery, Y. : Computerized image analysis in dentistry : Present status and future applications. *Compend. Contin. Educ. Dent.*, 13 : 964-974, 1992.
15. Verdonshot, E.H., Sanders, A.J. and Plasschaert, A.J. : A computer-aided image analysis system for area measurement of tooth root surfaces. *J. Periodontol.*, 61 : 275-280, 1990.
16. 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.
17. 이영식 : 영상강조기법을 이용한 치근단 병소의 치과 방사선 진단. *숭실대학교 정보기술학과 석사학위논문* : 1-73, 1993.
18. 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.
19. Southard, T.E. and Southard, K.A. : Maxillary alveolar bone imaging : Wiener filter design. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 75 : 645-649, 1993.
20. Farman, A.G., Farag, A.A. and Yeap, P.Y. : Communication in digital radiology. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 21 : 213-215, 1992.
21. 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.
22. Anon : Sending dental X-rays by telegraph. *Dent. Radiogr. Photogr.*, 2 : 16, 1929.
23. Gershon-Cohen, J. and Cooley, A.G. : Telognosis. *Radiology*, 55 : 582-587, 1950.
24. Wenzel, A. : Effect of varying gray-scale resolution for detectability of bone lesions in intraoral radiographs digitized for teletransmission. *Scand. J. Dent. Res.*, 95 : 483-492, 1987.
25. Oka, S.W. and Trussell, H.J. : Digital image enhancement of cephalograms. *Angle Ortho.*, 48 : 80-84, 1978.
26. 이곤, 이상래 : Digital Radiography를 이용한 치근단 X선사진의 판독능에 관한 실험적 연구. *치과방사선*, 22 : 117-127, 1992.
27. 박관수, 이상래 : 실험적으로 제작한 Videodensitometer의 디지털 영상처리와 임상적용에 관한 연구. *치과방사선*, 22 : 273-282, 1992.
28. Gang, I.G. : The relationship between alveolar bone loss, loss of attachment and level of GCF interleukin-1 β in refractory periodontitis. *대한치주과학회지*, 22 : 527-535, 1992.
29. 강병철 : 구내방사선사진과 컴퓨터영상의 치아 인접면 치석 진단능의 비교. *치과방사선*, 24 : 23-30, 1994.
30. 강병철 : 인접면 치아우식증의 진단의 치근단 X선사진과 디지털 영상의 비교. *치과방사선*, 24 : 31-38, 1994.
31. 권기정, 황의환, 이상래 : 디지털 방사선촬영술을 이용한 인접면 치아우식증 진단에 관한 실험적 연구. *치과방사선*, 24 : 85-94, 1994.
32. 조형희, 김은경 : 방사선사진용 디지털 영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구. *치과방사선*, 24 : 137-150, 1994.
33. Van Meter, D and Middleton, D. : Modern statistical approaches to reception in communication theory. *IRE Transactions. PGIT-4* : 119-141, 1954 (cited from 38).
34. Swets, J.A. : The relative operating characteristic in psychology. *Science*, 182 : 990-1000, 1973.
35. Swets, J.A., Tanner, W.P.Jr. and Birdsall, T.G. : Decision processes in perception. *Psychol. Rev.*, 68 : 301-340, 1961(cited from 38).
36. Lusted, L.B. : Logical analysis in roentgen diagnosis. *Radiology*, 74 : 178-193, 1960.
37. Lusted, L.B. : Signal detectability and medical decision-making. *Science*, 171 : 1217-1219, 1971.
38. Metz, C.E. : ROC methodology in radiologic imaging. *Invest. Radiol.*, 21 : 720-733, 1986.
39. Metz, C.E. : Basic principles of ROC analysis. *Seminars in Nuclear Medicine*, 8 : 283-298, 1978.
40. Okano, T., Gröndahl, H.G., Gröndahl, K. and Webber, R.L. : Effect of quantum noise on the detection of incipient proximal caries. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 53 : 212-218, 1982.
41. 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 caries lesions. *Caries Res.*, 28 : 363-367, 1994.
42. 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.

43. Gelfand, D.W. and Ott, D.J. : Methodologic considerations in comparing imaging methods. *A.J.R.*, 144 : 1117-1121, 1985.
44. Douglass, C.W. and McNeil, B.J. : Clinical decision analysis methods applied to diagnostic tests in dentistry. *J. Dent. Educ.*, 47 : 708-712, 1983.
45. Verdonschot, E.H., Wenzel, A. and Bronkhorst, E. M. : Assessment of diagnostic accuracy in caries detection : An analysis of two methods. *Community Dent. Oral Epidemiol.*, 21 : 203-208, 1993.
46. Wardlaw, D.W., Smith, R.J., Hertweck, D.W. and Hildebolt, C.F. : Cephalometrics of anterior open bite : A receiver operating characteristic (ROC) analysis. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 101 : 234-243, 1992.
47. Griner, P.F., Mayewski, R.J., Mushlin, A.I. and Greenland, P. : Selection and interpretation of diagnostic tests and procedures : Principles and application. *Annals of Internal Medicine*, 94 : 553-592, 1981.
48. Verdonschot, E.H., Wenzel, A. and Bronkhorst, E. M. : Applicability of Receiver Operating Characteristic(ROC) analysis on discrete caries depth ratings. *Community Dent. Oral Epidemiol.*, 21 : 269-272, 1993.
49. Van der Stelt, P.F., Ruttiman, U.E., Webber, R.L. and Heemstra, P. : In vitro study into the influence of X-ray beam angulation on the detection of artificial caries defects on bitewing radiographs. *Caries Res.*, 23 : 334-341, 1989.
50. Ohki, M., Okano, T. and Nakamura, T. : Factors determining the diagnostic accuracy of digitized conventional intraoral radiographs. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 23 : 77-82, 1994.
51. Gröndahl, H.G. : Digital radiology in dental diagnosis : A critical view. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 21 : 198-202, 1992.
52. Wenzel, A., Hintze, 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. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 72 : 621-626, 1991.
53. Horner, K., Shearer, A.C., Walker, A. and Wilson, N.H.F. : RadiovisioGraphy : An initial evaluation. *Br. Dent. J.*, 168 : 244-248, 1990.
54. Wenzel, A. and Hintze, H. : Perception of image quality in direct digital radiography after application of various image treatment filters for detectability of dental disease. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 22 : 131-134, 1993.
55. Welander, U., Nelvig, P., Tronje, G. and et al. : Basic technical properties of a system for direct acquisition of digital intraoral radiographs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 75 : 506-516, 1993.
56. McDavid, W.D., Dove, S.B., Welander, U. and Tronje, G. : Dimensional reproduction in direct digital rotational panoramic radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 75 : 523-527, 1993.
57. Fujita, M., Kodera, Y., Ogawa, M. and et al. : Digital image processing of dentomaxillofacial radiographs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Surg.*, 64 : 485-493, 1987.
58. Cannon, T.M. and Hunt, B.R. : Image processing by computer. *Sci. Am.*, 245 : 214-225, 1981.
59. Dove, S.B. and McDavid, W.D. : A comparison of conventional intra-oral radiography and computer imaging techniques for the detection of proximal surface dental caries. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 21 : 127-134, 1992.
60. Fujita, M., Kodera, Y., Ogawa, M. and et al. : Digital image processing of periapical radiographs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 65 : 490-494, 1988.
61. De Wey Peters, G.W., Schouten, H.J.A. and Zwamborn, A.W. : Colour presentation of radiologic images. *Acta Radiologica Diagnosis*, 19 : 139-144, 1978.
62. Gröndahl, H.G., Gröndahl, K., Okano, T. and Webber, R.L. : Statistical contrast enhancement of subtraction images for radiographic caries diagnosis. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 53 : 219-223, 1982.
63. Benn, D.K. : Radiographic caries diagnosis and monitoring : Review. *Dentomaxillofac. Radiol.*, 23 : 69-72, 1994.
64. Hildebolt, C.F., Vannier, M.W., Pilgram, T.K. and ShROUT, M.K. : Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 70 : 661-668, 1990.
65. ShROUT, M.K., Potter, B.J., Yurgalavage, H.M. and et al. : 35-mm film scanner as an intraoral dental radiograph digitizer : II : Effects of brightness and contrast adjustments. *Oral Surg. Oral Med. Oral*

- Pathol., 76 : 510-518, 1993.
66. Horner, K. and Hirschmann, P.N. : Dose reduction in dental radiography. *J. Dent.*, 18 : 171-184, 1990.
 67. Reddy, M.S. : Radiographic methods in the evaluation of periodontal therapy. *J. Periodontol.*, 63 : 1078-1084, 1992.
 68. Pitts, N.B. : Detection and measurement of approximal radiolucencies by computer-aided image analysis. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 58 : 358-366, 1984.
 69. Webber, R.L. : Computers in dental radiography : A scenario for the future. *J.A.D.A.*, 111 : 419-424, 1985.
 70. Mol, A. and Van der Stelt, P.F. : Locating the periapical region in dental radiographs using digital image analysis. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 75, 373-382, 1993.

-ABSTRACT-

DIAGNOSTIC ABILITY OF THE PERIAPICAL RADIOGRAPHS AND DIGITAL IMAGE IN THE DETECTION OF THE ARTIFICIAL PROXIMAL CARIES

Min-Suk Heo, Dong-Soo You

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University

Recently, the digital image was introduced into radiological image. The digital image has the power of contrast enhancement, histogram control, and other digitally enhancement. At the point of the resolution, periapical radiograph is superior to the digital image, but enhanced digital procedure improves the diagnostic ability of the digital image.

The purpose of this study was to evaluate the diagnostic ability of artificial proximal caries in conventional radiographs, digital radiographs and enhanced digital radiographs (histogram specification). ROC (Receiver Operating Characteristic) analysis and paired t-test were used for the evaluation of detectability, and following results were acquired:

1. The mean ROC area of conventional radiographs was 0.9274.
2. The mean ROC area of unenhanced digital image was 0.9168.
3. The mean ROC area of enhanced digital image was 0.9339.
4. The diagnostic ability of three imaging methods was not significant difference($p>0.05$).

So, the digital images had similar diagnostic ability of artificial proximal caries to conventional radiographs. If properly enhanced digital image, it may be superior to conventional radiographs.

* **Key Words** : artificial proximal caries, conventional radiographs, digitized radiographs, enhanced digital image, ROC analysis