

직접 디지털 방사선 촬영시스템과 Ektaspeed 및 Ektaspeed Plus 필름을 이용한 방사선 사진용 디지털 영상시스템과의 비교 연구

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실

도 정 주 · 김 은 경

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구 결과
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도 및 설명

I. 서 론

직접 디지털 방사선 촬영시스템(direct digital radiographic system)이란 기존의 x-선 필름대신 구내 charge-coupled device(CCD) 센서를 구강 내에 위치시켜 기존의 치과용 x-선 촬영기기로 촬영하면, 조사 직후 컴퓨터 모니터 상에 영상이 나타나는 시스템이다¹⁻³⁾. 1989년 RadioVisio-Graphy가 프랑스의 Trophy Radiologie사에 의해 최초로 소개된 이래⁴⁻⁷⁾, 스웨덴의 Sens-A-Ray (Regam Medical Systems AB, Sweden)⁸⁾, 이태리의 Flashdent(Villa Sistemi Medicali srl, Italy), Visualix(Gendex Dental Systems, Italy)⁹⁾, 독일의 Sidexis(Siemens, Germany) 등이 개발, 시판되고 있다. 이 시스템의 장점은 촬영 후

거의 즉각적인 영상의 획득, 불필요한 사진처리액, 환자에 대한 조사선량 감소, 일관적인 영상의 질, 영상의 원격 전송 가능 등을 들수 있으며^{1,3)}, 단점은 시스템의 비싼 가격, 기존의 필름보다 상대적으로 적은 영상 검출부와 낮은 해상도, CCD 센서의 불확실한 수명 등이다^{2,3)}. 이의 적응증으로 골 소실, 임플란트 부위결정, 근관 치료, 과두 돌기의 골 변화 등의 판독을 위한 이차원/삼차원적 재구성, 디지털 공제술, 원격 전송 등이 있다³⁾.

기존의 방식으로 촬영, 현상된 필름을 디지털화하는 방사선 사진용 디지털 영상시스템(film-based digital imaging system)은 x 선 필름을 CCD 카메라나 스캐너를 이용하여 컴퓨터에 입력하여 영상처리하는 시스템으로, 최근에 개인용 컴퓨터의 발달로 개인용 컴퓨터를 이용한 디지털 영상시스템을 제작하여 임상에 이용하고자 하는 많은 시도가 있어왔다¹⁰⁻¹⁷⁾. 1983년 Gröndahl등³⁾은 치과방사선 사진을 이용하여 디지털 공제촬영을 시행하는 술식을 보고하였고, Ruttiman과 Webber(1987)¹⁸⁾는 디지털 공제촬영으로 국소적인 골병소의 양을 측정하였으며, Fujita 등(1988)¹²⁾은 파노라마 사진을 디지털 영상 처리했을때 화질이 개선된다고 보고하였다. 또 Hildebolt 등(1990)¹⁹⁾은 디지털 치과 방사선사진 영상 시스템의 정량 분석에서 슬라이드 스캐너를 이용한 시스템이 비디오 카메라를 이용한 시스템보다 우수

하다고 하였다. 국내에서는 1994년 조와 김²⁰⁾이 디지털 영상 공제 처리를 통해 골 병소의 정량적 평가에 관한 연구결과를 보고한바 있고, 1992년 유과 이²¹⁾는 비디오 농도계를 이용하여 X선사진의 흑화도와 대조도에 관한 논문을 발표하였다.

이러한 디지털 공제 방사선 촬영술의 임상 이용에 관해서는 미세한 골변화를 보이는 치주질환, 치아우식증²²⁾, 임플란트²³⁾, 악관절의 골변화²⁴⁾ 및 위치변화^{25,26)} 등의 진단과 골의 정량 분석^{18,20,27,28)}에의 이용 등 많은 보고가 있었다.

기존의 구내 x-선 필름은 감광도에 따라 Ultraspeed 필름, Ektaspeed 필름, Ektaspeed Plus 필름 등이 임상에서 활용되고 있다. 1981년 Kodak사에서 개발하여 시판된 Ektaspeed 필름은 Ultraspeed 필름보다 감광도가 1.7 - 2.3배 정도 빠르나, 대조도가 다소 낮은 것으로 알려져 있고, 1994년 Kodak사에서 새로운 감광 유제 기술(tubular-grain emulsion)로 만든 Ektaspeed Plus 필름이 소개되었는데, 이 필름은 Ektaspeed 필름보다도 빠르면서, 높은 대조도와 낮은 과립상(graininess)을 보이는 것으로 보고되었다²⁹⁾.

이에 저자는 직접 디지털 방사선 촬영시스템을 Ektaspeed, Ektaspeed Plus 필름을 이용한 방사선 사진용 디지털 영상시스템과 영상의 특성 및 판독능의 측면에서 비교해 보고, 직접 디지털 방사선 촬영시스템의 센서 노이즈를 평가해 보고자 본 연구를 수행하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

1) 직접 디지털 방사선 촬영시스템

CCD센서와 센서박스(bufferbox)로 구성된 Sens-A-Ray 시스템(Regam Medical Systems, Sundsvall, Sweden)이 사용되었으며(Fig. 1), CCD의 크기는 17.3 mm x 26.0 mm(대략 소아용 치근단 필름의 크기), 385 x 576 화소(pixel)였다.

이 CCD는 빛에 반응하는 RadioVisioGraphy 시스템(프랑스의 Trophy Radiologie사)과 달리 x-선에 직접 반응한다. 센서의 외측 크기는 41 x 22 x 8 mm이며, 센서박스는 비디오 처리 회로와

8비트 아날로그 디지털 변환기를 가진 회로판을 포함한다(Fig. 2). 데이터는 전선을 통해 전력공급장치(power supply)를 지나, 컴퓨터의 image grabber board와 super VGA board로 전달된다(Fig. 3). 영상은 컴퓨터의 환자 파일에 저장되고, 감열성 프린터로 영상을 hard copy로 인쇄할 수 있다. 한번에 8개의 영상을 동시에 보여줄 수 있으며, 대조도와 흑화도 변화, 영상의 확대, 회색도의 측정과 같은 영상의 조작이 가능하다.

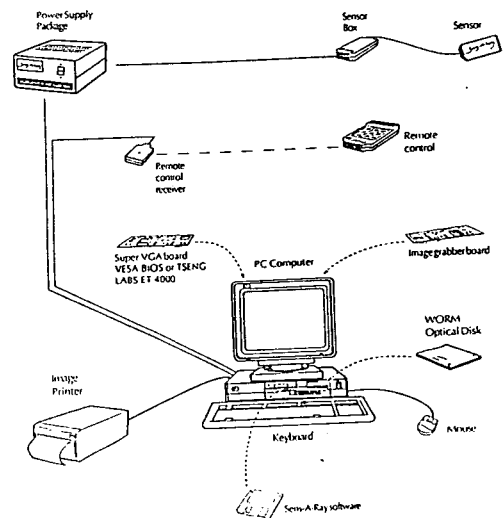


Figure 3. Diagram to illustrate the Sens-A-Ray system

2) 방사선 사진용 디지털 영상시스템

매킨토시 II ci 컴퓨터(Apple computer Inc., U.S.A.), 13" Applecolor 고해상도 RGB 모니터(Apple computer Inc., U.S.A.), 고해상도의 Sony XC-77 CCD 카메라(Sony Co, Japan), Quick-Capture frame grabber board(Data Translation Inc, U.S.A.)로 구성된 방사선 사진용 디지털 영상시스템을 사용하였다(Fig. 4). QuickCapture frame grabber board는 640 x 480 화소의 공간 해상도와 256 단계의 회색도(0-백, 255-흑)를 지원하였으며, 영상 처리를 위한 소프트웨어 "Adobe Photoshop"과 "NIH Image" 프로그램을 사용하였다.

디지털 영상의 회색도를 필름 흑화도로 변환

시킴을 위해 Kodak photographic step tablet no. 3와 Dual reference densitometer(Victoreen Co, USA)를 이용하였으며(Fig. 5), 구내 x 선 필름은 Kodak사의 Ektaspeed 필름과 Ektaspeed Plus 필름이 사용되었다.

3) 영상의 획득과 사진 처리

건조 인체하악골과 2mm부터 10mm까지의 다섯 계단으로 이루어진 알루미늄 step wedge가 피사체로 사용되었으며, #15 K-flexofile(Maillefer Co, Swiss), XCP 필름 유지장치(Rinn Co, USA), 70kVp, 8mA의 Oramatic dental x-ray machine (Trophy Co, France)이 촬영에 이용되었고, 촬영된 필름은 A/T 2000 plus(Air Techniques Co, USA) 자동 현상기로 사진처리되었다.

2. 연구방법

판독능의 평가를 위해 건조 인체 하악골의 제1대구치 근심측 근관에 #15 file을 삽입하였고(Fig. 6), 영상의 흑화도 및 대조도를 평가하기 위해 알루미늄 step wedge를 필름 유지기구의 교합재(bite-block)에 부착시켰다. XCP 필름 유지기구의 필름 부착부에 Sens-A-Ray 시스템의 CCD 센서, Ektaspeed 필름, Ektaspeed Plus 필름을 각각 위치시켜(Fig. 7), 관전압 70kVp, 관전류 8mA, 30cm의 원통형 cone을 가진 치과용 x 선 촬영기기로, 평행촬영법으로 치근단촬영하였다.

이때 노출시간을 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초로 변화시켜, 매 노출시간마다 5회씩 촬영하였다. 촬영된 Ektaspeed 필름, Ektaspeed Plus 필름은 자동 현상기로 28°C, 5.5분의 조건에서 사진처리하여, CCD 카메라를 이용하여 방사선사진용 디지털 영상시스템내로 입력하였다. Sens-A-Ray 시스템의 CCD 센서로 촬영된 50개의 영상 파일을 Sens-A-Ray(S)군(Fig. 8, 9), Ektaspeed 필름으로 촬영된 50개의 영상을 Ektaspeed(E)군(Fig. 10, 11), Ektaspeed Plus 필름으로 촬영된 50개의 영상을 Ektaspeed Plus(EP)군(Fig. 11)으로 분류하여, 다음 세가지 측면에서 평가, 비교하고, Sens-A-Ray 시스템의 센서 노이즈를 평가하였다.

가. 영상의 흑화도

S군, E군, EP군의 모든 영상에서 알루미늄 step wedge의 각 step의 회색도를 측정하였다. E군, EP군의 각 step의 회색도를 필름 흑화도로 변환시키기 위해 Kodak photographic step tablet no.3을 CCD 카메라를 이용하여 Ektaspeed 필름, Ektaspeed Plus 필름을 입력할때와 동일한 조건에서 방사선사진용 디지털 영상시스템내로 입력하였다. 16단계의 필름 step의 흑화도를 Dual reference densitometer(Victoreen Co, USA)로 측정하고, 컴퓨터 모니터 상에서 필름 step의 회색도를 측정하였다(Table 1). 필름 step의 흑화도와 회색도의 관계를 회귀 분석하여, Fig. 12과 같은 높은 결정계수($r^2=0.999$)의 다항식을 얻었다.

이 관계식으로 E군, EP군의 모든 영상의 각 step의 회색도를 필름 흑화도로 변환시켰다. 각 군에서의 노출시간의 증가에 따른 평균 회색도와 흑화도의 변화를 비교하였다. 각 군의 차이를 ANOVA test로 검정하였다.

나. 영상의 대조도

S군, E군, EP군의 모든 영상에서 다음과 같은 공식으로 상대적인 영상 대조도를 산출하였다.

$$C = 2 (D_1 - D_2) / (D_1 + D_2) \text{ (by C. Price}^{30}\text{), 1986}$$

C : 상대적인 영상대조도(relative image contrast)

D₁: 높은 흑화도값(density value of higher density zone)

D₂: 낮은 흑화도값(density value of lower density zone)

각 군에서 노출시간의 증가에 따른 평균 영상대조도의 변화를 비교하였다. 각 군의 차이를 ANOVA test로 검정하였다.

다. 판독능

건조 하악골의 제1대구치의 근심 측 근관내에 삽입된 #15 file을 3명의 치과 의사가 다음과 같은 기준으로 판독능을 평가하였다.

1 : 확실하게 보이는 영상

2 : 비교적 희미하게 보이는 영상

Table 1. Film density and gray value of photographic film step

film step	density(X)	gray level(Y)
1	0.01	1
2	0.21	44
3	0.38	100
4	0.55	144
5	0.68	169
6	0.85	193
7	1.01	212
8	1.18	224
9	1.30	232
10	1.47	238
11	1.64	243
12	1.82	247
13	1.94	249
14	2.10	250
15	2.27	252
16	2.43	252

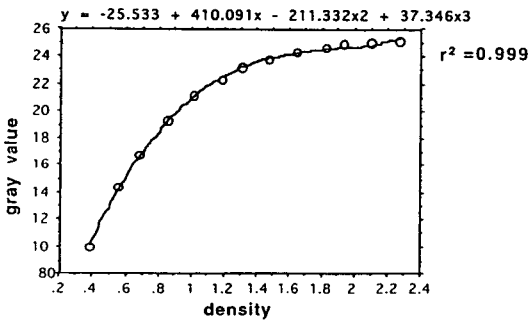


Figure 12. Regression analysis of film density and gray value of photographic film step

3 : 희미하게 보이는 영상

4 : 판독이 곤란한 영상

각 군의 노출시간 별 평균 판독능 지수를 비교하였다.

라. 센서 노이즈

직접 디지털 방사선 촬영시스템의 센서 노이즈는 Wenzel³¹⁾의 방법을 이용하여 평가하였다.

즉 Sens-A-Ray 시스템의 각 노출시간별로 5회씩 촬영된 영상 파일에서 임의의 한 영상을 기준 영상으로 하여 나머지 4개의 영상파일과 공제술(subtraction)을 시행하였다. 공제된 영상의

회색도의 표준 편차가 영상내에 존재하는 노이즈의 양으로 간주되었다. 노이즈가 작을수록 표준 편차는 작게 나타난다. 각 노출시간별로 노이즈의 양을 측정하여 노출시간에 따른 변화를 평가하고, ANOVA test로 그 차이를 검정하였다.

III. 연구 결과

가. 영상의 흑화도

Sens-A-Ray(S)군, Ektaspeed(E)군, Ektaspeed Plus(EP)군의 모든 영상에서 측정된 알루미늄 step wedge의 각 step의 회색도는 Table 2, 3, 4 와 같다. E군, EP군의 모든 영상의 각 step의 회색도를 필름 흑화도로 변환시킨 후 노출시간별 알루미늄 step wedge의 평균 회색도 및 흑화도는 Table 5와 같으며, Fig. 13은 이를 그래프로 나타낸 것이다. 이때 S군의 회색도와 E군, EP군의 흑화도 비교는 McDonell과 Price의 방법³²⁾을 따라, Sens-A-Ray 시스템의 회색도를 필름 흑화도의 100배에 해당되는 값과 비교하였다. S군의 알루미늄 step wedge의 평균 회색도는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초; 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 32, 42, 60, 70, 93, 118, 144, 148, 176, 175로, 노출시간이 증가함에 따라 평균 회색도가 증가하는 것을 볼수 있으며, E군의 알루미늄 step wedge의 평균 흑화도는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 0.51, 0.56, 0.59, 0.62, 0.7, 0.81, 0.82, 0.9, 0.99, 1.1로, 노출시간이 증가함에 따라 평균 흑화도가 증가하는 것을 볼수 있었고, EP군에서도 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 0.53, 0.62, 0.71, 0.74, 0.78, 0.81, 1.02, 1.02, 1.16, 1.12로, 노출시간이 증가함에 따라 전반적으로 평균 흑화도가 증가하는 것을 볼수 있었다.

Table 6은 각 군의 알루미늄 step wedge의 회색도 및 흑화도의 차이를 ANOVA test로 비교검정한 표이다. 0.06초, 0.1초 군에서 S군은 E군보다 평균 흑화도가 낮았으며($p < 0.01$), 0.2초 이후군에서는 S군은 E군보다 평균 흑화도가 높았다($p < 0.01$). 또 0.06초, 0.1, 0.16초 군에서 S군은 EP군보다 평균 흑화도가 낮았으며($p < 0.01$), 0.3

Table 2. Raw data of gray value of aluminum step wedge in S group

exposure time	Al thickness (mm)	1	2	3	4	5	AVG	SD
0.06s	2	71	73	77	74	77	74	3
	4	35	36	37	36	38	36	1
	6	22	22	24	23	24	23	1
	8	15	16	17	16	17	16	1
	10	12	13	13	13	13	13	0
0.1s	2	92	97	99	98	92	96	3
	4	45	47	47	47	45	46	1
	6	29	30	30	31	29	30	1
	8	20	21	21	22	20	21	1
	10	16	17	17	17	16	17	1
0.16s	2	129	135	139	138	140	136	4
	4	63	66	68	68	69	67	2
	6	40	42	42	43	43	42	1
	8	29	30	30	30	30	30	0
	10	22	24	24	24	24	24	1
0.2s	2	153	158	159	159	167	159	5
	4	75	77	78	78	82	78	3
	6	47	49	50	50	52	50	2
	8	34	35	35	35	37	35	1
	10	27	28	29	29	30	29	1
0.3s	2	202	210	211	212	209	209	4
	4	101	104	105	105	105	104	2
	6	64	66	67	67	66	66	1
	8	45	47	48	48	47	47	1
	10	37	37	38	38	38	38	1
0.4s	2	255	255	255	255	255	255	0
	4	138	141	137	135	136	137	2
	6	88	89	88	87	87	88	1
	8	63	64	63	61	61	62	1
	10	50	51	49	48	48	49	1
0.5s	2	255	255	255	255	255	255	0
	4	186	188	189	189	189	188	1
	6	121	120	122	122	122	121	1
	8	86	85	87	87	87	86	1
	10	67	68	68	68	69	68	1
0.6s	2	255	255	255	255	255	255	0
	4	198	193	198	197	200	197	3
	6	127	124	128	128	130	127	2
	8	92	88	91	92	93	91	2
	10	73	69	71	72	74	72	2
0.8s	2	255	255	255	255	255	255	0
	4	255	250	245	250	249	250	4
	6	170	163	160	162	162	163	4
	8	123	116	116	116	117	118	3
	10	96	91	91	91	92	92	2
1.0s	2	255	255	255	255	255	255	0
	4	242	249	249	244	248	246	3
	6	158	164	163	160	162	161	2
	8	116	120	119	117	119	118	2
	10	93	95	95	93	95	94	1

Table 3. Raw data of gray value of aluminum step wedge in E group

exposure time	Al thickness (mm)	1	2	3	4	5	AVG	SD
0.06s	2	160	152	177	161	165	163	9
	4	133	127	157	137	141	139	11
	6	119	114	146	123	129	126	12
	8	112	109	141	119	123	121	13
	10	109	106	140	117	120	118	13
0.1s	2	173	175	199	180	184	182	10
	4	141	144	169	150	152	151	11
	6	125	127	154	133	137	135	12
	8	116	119	147	124	130	127	12
	10	112	115	144	122	126	124	13
0.16s	2	200	190	191	190	198	194	5
	4	164	154	163	157	163	160	4
	6	142	133	149	139	143	141	6
	8	131	123	144	130	136	133	8
	10	123	119	140	125	128	127	8
0.2s	2	203	201	209	203	205	204	3
	4	163	161	176	165	169	167	6
	6	138	140	157	143	147	145	8
	8	125	129	149	1312	136	134	9
	10	119	122	145	126	131	129	10
0.3s	2	223	221	225	222	225	223	2
	4	183	181	193	186	187	186	5
	6	156	154	173	157	164	161	8
	8	141	1387	162	145	150	147	9
	10	132	129	153	137	140	138	9
30.4s	2	233	237	242	238	235	237	3
	4	198	204	218	208	206	207	7
	6	168	171	194	179	176	178	10
	8	151	153	180	161	159	161	11
	10	139	143	168	150	148	150	11
0.5s	2	230	241	246	235	242	239	6
	4	193	211	226	207	213	210	12
	6	165	180	201	179	186	182	13
	8	147	160	183	160	165	163	13
	10	136	146	172	149	154	151	13
0.6s	2	244	245	247	243	247	245	2
	4	216	218	230	219	224	221	6
	6	187	188	208	193	195	194	8
	8	168	168	190	173	176	175	9
	10	154	150	177	158	162	160	10
0.8s	2	249	249	250	248	251	249	1
	4	230	231	239	231	236	233	4
	6	202	203	221	207	210	209	8
	8	178	179	205	186	189	187	11
	10	161	160	191	167	174	171	13
1.0s	2	251	251	250	250	251	251	1
	4	237	240	245	240	242	241	3
	6	213	218	232	219	225	221	7
	8	193	193	218	199	303	201	10
	10	176	175	205	181	188	185	12

Table 4. Raw data of gray value of aluminum step wedge in EP group

exposure time	Al thickness(m m)	1	2	3	4	5	AVG	SD
0.06s	2	177	168	168	163	163	168	6
	4	153	141	142	137	138	142	6
	6	141	128	127	127	126	130	6
	8	135	123	121	119	122	124	6
	10	134	120	117	116	120	121	7
0.1s	2	206	201	204	203	202	203	2
	4	170	166	170	166	166	168	2
	6	148	140	149	144	145	145	4
	8	138	129	138	132	132	134	4
	10	131	123	132	126	125	127	4
0.16s	2	225	227	225	223	224	225	1
	4	189	192	189	187	188	189	2
	6	163	166	162	159	161	162	3
	8	148	152	148	144	147	148	3
	10	138	142	137	131	135	137	4
0.2s	2	232	231	231	231	229	231	1
	4	196	196	196	196	194	196	1
	6	169	169	168	167	165	168	2
	8	153	152	154	149	148	151	3
	10	143	139	143	137	136	140	3
0.3s	2	238	239	238	239	238	238	1
	4	205	206	204	206	206	205	1
	6	174	176	174	177	175	175	1
	8	155	157	156	157	154	156	1
	10	141	145	141	143	141	142	2
0.4s	2	241	240	238	241	242	240	2
	4	211	210	205	210	213	210	3
	6	182	181	178	179	183	181	2
	8	163	160	158	160	163	161	2
	10	147	147	145	145	146	146	1
0.5s	2	251	251	251	252	251	251	0
	4	237	237	238	238	237	237	1
	6	213	213	213	216	213	214	1
	8	189	189	188	193	190	190	2
	10	170	170	169	174	170	171	2
0.6s	2	252	252	251	252	252	252	0
	4	238	238	236	238	238	238	1
	6	214	215	211	215	214	214	2
	8	190	191	188	194	192	191	2
	10	172	171	168	173	172	171	2
0.8s	2	253	253	253	253	253	253	0
	4	246	246	246	245	244	245	1
	6	228	227	229	226	226	227	1
	8	207	206	208	206	205	206	1
	10	186	187	188	186	187	187	1
1.0s	2	253	253	253	253	253	253	0
	4	245	239	245	244	246	244	3
	6	225	218	227	224	226	224	4
	8	202	202	205	202	205	203	2
	10	181	184	184	182	184	183	1

Table 5. Average gray value and density of each aluminum step in S,E and EP group

		0.06s	0.1s	0.16s	0.2s	0.3s	0.4s	0.5s	0.6s	0.8s	1.0s
S group	1	31	40	57	67	90	119	143	149	180	173
	2	32	42	59	69	93	120	143	146	175	177
	3	34	43	61	70	94	118	144	149	173	176
	4	32	43	61	70	94	117	144	149	175	174
	5	34	40	61	74	93	117	144	150	175	176
	AVG	32	42	60	70	93	118	144	148	176	175
E group	1	0.48(127)	0.51(133)	0.6(152)	0.59(150)	0.68(167)	0.75(178)	0.72(174)	0.86(194)	0.94(204)	1.04(214)
	2	0.46(122)	0.52(136)	0.56(144)	0.59(151)	0.66(165)	0.78(182)	0.81(188)	0.86(194)	0.94(204)	1.05(215)
	3	0.6(152)	0.66(163)	0.63(157)	0.68(167)	0.76(181)	0.9(200)	0.96(206)	0.99(210)	1.12(221)	1.25(230)
	4	0.5(131)	0.55(142)	0.58(148)	0.61(154)	0.69(169)	0.81(187)	0.8(186)	0.88(197)	0.98(208)	1.08(218)
	5	0.52(136)	0.57(146)	0.61(154)	0.63(158)	0.72(173)	0.79(185)	0.84(192)	0.91(201)	1.01(212)	1.13(222)
	AVG	0.51(133)	0.56(144)	0.59(151)	0.62(156)	0.7(171)	0.81(187)	0.82(189)	0.9(199)	0.99(210)	1.1(220)
EP group	1	0.58(148)	0.64(159)	0.72(173)	0.75(179)	0.78(183)	0.82(189)	1.01(212)	1.02(313)	1.16(224)	1.12(221)
	2	0.52(136)	0.6(152)	0.73(176)	0.74(177)	0.79(185)	0.81(188)	1.01(212)	1.02(213)	1.16(224)	1.09(219)
	3	0.52(135)	0.64(159)	0.72(172)	0.75(178)	0.78(183)	0.79(185)	1.01(212)	1(211)	1.17(225)	1.14(223)
	4	0.5(132)	0.61(154)	0.69(169)	0.73(176)	0.79(184)	0.81(187)	1.05(215)	1.04(214)	1.14(223)	1.12(221)
	5	0.51(134)	0.61(154)	0.7(171)	0.72(174)	0.78(183)	0.82(189)	1.01(212)	1.04(214)	1.14(223)	1.14(223)
	AVG	0.53(137)	0.62(155)	0.71(172)	0.74(177)	0.78(183)	0.81(188)	1.02(213)	1.02(213)	1.16(224)	1.12(221)

초 이후군에서는 S군은 EP군보다 평균 흑화도가 높았다($p < 0.01$). 또 EP군은 E군보다 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.5초, 0.6초, 0.8초 군에서 평균 흑화도가 높았다 ($p < 0.01$).

Table 6. Comparison of average gray value and density of total aluminum step wedge in S,E and EP group according to exposure time (ANOVA test)

exposure time	S group vs. E group	S group vs. EP group	E group vs. EP group
0.06s	*	*	
0.1s	*	*	
0.16s		*	*
0.2s			*
0.3s	*	*	*
0.4s	*	*	
0.5s	*	*	*
0.6s	*	*	*
0.8s	*	*	*
1.0s	*	*	

*:Significant at 99%

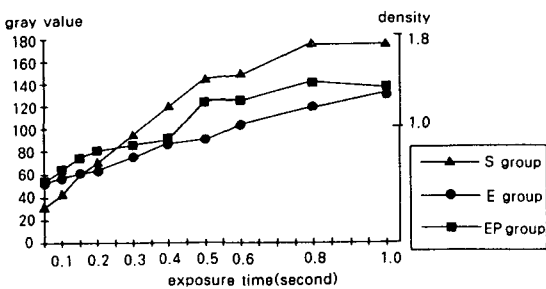


Figure 13. Line graph of gray value and density against exposure time at the individual group

나. 영상의 대조도

S군, E군, EP군의 모든 영상에서 산출된 상대적인 영상 대조도는 Table 7과 같고, Fig. 14는 각 군의 노출시간별 평균 영상 대조도를 그래프

로 나타낸 것이다. S군의 평균 영상 대조도는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 1.41, 1.41, 1.41, 1.39, 1.39, 1.35, 1.16, 1.12, 0.94, 0.92로, 노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 감소하는 경향이 있었고($p < 0.01$), E군의 평균 영상 대조도는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 0.38, 0.50, 0.55, 0.63, 0.74,

Table 7. Raw data of relative image contrast in S,E and EP group

		0.06s	0.1s	0.16s	0.2s	0.3s	0.4s	0.5s	0.6s	0.8s	1.0s
S group	1	1.42	1.41	1.42	1.40	1.38	1.34	1.17	1.11	0.91	0.93
	2	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.33	1.16	1.15	0.95	0.91
	3	1.42	1.41	1.41	1.38	1.39	1.36	1.16	1.13	0.95	0.91
	4	1.40	1.41	1.41	1.38	1.39	1.37	1.16	1.12	0.95	0.93
	5	1.42	1.41	1.41	1.39	1.38	1.37	1.15	1.10	0.94	0.91
	AVG	1.41	1.41	1.41	1.39	1.39	1.35	1.16	1.12	0.94	0.92
E group	1	0.44	0.53	0.63	0.70	0.79	0.84	0.83	0.94	1.05	1.00
	2	0.40	0.52	0.59	0.66	0.78	0.86	0.92	1.00	1.06	1.00
	3	0.31	0.47	0.42	0.53	0.65	0.79	0.88	0.90	0.87	0.76
	4	0.39	0.49	0.55	0.64	0.72	0.84	0.80	0.89	1.00	0.94
	5	0.38	0.49	0.58	0.62	0.74	0.80	0.89	1.00	1.01	0.91
	AVG	0.38	0.50	0.55	0.63	0.74	0.83	0.86	0.95	1.00	0.92
EP group	1	0.37	0.63	0.76	0.79	0.89	0.92	1.02	1.05	0.96	1.00
	2	0.42	0.64	0.75	0.81	0.88	0.90	1.03	1.05	0.95	0.97
	3	0.44	0.65	0.76	0.78	0.89	0.87	1.04	1.05	0.95	0.97
	4	0.40	0.64	0.79	0.83	0.90	0.92	1.04	1.04	0.96	0.98
	5	0.38	0.65	0.76	0.82	0.89	0.94	1.03	1.05	0.95	0.97
	AVG	0.40	0.64	0.76	0.81	0.89	0.91	1.03	1.05	0.95	0.98

Table 8. Comparison of average relative image contrast in S,E and EP group according to exposure time (ANOVA test)

exposure time	S group vs. E group	S group vs. EP group	S group vs. EP group
0.06s	*	*	
0.1s	*	*	*
0.16s	*	*	*
0.2s	*	*	*
0.3s	*	*	*
0.4s	*	*	*
0.5s	*	*	*
0.6s	*	*	*
0.8s			
1.0s			

*:Significant at 99%

0.83, 0.86, 0.95, 1.00, 0.92로,노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 증가하는 경향이 있었다 ($p < 0.01$). 또 EP군의 평균 영상 대조도는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 0.40, 0.64, 0.76, 0.81, 0.89, 0.91, 1.03, 1.05, 0.95, 0.98로, 노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 증가하는 경향이 있었다

($p < 0.01$). Table 8은 각 군의 차이를 노출시간에 따라 ANOVA test로 비교 검정한 표이다. 0.8초,1.0초 군을 제외한 모든 노출시간 군에서 S군은 E군, EP군보다 영상 대조도가 높았으며($p < 0.01$), 0.06초, 0.8초, 1.0초 군을 제외한 모든 노출시간 군에서 EP군은 E군보다 영상 대조도가 높았다($p < 0.01$).

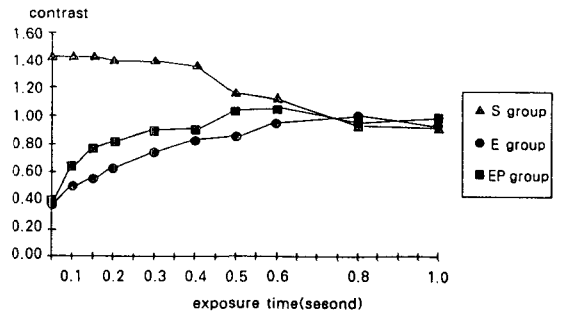


Figure 14. Line graph of relative image contrast against exposure time at the individual group

다. 판독능

각 군의 모든 영상에서의 판독능 지수는 Table 9와 같고, 노출시간 별 평균 판독능 지수는 Table 10과 같다. S군은 노출시간 0.5초-0.8초 에서 높은 판독능 1을 보여주었고, E군은 노출시간 0.6초-1.0초 에서 높은 판독능 1을 보여주었으며, EP군은 노출시간 0.5초 - 1.0초 에서 높은 판독능 1을 보여주어 각 군 공히 적절한 노출시간에서 최대 판독능 1을 보였다. 최대 판독능 1을 보이는 최저 노출시간은 S군, EP군에서 0.5초, E군에서 0.6초로 S군, EP군은 E군보다 낮은 노출시간에서 최대 판독능 1을 보였다.

라. 센서 노이즈

공제된 영상의 회색도의 표준 편차로 표현된, Sens-A-Ray 시스템의 센서 노이즈 는 Table 11, Fig 15 와 같다. 각 노출시간별 공제된 영상의 회색도의 평균 표준 편차는 0.06초, 0.1초, 0.16초, 0.2초, 0.3초, 0.4초, 0.5초, 0.6초, 0.8초, 1.0초에서 각각 17.10, 18.06, 19.92, 21.27, 22.29, 24.11, 23.99, 24.85, 25.75, 24.26으로, 전반적으로 노출시간이 증가함에 따라 평균 표준 편차가 증가하는 것을 볼수 있었다($p < 0.01$). Fig 16은 0.2초, 0.4초, 0.6초, 0.8초에서의 공제된 영상을 보여 준다. 점차 노이즈가 증가하는 것을 볼 수 있다.

Table 10. Average detectability of #15 file in S,E and EP group

exposure time	S group	E group	EP group
0.06s	4.00	4.00	4.00
0.1s	4.00	4.00	3.20
0.16s	4.00	3.40	2.60
0.2s	4.00	3.40	2.40
0.3s	2.80	2.40	2.00
0.4s	2.00	2.40	1.40
0.5s	1.00	1.60	1.00
0.6s	1.00	1.00	1.00
0.8s	1.00	1.00	1.00
1.0s	1.20	1.00	1.00

Table 9. Raw data of detectability of #15 file in S,E and EP group

exposure time		S group	E group	EP group
0.06s	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	4	4	4
	4	4	4	4
	5	4	4	4
0.1s	1	4	4	3
	2	4	4	3
	3	4	4	4
	4	4	4	3
	5	4	4	3
0.16s	1	4	3	2
	2	4	3	3
	3	4	4	3
	4	4	3	2
	5	4	4	3
0.2s	1	4	3	2
	2	4	3	2
	3	4	4	2
	4	4	3	3
	5	4	4	3
0.3s	1	3	2	2
	2	2	2	2
	3	3	3	2
	4	3	3	2
	5	3	2	2
0.4s	1	2	2	1
	2	2	2	1
	3	2	3	2
	4	2	3	1
	5	2	2	2
0.5s	1	1	2	1
	2	1	2	1
	3	1	2	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
0.6s	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
0.8s	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
1.0s	1	2	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1

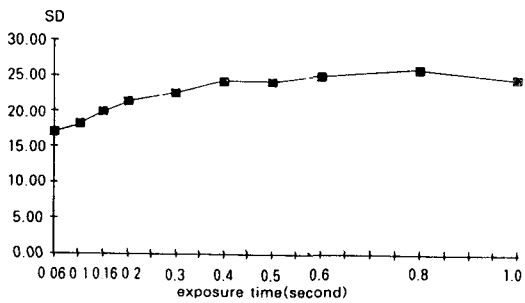


Figure 15. Line graph of standard deviation of subtraction image made from images taken with Sens-A-Ray system according to exposure time

IV. 총괄 및 고안

X-선 필름대신 구내 CCD 센서를 구강 내에 위치시켜 기존의 치과용 x-선 촬영기기로 촬영, 조사 직후 컴퓨터 모니터 상에 영상이 나타나는 직접 디지털 방사선 촬영시스템은 1989년 RadioVisioGraphy로 프랑스의 Trophy Radiologie사에 의해 최초로 소개되었다. 그후 Sens-A-Ray(Regam Medical Systems AB, Sweden), Flashdent(Villa Sistemi Medicali srl, Italy), Visualix(Gendex Dental Systems, Italy), Sidexis(Siemens, Germany) 등이 개발, 시판되고 있다. 기본적으로 이들 시스템은 두 군으로 구분될 수 있는데, 구내 CCD 센서가 회토티 증감지에서 나오는 빛에 반응하는 것과 방사선에 직접 반응하는 것으로 구분된다. 전자(RVG나 Flashdent)는 x-선을 빛으로 변환시키기 위해 회토티 증감지를 이용하며, 광학 기구(RVG는

광섬유; Flashdent는 7개의 렌즈)를 이용하여 빛을 CCD로 전달한다. CCD는 방사선에 강화되어 있지 않으나, 텅스텐 유리 사용(RVG)이나 위치(Flashdent)에 의해 보호된다. Regam이나 Gendex 시스템은 방사선에 강화된 CCD를 사용한다. 두가지 군중 선택할때 고려해야 할 점은 광학 기구는 특히 변연부의 상의 변형을 야기하는 경향이 있어 디지털 공제술시 부정확한 상이 초래될수 있고, 그러나 CCD는 잘 보호되어 있어 잠재적인 성능저하 가능성이 낮다는 점이다. 반면 광학 기구를 쓰지 않는 시스템의 제조업체는 더 짧은 수명을 제시한다¹⁻³⁾.

이러한 직접 디지털 방사선 촬영시스템의 장점은 거의 즉각적인 영상의 획득, 불필요한 사진처리액, 환자에 대한 조사선량 감소, 일관적인 영상의 질, 영상의 원격 전송 가능 등을 들수 있으며, 단점은 시스템의 비싼 가격, 기존의 필름보다 상대적으로 적은 영상 검출부와 낮은 해상도, CCD 센서의 불확실한 수명 등이다. 이의 적응증으로 골 소실, 임플란트 부위결정, 근관 치료, 과두돌기의 골 변화 등의 판독을 위한 이차원/삼차원적 재구성, 디지털 공제술, 원격 전송등을 들수 있다³⁾.

환자에 대한 조사선량 감소는 직접 디지털 방사선 촬영시스템의 가장 큰 장점중의 하나로, 기종에 따라 75-80%까지 보고되어 있다. 1993년 Molteni⁹⁾는 Visualix의 경우 기존의 D-speed의 구내필름보다 약 6배정도 빠르다고 하였고, 1993년 Welander등³⁹⁾은 Sens-A-Ray 시스템을 IBM PC/AT호환기종에 연결하여 실험한 결과 CCD 센서가 기존의 치과 필름보다 더 예민하며, 노출

Table 11. Standard deviation of subtraction image made from images taken with Sens-A-Ray system according to exposure time

	0.06s	0.1s	0.16s	0.2s	0.3s	0.4s	0.5s	0.6s	0.8s	1.0s
1	16.66	18.29	2.88	21.84	21.20	23.96	26.14	25.13	26.50	24.90
2	17.41	18.09	18.79	20.82	21.46	24.66	22.42	25.06	25.50	24.23
3	15.41	17.47	19.91	20.50	23.29	22.95	23.61	24.49	25.05	24.57
4	18.90	18.40	20.10	21.91	23.20	24.87	23.80	24.73	25.93	23.33
AVG	17.10	18.06	19.92	21.27	22.29	24.11	23.99	24.85	25.75	24.26
SD	1.46	0.42	0.86	0.71	1.11	0.87	1.56	0.30	0.62	0.68

범위가 더 좁다고 하였다. 또한 Nelvig등⁸⁾도 Sens-A-Ray 시스템이 기존의 E-speed의 구내 필름보다 훨씬 낮은 노출시간으로 상을 형성한다고 하였다. Sens-A-Ray 시스템을 D-speed, E-speed의 구내 필름과 비교한 McDonnell과 Price³²⁾는 E-speed 구내 필름보다 3배정도 빠르다고 보고하였다. 본 연구에서는 Sens-A-Ray 시스템의 영상 회색도를 E-speed, E-speed plus 구내 필름의 흑화도와 McDonnell과 Price의 방법으로 비교했을 때 아주 낮은 노출시간을 제외한 노출시간에서 Sens-A-Ray 시스템이 E-speed, E-speed plus 구내 필름보다 빠른 것으로 나타났으며, 또한 전체적으로 E-speed plus 구내 필름은 E-speed 구내 필름보다 빠른 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 E-speed plus 구내 필름은 Kodak사에서 1994년 개발한 것으로, D-speed 필름보다 감광도가 2배 정도 빠르나, 대조도가 다소 낮은 E-speed 구내 필름을 보완하여 새로운 감광 유제 기술(tubulargrain emulsion)로 만든 필름이다. Thunty등³⁴⁾과 Ludlow등²⁹⁾에 따르면, E-speed plus 구내 필름은 E-speed 구내 필름보다 빠르며, D-speed 필름과 유사한 높은 대조도를 보이고, 높은 흑화도에서도 빠른 감도를 유지한다고 보고하였다. 본 연구에서 E-speed plus 구내 필름은 E-speed 구내 필름보다 빠른 것으로 나타났으며, Sens-A-Ray 시스템과 E-speed plus 구내 필름의 차이는 전체적으로는 통계적 유의성이 없었으나, 0.2초까지의 낮은 노출시간을 제외한 경우에는 Sens-A-Ray 시스템이 E-speed plus 구내 필름보다 감광도가 빠름을 볼 수 있었다. 또한 Sens-A-Ray 시스템으로 얻은 영상(S군)에서 알루미늄 step wedge의 각 step의 회색도의 표준편차는 E-speed plus 구내 필름, E-speed 구내 필름으로 얻은 영상(E, EP군)에서 알루미늄 step wedge의 각 step의 회색도의 표준편차보다 낮아 Sens-A-Ray 시스템으로 보다 일관성 있는 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

McDonnell과 Price³²⁾는 Sens-A-Ray 시스템의 대조도에 관해 낮은 노출시간에서는 D-speed 구내 필름, E-speed 구내 필름보다 더 높은 대조도를 보이고, 높은 노출시간에서 D-speed 구내

필름과 비슷한 대조도를 보인다고 하였다. 본 연구에서도 Sens-A-Ray 시스템으로 얻은 영상(S군)이 E-speed 구내 필름, E-speed plus 구내 필름(E군, EP군)보다 높은 영상 대조도를 보였으며, EP군은 E군보다 영상 대조도가 높았다. 또한 노출시간이 증가함에 따라 S군은 영상 대조도가 감소하는 경향이 있었고, E군, EP군은 노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 증가하는 경향이 있어, 높은 노출시간(0.8초에서 1.0초)에서 각 군이 비슷한 대조도를 보였다.

한편 직접 디지털 방사선 촬영시스템은 필름보다 다소 낮은 해상도가 단점으로 지적되고 있는데, 본 연구에서는 10 line pairs/mm 이상의 해상도를 보이는 Sens-A-Ray 시스템이 사용되었다.

1994년 Farman 등¹⁾에 따르면, RadioVisioGraphy는 9 line pairs/mm, Flashdent는 6 line pairs/mm, Sens-A-Ray는 10 line pairs/mm, Visualix는 8 line pairs/mm의 해상도를 보인다고 하였다. 그에 반해 기존의 구내 필름은 16 line pairs/mm 이나, 사람의 눈은 4-6 line pairs/mm 밖에 식별하지 못하기 때문에 다소 낮은 해상도의 직접 디지털 방사선 촬영시스템의 CCD센서는 진단에 별 영향을 주지 않는 충분한 해상도를 가진다고 할 수 있다³⁾. 영상의 질에 영향을 끼칠 수 있는 센서 노이즈에 관한 Wenzel³¹⁾의 연구에 의하면 센서의 감광도가 빠를수록 노이즈가 심해, 가장 빠른 Visualix가 가장 노이즈가 심하고, Sens-A-Ray, RadioVisioGraphy의 순이었다고 하였으며, 세가지 시스템이 모두 노출시간이 증가함에 따라 노이즈가 증가한다고 하였다. 또한 Sens-A-Ray 시스템의 표준편차는 0.2초, 0.46초, 0.6초에서 각각 2.90, 3.98, 3.96로 보고되었다. 본 연구에서는 역시 노출시간이 증가함에 따라 센서 노이즈가 증가하는 것을 관찰할 수 있었으나, 표준 편차의 값이 0.2초에서 21.27, 0.4초에서 24.11, 0.6초에서 24.85로 훨씬 높은 값을 보여 주었다. 이는 Wenzel³¹⁾의 연구에서는 치과 방사선 영상처리를 위해 특별히 고안된 프로그램이, 본 연구에서는 매킨토시 컴퓨터에서 실행되는 "NIH Image" 프로그램이 공제술을 수행하는데 사용되어 다른 알고리즘이 이용되었기 때문으로 사료되었다.

1994년, Sanderink 등³⁵⁾은 네가지 종류의 직접 디지털 방사선 촬영시스템과 Ektaspeed 필름의 영상의 질을 근관 file의 판독능의 측면에서 평가하였다. Kodak Ektaspeed 필름은 10번, 15번 근관 file의 판독에 적절한 결과를 보였고, 직접 디지털 방사선 촬영시스템 중 RVG와 Sens-A-Ray가 15번 근관 file의 판독에 Kodak Ektaspeed 필름과 유사한 결과를 보였으며, 10번 근관 file의 판독에는 모든 직접 디지털 방사선 촬영시스템이 Ektaspeed 필름보다 현저히 떨어지는 결과를 보여 주었다. 본 연구에서는 15번 근관 file의 판독능을 평가하였는데, Sens-A-Ray 시스템으로 얻은 영상(S군)과 E-speed 구내필름, E-speed plus 구내필름(E군, EP군)에서 공히 적절한 노출시간에서 최대 판독능을 보였다. 최대 판독능을 보이는 최저 노출시간은 S군, EP군에서 0.5초, E군에서 0.6초로, S군, EP군은 E군보다 낮은 노출시간에서 최대 판독능을 보여, 15번 근관 file의 판독을 할때 Sens-A-Ray 시스템으로 촬영시 E-speed 구내필름으로 촬영할 경우보다 노출시간을 감소시킬수 있으리라 사료된다. 그러나 E-speed Plus 구내필름으로 촬영할 경우와는 별 차이가 없음을 볼수 있었다.

V. 결 론

직접 디지털 방사선 촬영시스템 중 하나인 Sens-A-Ray 시스템(Regam Medical Systems, Sundsvall, Sweden)을 Ektaspeed, Ektaspeed Plus 필름을 이용한 방사선 사진용 디지털 영상 시스템과 영상의 흑화도, 대조도 및 판독능의 측면에서 비교하고, 센서 노이즈를 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 각 군 모두 노출시간이 증가함에 따라 평균 회색도 및 흑화도가 증가하는 것을 볼수 있으며, 낮은 노출시간을 제외한 군에서 S군은 E군, EP군보다 평균 회색도가 높았다($p < 0.01$).
2. S군은 노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 감소하는 경향이 있었고, E군, EP군은 노출시간이 증가함에 따라 영상 대조도가 증가하는 경향이 있었다. 높은 노출시간을 제외한

군에서 S군은 E군, EP군보다 영상 대조도가 높았다($p < 0.01$).

3. 각 군 모두 적절한 노출시간에서 최대 판독능 1을 보였다. 최대 판독능 1을 보이는 최저 노출시간은 S군, EP군에서 0.5초, E군에서 0.6초로 S군, EP군은 E군보다 낮은 노출시간에서 최대 판독능 1을 보였다.
4. Sens-A-Ray system 의 센서 노이즈는 전반적으로 노출시간이 증가함에 따라 증가하는 것을 볼수 있었다.

이상의 연구결과로 미루어볼때 직접 디지털 방사선 촬영시스템 중 하나인 Sens-A-Ray 시스템은 너무 낮거나, 높은 노출시간을 제외한 노출시간군에서 기존의 Ektaspeed, Ektaspeed Plus 필름보다 높은 흑화도와 대조도의, 동등한 판독능을 보이는 영상을 제공할수 있었다.

REFERENCES

1. Farman AG, Scarfe WC : Pixel perception and voxel vision: constructs for a new paradigm in maxillofacial imaging. Dentomaxillofac Radiol, 23:5-9, 1994
2. Goaz PW, White SC : Oral radiology; Principles and interpretation. 3rd Ed. Mosby Co, pp 272-275, 1994
3. Miles DA : Advances in dental imaging: Imaging using solid-state detectors. Dental Clinics of North America, 37(4):531-540, 1993
4. Mouyen F, Benz C, Sonnabend E, Lodter JP : Presentation and physical evaluation of Radio-VisioGraphy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 68:238-242, 1989
5. Horner K, Shearer AC, Walker A, Wilson NHF : Radiovisiography; An initial evaluation. Br Dent J ,168:244-248, 1990
6. Miles DA, Van Dis ML, Peterson MGE: Information gain at reduced exposure time using a prototype video-enhancement device. Dentomaxillofac Radiol, 18:100-104, 1989
7. Walker A, Horner K, Czajka J, Shearer AC, Wilson NHF: Quantitative assessment of a new dental imaging system. Br J Radiol, 64:529-536, 1991

8. Nelvig P, Wing K, Welander U : Sens-A-Ray. A new system for direct digital intraoral radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 74: 818-823, 1992
9. Molteni R : Direct digital dental x-ray imaging with Visualix/Vixa. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 76:235-243, 1993
10. 佐木 武仁, 大林 尚人: 畫像 診斷法의 最近의 技術的 進歩.- 디지털 라지오그래피. 東京都 齒科 醫師會 雜誌. 39:757-768, 1991.
11. Fujita M, Kodera Y, Ogawa M, Tanimoto K, Sunayashiki T, Wada T, Doi K : Digital image processing of dentomaxillofacial radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 64:485-493, 1987
12. Fujita M, Kodera Y, Ogawa M, Wada T, Doi K : Digital image processing of periapical radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 65: 490-494, 1988
13. Gröndahl H, Gröndahl K, Webber RL : A digital subtraction technique for dental radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 55:96-102, 1983
14. Gröndahl H, Gröndahl K : Subtraction radiography for the diagnosis of periodontal bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 55:208-213, 1983
15. Jeffcoat MK, Page R, Reddy M, Wannawisute A, Waite P : Use of digital radiography to demonstrate the potential of naproxen as an adjunct in the treatment of rapidly progressive periodontitis. *J Periodontal Res*, 26:415-421, 1991
16. Martin RB, Papamichos T, Dannucci GA : Linear Calibration of Radiographic Mineral Density Using Video-Digitizing Methods. *Calcif Tissue Int*, 47:82-91, 1990
17. Nicopoulou-Karayianni K, Bragger U, Burgin W, Nielsen PM, Lang NP: Diagnosis of alveolar bone changes with digital subtraction images and conventional radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 72:251-256, 1991
18. Ruttimann UE, Webber RL : Volumetry of localized bone lesions by subtraction radiography. *J Periodontal Res*, 22:215-216, 1987
19. Hildebolt CF, Vanier MW, Pilgram TK, Shrout MK : Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 70:661-668, 1990
20. 조 형 회, 김 은 경: 방사선사진용 디지털 영상시스템의 정량적 평가에 관한 실험적 연구. 대한 구강악안면 방사선학회지. 24:137-150, 1994
21. 유 영 선, 이 상 래 : Videodensitometry법을 이용한 X선 사진의 흑화도와 대조도에 관한 연구. 대한 구강악안면 방사선학회지. 22:293-303. 1992
22. Nummikoski PV, Martinez TS, Matteson SR, McDavid WD, Dove SB : Digital subtraction radiography in artificial recurrent caries detection. *Dentomaxillofac Radiol*, 21:59-64, 1992
23. Braegger U, Pasquali L, Weber H, Kornman KS: Computer-assisted densitometric image analysis (CADIA) for the assessment of alveolar bone density changes in furcations. *J Clin Periodontol*, 16:46-52, 1989
24. Engelke W, Ruttimann UE, Tsuchimochi M, Bacher JD : An experimental study of new diagnostic methods for the examination of osseous lesions in the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 73:348-349, 1992
25. Ludlow JB, Soltmann R, Tyndal D, Gray JJ : Accuracy of quantification of mandibular condyle displacement in digitally subtracted linear tomography. *Dentomaxillofac Radiol*, 21:81-89, 1992
26. Ludlow JB, Soltmann R, Tyndall D, Gray JJ : Digital subtracted linear tomograms : Three techniques for measuring condylar displacement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 72:614-620, 1991
27. Walker A, Horner K, Czajka J , Shearer AC, Wilson NHF : Quantitative assessment of a new dental imaging system. *British J Radiography*, 64:529-36, 1991
28. Webber RL, Ruttimann UE, Heaven TJ : Calibration errors in digital subtraction radiography. *J Periodontal Res*, 25:268-275, 1990
29. Ludlow JB, Platin E : Densitometric comparisons of Ultra-speed, Ektaspeed, and Ektaspeed Plus intraoral films for two processing conditions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 79:105-113, 1995
30. Price C : The effect of beam quality and optical density on image quality in dental radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 62:580-588, 1986

31. Wenzel, A : Sensor noise in indirect digital imaging(the RadioVisioGraphy, Sens-A-Ray, and Visualix/Vixa systems) evaluated by subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 77:70-74, 1994
32. McDonnell D, Price C : An evaluation of the Sens-A-Ray digital dental imaging system. *Dentomaxillofac Radiol*, 22:121-126, 1993
33. Welander U, Nelvig P, Tronje G, McDavid WD, Dove SB, Morner AC, 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
34. Thunty KH, Weinberg R : Sensitometric comparison of Kodak Ektaspeed Plus, Ektaspeed, and Ultra-speed dental films. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 79:114-116, 1995
35. Sanderink GCH, Huiskens R, Van der Stelt PF, Welander US, Stheeman SE : Image quality of direct digital intraoral x-ray sensors in assessing root canal length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 78:125-132, 1994

-ABSTRACT-

COMPARATIVE STUDY OF DIRECT DIGITAL RADIOGRAPHIC SYSTEM WITH FILM-BASED DIGITAL IMAGING SYSTEM USING EKTASPEED AND EKTASPEED PLUS FILM

Jung-Joo Do, Eun-Kyung Kim

Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, College of dentistry, Dankook University

The purpose of this investigation was to compare the direct digital radiographic system with film-based digital imaging system using Ektaspeed and Ektaspeed Plus film with respect to image characteristics and detectability and evaluate the sensor noise with the use of subtraction method.

Direct digital radiographic system which used was Sens-A-Ray system(Regam Medical Systems, Sundsvall, Sweden) and film-based digital imaging system was composed of Macintosh II ci computer, high resolution Sony XC-77 CCD camera and intraoral x-ray film(Kodak Ektaspeed film, Kodak Ektaspeed Plus film).

Images were taken by using CCD sensor of Sens-A-Ray system, Ektaspeed film and Ektaspeed Plus film with variable exposure time(0.06s, 0.1s, 0.16s, 0.2s, 0.3s, 0.4s, 0.5s, 0.6s, 0.8s, 1.0s), 5 times at each exposure time. And then ektaspeed films and ektaspeed plus films were digitized using CCD camera. Image groups were divided into 3 groups; Sens-A-Ray group(direct digital radiographic system), Ektaspeed group and Ektaspeed Plus group(film-based digital imaging system) They were assessed by the following three aspects ; image density, image contrast and detectability and sensor noise of Sens-A-Ray system was also evaluated.

The results were as follow :

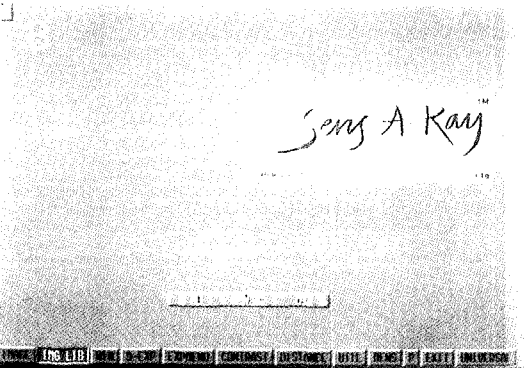
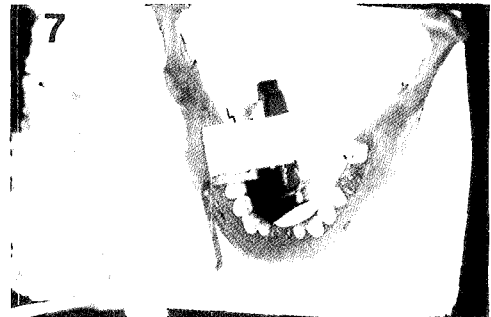
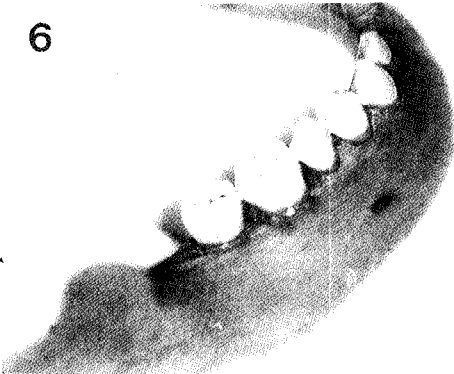
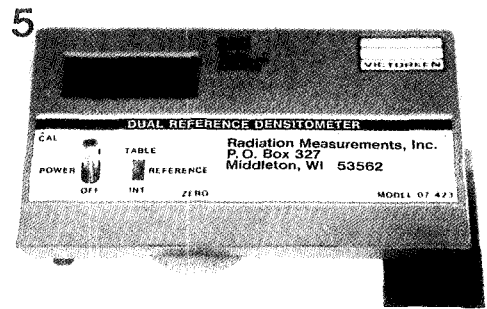
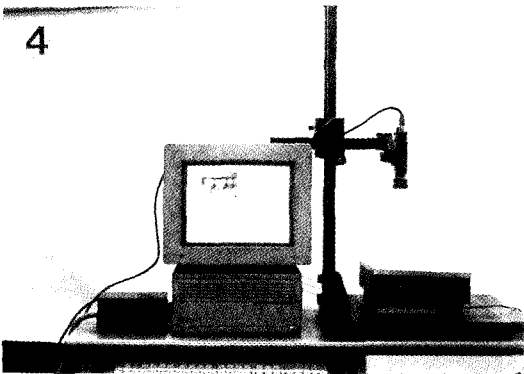
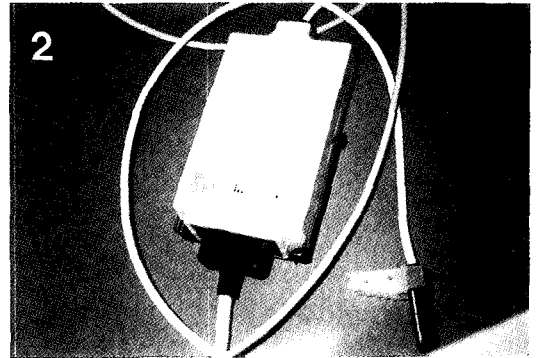
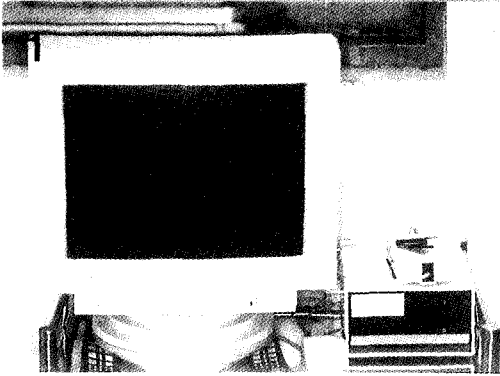
1. S group showed higher density than E , EP group except at the low exposure time($p < 0.01$).
2. S group showed higher contrast than E,EP group except at the high exposure time($p < 0.01$).
3. All groups showed good detectability at the each proper exposure time. Lowest exposure time which shows maximum detectability in S,EP group(0.5s) was lower than that in E group(0.6s).
4. Sensor noise of Sens-A-Ray system generally increased according to exposure time.

On the basis of the above results, it was considered that Sens-A-Ray system could show higher speed, higher contrast than Ektaspeed, Ektaspeed Plus film except at too high and low exposure time and the same detectability as the conventional intraoral film.

사진부도 설명

- Figure 1.** Sens-A-Ray system
- Figure 2.** Bufferbox and CCD intraoral sensor of Sens-A-Ray system
- Figure 4.** Film-based digital imaging system which was composed of Macintosh IICI computer, Sony XC-77 CCD camera and QuickCapture frame grabber board
- Figure 5.** Dual reference densitometer and Kodak photographic step tablet no.3
- Figure 6.** Number 15 file was inserted into the mesial root canal of the first molar of dry human mandible
- Figure 7.** XCP film holder with CCD intraoral sensor of Sens-A-Ray system
- Figure 8.** Initial monitor display of Sens-A-Ray system
- Figure 9.** Images obtained with CCD sensor of Sens-A-Ray system
- Figure 10.** Periapical film image obtained with Ektaspeed film
- Figure 11.** Digitized images with film-based digital imaging system
- Figure 16.** Subtracted image made between image at each exposure time 0.2(A), 0.4(B), 0.6(C) and 0.8 seconds(D)

논문사진부도①



논문사진부도②

