

Videodensitometry법을 이용한 X선사진의 흑화도와 대조도에 관한 연구

경희대학교 치과대학 치과방사선학교실

유영선 · 이상래

목 차

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

I. 서 론

진단방사선에서 가장 기본이 되는 것은 X선 사진상으로서 이 X선사진상으로부터 진단정보를 얻기 위해서는 이의 명확도가 우수해야 하며, 이 명확도는 X선사진의 대조도와 상질에 의하여 결정된다. X선촬영목적부위와 주위조직간의 흑화도의 차이 또는 대조도가 적절할 경우에 X선사진의 판독이 가능하므로 X선사진의 흑화도와 대조도는 관전압과 X선조사시간을 변화시켜서 조절하는 것이 필요하다¹²⁾.

흑화도는 $D = \log I_0/I$ (I_0 : 입사광의 강도, I : 필름을 투과하는 투과광의 강도)로 정의되며, 관전압, 관전류, X선조사시간등의 X선조사요인과 피사체의 두께와 밀도등의 피사체요인, X선사진상의 형성과 관련되는 요인등에 의하여 결정된다.^{1 3)}

또한 X선사진의 대조도는 X선사진상의 각부위의 흑화도 차이로서, 필름대조도, 피사체대조도, 포그와 산란선등에 의하여 많은 영향을 받는다²³⁾. 이들 중 필름대조도는 필름의 감응력에 따라 달라지며 필름의 특성곡선, 흑화도, 증감지의 사용여부, 현상과정에 의하여 지배된다²⁵⁾. 피사체대조도는 피사체의 물리적 성질 뿐만 아니라 관전압에 의하여 많은 영향을 받게 되는데, Fitzgerald⁴⁾는 관전압이 높아질수록 X선사진의 대조도가 낮아져서 연조직과 경조직 모두를 관찰하기가 용이하므로 X선진단을 위해서는 100 kVp이상의 고관전압의 사용을 권고하였고, Wuehrmann과 Monacelli⁶⁾, Wuehrmann과 Curby 등⁷⁾은 30-110kVp의 관전압으로 촬영한 X선사진상을 비교·평가한 결과, 90-95kVp의 관전압에서는 연조직과 경조직이 잘 판독된다고 하였으며, Manson-Hing^{8,9)}은 법랑질과 상아질의 적절한 대조도와 관용도를 얻기 위해서는 65-75kVp의 관전압이 적당하며, 치조백선을 X선사진에서 관찰하기 위한 관전압은 60-75kVp가 바람직하다고 보고하였다. 한편 Webber 등¹⁰⁾은 X선조사조건을 다양하게 하여 촬영한 결과, 저관전압의 경우가 고관전압의 경우보다 오진율이 감소된다고 하였다.

일반적으로 X선사진의 흑화도는 관전압과 비례관계를 이루는데, Morgan¹¹⁾은 흑화도가 적절한 범위내에서 증가하면 대조도도 증가된다고

하였으며, Thunthy와 Manson-Hing¹²⁾은 흑화도가 일정하면 X선의 조사시간이 증가됨에 따라 X선사진의 대조도도 증가된다고 보고한 바 있다.

한편 X선사진의 흑화도와 대조도의 평가에는 육안적인 관찰¹³⁾, 광학계 흑화도측정기(photodensitometer)¹⁴⁾등이 이용되어 왔으나, 최근에는 비디오사진기 또는 드럼스캐너등을 입력장치로 하여 컴퓨터로 제어하는 microdensitometer가 많이 이용되고 있다^{15,16)}.

이와같이 X선사진상의 형성에 관련되는 X선조사요인 중 관전압과 X선조사시간은 X선사진의 흑화도와 대조도를 직접 지배하므로 이들을 적절히 조절함으로써 환자의 방사선 피폭을 감소시킬 수 있으며, 치과의사의 판독능도 향상시킬 수 있으므로 연구의 대상이 되어 왔으나, videodensitometry를 이용한 흑화도와 대조도의 연구는 희소하다고 생각된다.

이에 저자는 X선조사요인 중 관전압을 60-90 kVp로, X선조사시간을 5-60impulse로 하여 촬영한 X선사진의 흑화도와 대조도를 videodensitometry를 이용하여 측정·비교하므로써, 관전압과 X선조사시간의 변화가 X선사진의 흑화도와 대조도에 미치는 영향을 평가하고자 본 연구를 시행하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

1) X선사진촬영 및 현상

피사체는 치아가 견고하게 식립되어 있는 인체 건조하악골이었으며, 동일위치가 촬영되도록 하악구치부를 아크릴릭레진으로 인상채득하여 교합제를 제작한 다음, 1계단의 두께가 2mm인 10계단의 aluminum step wedge와 필름유지기구(Rinn Co., U.S.A.)를 교합제에 부착시켜 평행법으로 촬영하였다(Fig. 1).

또한 동일한 유제번호를 갖는 감광도 E군의 치근단필름(Ektaspeed EP-21, Kodak Co., U.S.A.)을 Flexomatic 90 X선촬영장치(S.S.White Co., U.S.A.)로 촬영하여, DENT-X 9000 자동현상기(AFP imaging Co., U.S.A.)로 현상하였는데, 현

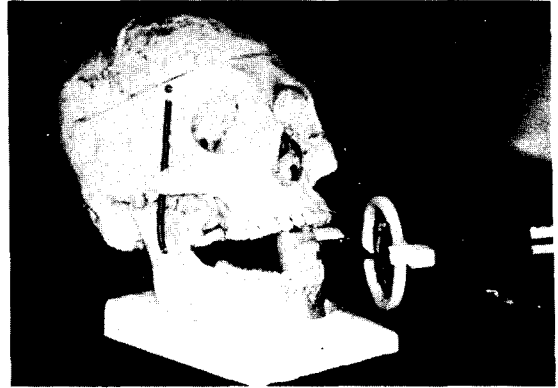


Fig. 1. Mounted dried human mandible with self-curing acrylic resin bite block attached with aluminum step wedge.

상조건은 80.6°F, 4.5분이었으며, Konica현상액(Konica Co., Japan)을 사용하였다.

2) videodensitometry

videodensitometry에 이용된 컴퓨터는 IBM-PC/16bit-AT 호환기종으로서, 512×480의 해상도와 64단계의 계조도를 지원하는 천연색 모니터(MultiSync 3D, NEC, Japan)와 VGA board(Optima MEGA, ARA Int. Co., Korea)를 사용하였고, 표준 NTSC방식의 비디오 사진기(CCD-TR55, Sony Co., Japan)를 이용하여 X선사진을 입력하였다. 비디오사진기로 입력된 X선사진의 비디오영상을 512×480의 해상도와 256단계의 계조도를 지원하는 영상처리장치인 Sylvia Image Capture Board (Jovian Logic Co., U.S.A.)를 이용하여 각각의 X선사진을 307,216byte의 디지털신호로 변환시키고, 이를 컴퓨터의 보조 기억장치에 저장시켰다. 저장된 X선사진의 디지털신호의 영상 재구성과 관심영역(region of interest)의 흑화도 측정에는 C언어로 작성된 프로그램 ITJ/XIV를 이용하였다. 또한 모니터상에 X선사진의 디지털영상을 재현하여 정사격형의 관심영역을 구성한 다음, 관심영역내의 화소들의 평균 계조도를 완전히 검은 것은 0, 흰 것은 255로 정의하여 X선사진의 흑화도를 256단계의 계조도로 측정하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 흑화도, 피사체대조도, X선사진대조도 및 X선사진상을 평가하기 위하여 60, 65, 70, 80, 90kVp의 관전압(이하 5개군의 관전압)의 각각에 5, 6, 8, 12, 15, 16, 24, 30, 38, 48, 60impulse의 X선조사시간(이하 11개군의 X선조사시간)으로 X선사진을 얻었다.

1) X선사진의 흑화도의 측정

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영한 X선사진을 디지털신호로 변환시킨 디지털영상에서 정사각형의 관심여역을 작성하고 aluminum step sedge의 제1계단에서 제10계단까지 각 계단의 중심부위를 10회 반복하여 이의 계조도를 측정하였으며, 측정된 계조도는 아래와 같은 Martin의 대수방정식¹⁷⁾에 의하여 흑화도로 변환시켰다.

$$D = \frac{-a \cdot V_{\max}}{\ln\left(\frac{V_{\max}V_o - V_gV_o}{V_g(V_{\max} - V_o)}\right)}$$

D : density

V_{\max} : maximum gray level(256)

V_o : minimal gray level(1)

V_g : gray level of region of interest

a : constant(-0.04688)

2) 피사체대조도의 비교·평가

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진의 aluminum step wedge 제1단계에서 제10단계까지의 각 계단의 흑화도 측정치중 유사한 흑화도를 보이는 aluminum step wedge 제4계단의 흑화도를 피사체대조의 기준치로 설정하였으며, 기준치에서 얻어진 관전압과 조사시간에 해당되는 aluminum step wedge 각 계단의 흑화도를 측정한 후 각 계단간의 피사체대조도를 비교·평가하였다.

3) X선사진 대조도의 평가

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영한 X선사진상에서, 가장 높은 방사

선투과상을 보이는 2mm두께의 aluminum step wedge의 흑화도와 가장 낮은 방사선투과상을 보이는 20mm두께의 aluminum step wedge의 흑화도를 대상으로 하여 아래의 Price의 공식¹⁸⁾으로 대조도를 산출하여 비교·평가하였다.

$$C = \frac{(D_1 - D_2)}{1/2(D_1 + D_2)}$$

C : relative image contrast

D_1 : density value of higher-density zone

D_2 : density value of lower-density zone

4) X선사진상의 평가

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진상을 평가하기 위하여 아래에 설정된 판독항목과 점수부여 기준에 의하여 3명의 치과방사선학 전공의들이 판독하였으며, 이때 얻은 점수를 평균치로 산출하였다.

(1) 판독항목

가. 치조백선

나. 치아우식증

다. 치근관

라. 법랑상아경계부

마. 골소주

바. 치간치조골의 흡수정도

(2) 점수부여 기준

1: 판독항목이 명료하게 관찰될 경우

2: 판독항목이 비교적 명료하게 관찰될 경우

3: 판독항목이 희미하게 관찰될 경우

4: 판독항목의 관찰이 어려운 경우

III. 연구성적

1) X선사진의 흑화도

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진의 디지털영상에서 aluminum step wedge 각 계단의 계조도를 측정한 후, Martin의 대수방정식¹⁷⁾을 이용하여 흑화도로 변환시킨 결과, aluminum step wedge

제4단계에서 60kVp-24impulse일때 1.86, 65kVp-19impulse일 때 1.85, 70kVp-15impulse일때 1.85, 80kVp-8impulse일때 1.85, 90kVp-6impulse일때 1.84로 비교적 유사한 흑화도를 나타내었다(Table 1). 또한 관전압과 X선조사시간이 증가됨에 따라 X선사진의 흑화도가 증가되었고, X선사진의 흑화도는 관전압과 X선조사시간에 비례하였다 (Fig. 2).

2) 피사체의 대조도

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진의 피사체대조도의 비교를 위한 기준치는 관전압과 조사시간이 60kVp일때 24impulse, 65kVp일때 19impulse, 70kVp일때 15impulse, 80kVp일때 8impulse, 90kVp일때 6impulse이었다(Table 2). 이들 각각의 관전압과 조사시간에 해당되는 aluminum step wedge 각 계단의 흑화도를 측정된 결과, 관전압 60kVp일때 aluminum step wedge의 두께가 2mm인 경우가 2.97, 10mm인 경우가 1.72, 20mm인 경우가 1.39로서 aluminum step wedge 두께가 얇을수록 흑화도가 높았다(Table 3, Fig. 3).

피사체대조도는 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서 증가되었고, aluminum step wedge의 두께가 두꺼운 부분에서 감소되었다. 또한 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서는 고관전압보다 저관전압에서 피사체대

조도가 증가되었다.(Table 4).

3) X선사진 대조도의 평가

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진의 디지털영상에서 2mm두께의 aluminum step wedge의 흑화도와 20mm 두께의 aluminum step wedge의 흑화도에서 X선사진의 대조도를 산출한 결과, X선사진의 흑화도가 다른 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 대조도가 감소되었고, 관전압이 낮으면 X선조사시간이 길수록, 관전압이 높으면 X선조사시간이 짧을수록 X선사진의 대조도가 증가되었다(Table 5, Fig. 4).

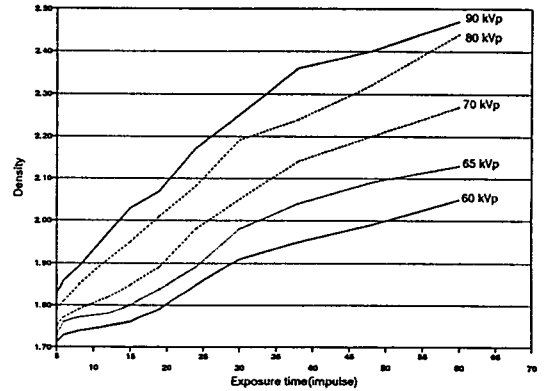


Fig. 2. Radiographic density of 4th step(8mm thick) of aluminum step wedge according to kilovoltage and exposure time.

Table 1. Radiographic density of 4th step(8mm thick) of aluminum step wedge according to kilovoltage and exposure time

kVp	ET*	5	6	8	12	15	19	24	30	38	48	60
60	G	194.0	190.4	189.1	185.9	184.2	179.8	167.5	156.6	148.1	141.1	130.4
	D	(1.71)	(1.73)	(1.74)	(1.75)	(1.76)	(1.79)	(1.86)	(1.91)	(1.95)	(1.99)	(2.05)
65	G	189.9	185.7	183.5	180.5	170.2	166.1	146.3	142.3	132.5	130.2	121.2
	D	(1.73)	(1.76)	(1.77)	(1.78)	(1.80)	(1.85)	(1.89)	(1.98)	(2.04)	(2.09)	(2.13)
70	G	187.8	183.9	180.3	170.2	164.3	159.3	142.9	138.5	121.7	109.9	96.0
	D	(1.75)	(1.77)	(1.79)	(1.82)	(1.85)	(1.89)	(1.98)	(2.05)	(2.14)	(2.20)	(2.27)
80	G	178.8	175.2	166.9	152.9	149.4	131.0	124.9	123.8	100.2	82.4	76.5
	D	(1.79)	(1.81)	(1.85)	(1.91)	(1.95)	(2.01)	(2.08)	(2.19)	(2.24)	(2.32)	(2.44)
90	G	167.2	166.3	159.1	139.8	130.9	126.2	110.9	99.32	85.56	80.3	73.4
	D	(1.83)	(1.84)	(1.89)	(1.97)	(2.03)	(2.07)	(2.17)	(2.25)	(2.36)	(2.40)	(2.47)

ET* : exposure time(impulse), G : gray level, D : radiographic density

Table 2. Kilovoltage and exposure time to produces similar density of 4th step (8mm thick) of aluminum step wedge

kVp	exposure time (impulse)	Density
60	24	1.86
65	19	1.85
70	15	1.85
80	8	1.85
90	6	1.84

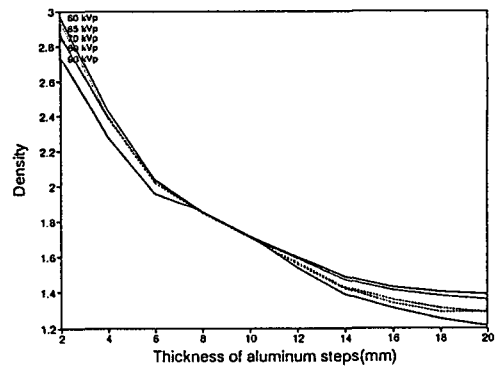


Fig. 3. Radiographic density of aluminum step wedge according to thickness(mm).

Table 3. Radiographic density of aluminum step wedge according to thickness(mm)

kVp	ET*	thickness of aluminum step(mm)									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
60	24	2.97	2.43	2.04	1.86	1.72	1.60	1.49	1.43	1.40	1.39
65	19	2.94	2.40	2.03	1.85	1.71	1.59	1.47	1.41	1.38	1.36
70	15	2.87	2.39	2.02	1.85	1.71	1.57	1.43	1.36	1.31	1.29
80	8	2.86	2.39	2.02	1.85	1.71	1.56	1.42	1.34	1.29	1.29
90	6	2.74	2.28	1.96	1.86	1.72	1.54	1.39	1.31	1.25	1.21

ET* : exposure time(impulse)

Table 4. Difference of radiographic density between individual aluminum steps

kVp	ET*	difference between individual aluminum steps									
		1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	1-10
60	24	0.54	0.39	0.18	0.14	0.12	0.11	0.06	0.03	0.01	1.58
65	19	0.54	0.37	0.18	0.14	0.12	0.12	0.06	0.03	0.02	1.58
70	15	0.48	0.37	0.17	0.14	0.14	0.14	0.07	0.05	0.02	1.58
80	8	0.47	0.37	0.17	0.14	0.15	0.14	0.08	0.06	0.03	1.57
90	6	0.36	0.32	0.10	0.14	0.18	0.15	0.08	0.06	0.04	1.53

ET* : exposure time(impulse)

Table 5. Relative Image contrast at individual kilovoltage and exposure time in non-constant radiographic density

kVp	ET*	5	6	8	12	15	19	24	30	38	48	60
60	24	0.34	0.38	0.40	0.46	0.52	0.57	0.72	0.78	1.01	1.12	1.28
65	19	0.42	0.46	0.49	0.53	0.61	0.75	0.82	1.08	1.11	1.23	1.37
70	15	0.53	0.57	0.60	0.65	0.76	0.89	0.95	1.29	1.35	1.42	1.49
80	8	0.92	0.79	0.76	0.69	0.63	0.55	0.45	0.29	0.22	0.09	1.52
90	6	0.81	0.77	0.69	0.61	0.53	0.47	0.40	0.32	0.19	0.11	0.07

ET* : exposure time(impulse)

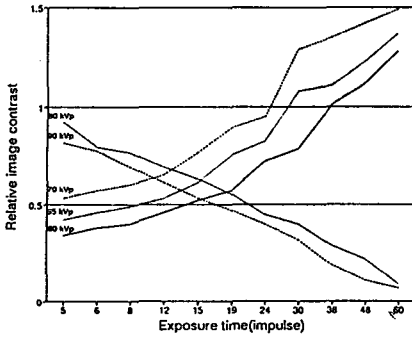


Fig. 4. Relative image contrast at individual kilovoltage and exposure time in non-constant radiographic density.

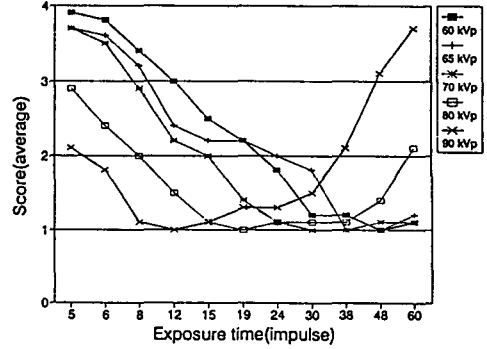


Fig. 5. Mean values of readability of radiograph by score rating at individual kilovoltage and exposure time.

Table 6. Evaluation of readability of radiograph by score rating at individual kilovoltage and exposure time

kVp	ET	Criteria							kVp	ET	Criteria						
		LD	DC	RC	DEJ	TB	ABR	Mean			LD	DC	RC	DEJ	TB	ABR	Mean
60	5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.6	3.9	80	5	3.0	3.0	3.0	3.3	3.0	2.0	2.9
	6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.6	3.8		6	2.6	2.6	2.6	2.3	2.6	1.6	2.4
	8	3.3	3.7	3.3	3.7	3.7	2.6	3.4		8	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	2.0
	12	3.3	3.3	3.0	3.0	3.3	2.0	3.0		12	1.6	1.3	2.0	1.6	1.3	1.3	1.5
	15	2.6	3.0	2.3	2.3	3.0	1.6	2.5		15	1.3	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.1
	19	2.6	2.3	2.3	2.0	2.6	1.6	2.2		19*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	24	2.0	1.6	2.0	2.0	2.0	1.0	1.8		24	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.1
	30	1.3	1.3	1.3	1.0	1.3	1.0	1.2		30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.1
	38	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.2		38	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.1
	48*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		48	1.6	1.0	1.0	1.0	1.6	2.3	1.4
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.1	60	2.6	1.6	2.0	1.6	2.0	3.0	2.1		
65	5	3.7	4.0	3.7	4.0	4.0	3.0	3.7	90	5	2.6	2.0	2.3	2.3	2.0	1.3	2.1
	6	3.7	3.7	3.7	4.0	4.0	2.6	3.6		6	2.0	2.0	2.0	1.6	2.0	1.0	1.8
	8	3.0	3.7	3.3	3.7	3.3	2.3	3.2		8	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.1
	12	2.0	3.0	2.3	2.6	2.6	1.6	2.4		12*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	15	2.0	2.6	2.3	2.6	2.0	1.6	2.2		15	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.1
	19	2.0	2.6	2.3	2.6	2.0	1.6	2.2		19	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	2.0	1.3
	24	2.0	2.6	2.3	1.6	2.0	1.6	2.0		24	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	2.0	1.3
	30	2.0	2.3	1.3	1.6	2.0	1.3	1.8		30	1.6	1.3	1.0	1.0	1.3	2.6	1.5
	38*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		38	2.6	2.3	1.3	1.3	2.0	3.0	2.1
	48	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		48	4.0	3.0	2.3	2.3	3.0	4.0	3.1
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.2	60	4.0	4.0	3.3	3.0	4.0	4.0	3.7		
70	5	3.7	4.0	3.7	4.0	4.0	3.0	3.7	DEJ : dentinoenamel junction								
	6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	2.6	3.5	RC : root canal								
	8	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	2.3	2.9	LD : alveolar lamina dura								
	12	2.3	2.3	2.6	2.3	2.3	1.6	2.2	TB : trabecular bone								
	15	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.6	2.0	DC : dental caries								
	19	1.6	1.6	1.6	1.0	1.6	1.0	1.4	ABR : degree of alveolar bone resorption								
	24	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.0	1.1									
	30*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	38	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	48	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.1									
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.1										

* : exposure time of excellent readability

4) X선사진상의 판독능 평가

5개군의 관전압 각각에 11개군의 X선조사시간으로 촬영하여 얻은 X선사진을 3명의 치과방사선학 전공의들이 설정된 판독항목과 점수부여기준에 따라 판독하여 얻은 점수를 평균치로 산출하여 판독능을 비교한 결과, 60kVp-48impulse, 65kVp-38impulse, 70kVp-30impulse, 80kVp-19impulse, 90kVp-12impulse일때 모든 판독항목들이 명료하게 관찰되었다. 또한 X선조사시간이 짧은 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진에서 각 판독항목의 판독능이 양호하여졌으나, X선조사시간이 길 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 판독능이 불량하여졌다(Table 6, Fig. 5).

IV. 총괄 및 고안

방사선조사에 의한 환자의 위해작용을 최소화하면서 필요한 진단정보를 얻기 위해서는, 최소의 X선조사로 우수한 X선사진상을 얻는 것이 필요하며, 이를 위하여 X선사진의 흑화도, 대조도, 관용도, 선예도, 해상력등의 X선사진상의 특성을 평가하는 것은 매우 중요하다.

X선사진상을 형성하는데에 관여하는 요인들로는 X선속요인, 피사체요인, X선상형성요인들이 있으며, 이 중 X선속요인으로는 관전압, 관전류, X선조사시간, 관구와 필름간거리, 초점의 크기, 시준, 여과, 촬영장치의 효율성등이 있으며, 피사체요인들로는 피사체의 두께와 밀도가 있고, X선사진상형성요인들로는 산란방사선의 감소, 필름과 필름보관, 증감지 사용여부, 현상과정등이 있다^{1-4,10)}.

일반적으로 관전압과 X선조사시간이 증가될수록 X선사진의 흑화도는 증가되는데, Hodge 등¹⁰⁾은 흑화도와 관전압간에는 직선적인 비례관계를 보인다고 보고하였다. 본 연구에서, 관전압과 X선조사시간이 증가됨에 따라 X선사진의 계조도가 감소되었는데, 이는 videodensitometry법에서 흑화도의 측정은 관심영역내의 화소들의 평균 계조도를 완전히 검은 것은 0, 흰 것은 255로 정하여 256단계로 나타내었으므로 흑화

도와 계조도가 반비례되기 때문이다. 따라서 측정된 계조도를 Martin의 대수 방정식¹⁷⁾을 이용하여 흑화도로 변환시킨 후 평가한 결과, X선사진의 흑화도는 관전압과 X선조사시간이 증가됨에 따라 증가되는 결과를 얻었다. 또한 피사체의 두께가 두꺼운 경우에는 X선 광자의 흡수가 증가되어 이 결과로 X선사진의 흑화도가 감소되는데, 본 연구에서도 60kVp-24impulse의 X선조사조건으로 촬영한 X선사진에서 aluminum step wedge의 두께가 2mm일때 2.80, 10mm일때 1.64, 20mm일때 1.39로서 aluminum step wedge의 두께가 두꺼울수록 흑화도가 감소되었다. 또한 Fitzgerald²⁰⁾는 10kVp의 관전압을 상승시키면 X선조사시간을 2배로 증가시킨 경우와 근사한 흑화도를 나타내므로 X선사진의 흑화도를 증가시키기 위해서는 X선조사시간을 증가시키기 보다는 관전압을 증가시키는 것이 환자의 방사선 피폭 경감에도 유리하다고 언급하였는데, 본 연구에서도 60kVp-12impulse와 70kVp-5impulse의 조건에서는 aluminum step wedge 제4단계의 흑화도가 1.75로서 Fitzgerald와 유사한 결과를 얻었으므로 치과X선촬영시 관전압을 증가시키고 X선조사시간을 감소시키는 것이 환자의 방사선방어에도 다소 도움이 될 것으로 사료된다.

X선사진의 대조도를 이루는 요소의 하나인 피사체대조도는 피사체의 두께, 밀도, 원자번호, 산란선등에 의하여 변화되므로^{23,20)}, 치아를 포함한 악골과 협·설측피질골판 및 골수강과 골소주의 두께에 따라 이의 차이가 발생된다²¹⁾. 또한 관전압, X선조사시간도 피사체대조도에 많은 영향을 미치는데¹¹⁾, Ritchey등²²⁾은 범랑질의 X선 투과도와 X선조사조건에 따른 피사체대조도를 조사하기 위하여 hydroxyapatite step wedge로 연구한 결과, 치아우식증과 건전한 범랑질사이의 높은 대조도를 얻기 위해서는 적어도 120kVp까지 관전압을 높여야 된다고 보았고, Wuehrmann과 Monacelli⁶⁾는 aluminum step wedge를 대상으로 한 연구에서 관전압을 90kVp이상으로 높일 경우 10mm이상의 두께의 aluminum step wedge에서 피사체대조도가 증가된다고 보고한 바 있다.

본 연구에서도 비교적 근사한 흑화도를 보인 60kVp-24impulse, 65kVp-19impulse, 70kVp-15impulse, 80kVp-8impulse, 90kVp-6impulse의 조건으로 촬영한 X선사진을 비교·평가한 결과, 피사체대조도는 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서 증가되었으나, 두꺼운 부분에서는 감소되었다. 또한 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서는 고관전압보다 저관전압에서 피사체대조도가 증가되었다. 이러한 결과는 저관전압을 이용한 경우가 고관전압의 경우에 비하여 인접면 치간치조골 혹은 연조직에 상응되는 얇은 두께의 aluminum step wedge에서 피사체대조도가 증가된 반면에 치아경조직에 상응되는 두꺼운 aluminum step wedge에서는 60-90kVp의 X선조사조건하에서 관전압의 증가 또는 감소에 따른 피사체대조도의 영향이 적었기 때문이라고 생각된다.

한편 Morgan¹¹⁾은 일정한 범위내에서 X선사진의 흑화도가 증가되면 X선사진의 대조도도 증가되며, 관전압과 X선조사시간등이 X선사진의 흑화도에 큰 영향을 미친다고 보고한 바 있으며, Updegrave등²⁰⁾은 관전압이 증가되면 피사체에서 보다 많은 X선이 흡수되어 X선사진의 대조도가 감소되므로 연조직과 경조직의 모두를 판독하기가 용이하다고 언급하였다. 본 연구에서는 X선사진간에 흑화도가 근사하지 못한 상태에서 관전압과 X선조사시간에 따른 대조도의 변화를 조사한 결과, 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 대조도가 감소되었고 X선조사시간에 따른 대조도의 변화는 일정한 관계는 이루지 않았으며, 저관전압인 경우에는 X선조사시간이 길 때, 고관전압인 경우에는 X선 조사시간이 짧을 때 X선사진의 대조도가 높았는데, 이는 Thunthy와 Manson-Hing¹²⁾의 연구결과와도 유사하였다.

한편 본 연구에서 관전압과 X선조사시간의 변화에 따른 X선사진상을 평가한 결과, 모든 X선사지에서 흑화도는 일정하지는 않았지만 60kVp-48impulse, 65kVp-38impulse, 70kVp-30impulse, 80kVp-19impulse, 90kVp-12impulse일때 모든 판독항목들이 명료하게 관찰되는 결과를 얻었으며, X선조사시간이 짧은 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 각 판독항목의 판독

능이 양호하여졌는데, 이는 Thunthy와 Manson-Hing¹²⁾와 Crandell²⁴⁾의 연구 보고와 유사하였다. 또한 판독항목별 평가에 있어서는 치간 치조골의 흡수정도의 판독능이 가장 우수하였으며, 다른 판독항목들은 관전압 증가로 인한 판독능의 우열을 보이지는 않았다.

본 연구에서 X선사진의 대조도와 X선사진상의 판독능을 상호관련지어 X선사진상의 판독능을 평가한 결과, 저관전압에서는 X선조사시간이 긴 경우와 고관전압에서 X선조사시간이 짧은 경우에 각각 X선사진상의 판독능이 우수하였다. 이러한 결과로 미루어 X선사진들간의 흑화도가 근사한 경우에는 관전압의 증가에 따라 X선사진의 대조도가 감소되며, X선사진상의 판독능도 좋아질 것으로 사료된다.

그러나 치아경조직에 상응되는 부위인 두꺼운 aluminum step에서의 피사체대조도는 90kVp에서 약간 감소되는 경향외에는 관전압의 증가에 따른 뚜렷한 변화를 보이지 않았으므로, 60-90kVp의 관전압의 범위에서 X선사진의 대조도의 변화가 우수한 X선사진상을 얻는 데에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

이상의 연구결과 현재 치과임상에서 사용되는 X선촬영기기의 관전압과 관전류는 대부분 60-70kVp, 10mA로 고정되어 있으므로 X선 조사시간만을 변화시켜서 우수한 X선사진을 얻을 수 있으나, 고관전압에서 발생하는 X선을 적절히 여과하여 이용하면 X선조사시간을 감소시킬 수 있고, 환자애의 X선피폭선량도 다소 경감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

X선조사요인중에서 X선조사시간과 관전압은 X선사진의 흑화도와 대조도에 각각 관여되어 환자의 피폭량과 X선사진의 판독능에 많은 영향을 미치게 된다. 저자는 X선조사시간과 관전압의 변화가 이들에 미치는 영향을 평가함으로써 적절한 X선조사시간과 관전압을 도출하기 위하여 본 연구를 시행하였다. 본 연구에서는 aluminum step wedge를 부착시킨 인체의 건조하악골을 연구대상으로 하여 관전압 60, 65, 70,

80, 90kVp의 각각에 5, 6, 8, 12, 15, 19, 24, 30, 38, 48, 60impulse의 X선을 조사하여 얻은 X선 필름을 videodensitometry법으로 측정·비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 관전압과 X선조사시간이 증가됨에 따라 X선사진의 흑화도가 증가되었다.

2. 피사체대조도는 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서 증가되었고, aluminum step wedge의 두께가 두꺼운 부분에서는 감소되었다. 또한 aluminum step wedge의 두께가 얇은 부분에서는 고관전압보다 저관전압에서 피사체대조도가 증가되었다.

3. X선사진의 대조도는 관전압이 증가됨에 따라 감소하였고, 저관전압에서는 X선조사시간이 긴 경우에, 고관전압에서는 X선조사시간이 짧은 경우에, 각각 X선사진의 대조도가 증가되었다.

4. X선조사시간이 짧은 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 각 판독항목의 판독능이 양호하여졌으나, X선조사시간이 길 경우에는 관전압이 증가됨에 따라 X선사진의 판독능이 불량하여졌다.

이상의 연구결과 현재 치과임상에서 사용되는 X선촬영기기의 관전압과 관전류는 대부분 60-70 kVp, 10mA로 고정되어 있으므로 X선 조사시간만을 변화시켜서 우수한 X선사진을 얻을 수 있으나 고관전압을 적절히 여과시켜서 사용하면 X선조사시간을 감소시키고 환자에의 X선피폭 선량도 다소 경감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Goaz, P. W. and White, S. C. : Oral radiology : principles and interpretation. 2nd ed. The C. V. Mosby Co., pp.103~112, 1987.
2. Fitzgerald, G. M. : Dental roentgenography. IV. The voltage factor(kVp). J. Am. Dent. Assoc., 1 : 19~28, 1950.
3. Wuehrmann, A. H. and Manson-Hing, L. R. : Dental radiology, 5th ed. The C. V. Mosby Co., pp. 103~112, 1981.
4. Seemann, H. E. : Physical factors which determine roentgenographic contrast. Am. J. Roentgenol., 80 : 112~116, 1958.
5. Manson-Hing, L. R. : Kilovolt(Peak) and the sensitivity of very fast dental films. O. S., O. M. & O. P., 12 : 979~982, 1959.
6. Wuehrmann, A. H. and Monacelli, C. J. : Selection of optimum kilovoltage for dental radiography. I. Preliminary studies. Radiology, 57 : 240~247, 1951.
7. Wuehrmann, A. H. and Curby, W. A. : Radiopacity of oral structures as a basis for selecting optimum kilovoltage for intraoral roentgenograms. J. Dent. Res., 31 : 27~32, 1952.
8. Manson-Hing, L. R. : An investigation of roentgenographic contrast of enamel, dentine and aluminum. O. S., O. M. & O. P., 14 : 1456~1472, 1967.
9. Manson-Hing, L. R. : Kilovolt peak and the visibility of lamina dura breaks. Oral Surg., 31 : 268~273, 1971.
10. Webber, R. L. and Ryge, G. : The significance of exposure parameter in dental radiography. O. S., O. M. & O. P., 27(6) : 740~753, 1969.
11. Morgan, R. H. : An analysis of the physical factors controlling the diagnostic quality of roentgen images, Part I. Am. J. Roentgenol. Rad. Ther., 54 : 128~135, 1945.
12. Thunthy, K. H. and Manson-Hing, L. R. : Effects of mAs and kVp on resolution and on image contrast. Oral Surg., 46 : 454~461, 1978.
13. Stewart, J. L. and Drisko, R. R. : An evaluation of a rapid X-ray film processing solution. O. S., O. M. & O. P., 22 : 334~337, 1966.
14. Thunthy, K. H. and Weinberg, R. : Effects of solution depletion on films developed in the Peri-Pro automatic processor. Oral Surg., 57(1) : 102~105, 1984.
15. Mallon, D. E. and Mellberg, J. R. : Analysis of dental hard tissue by computerized microdensitometry. J. Dent. Res., 64(2) : 112~116, 1985.
16. Ishida, M., Doi, K., Loo, L-N, Metz, C. E., and

- Lehr, J. L. : Digital image processing ; Effect on detectability of simulated low contrast radiographic patterns. *Radiology*, 150 : 569~575, 1984.
17. Martin, R. B., Papamicho, T. and Dannucci, G. A. : Linear calibration of radiographic mineral density using video-digital methods, *Calcif. Tissue Int.*, 47 : 82~91, 1990.
 18. Price, C. : The effect of beam quality and optical density on image quality in dental radiography. *Oral Surg.*, 62(5) : 580~588, 1986.
 19. Hodge, H. C., Van Huysen, G., and Warren, S. L. : Factors influencing the quantitative measurement of the roentgen-ray absorption of tooth slabs. IX. Tube machine combination factors. *Am. J. Roentgenol.*, 40 : 108~125, 1938.
 20. Curry III, T. S., Dowdey, J. E., and Murry, R. C. : Christensen's introduction to the physics of diagnostic radiology. *Lea & Febiger*, pp. 161~166, 1984.
 21. Richards, A. G. : Measuring the radiopacity of the lip and mandible. *J. Dent. Res.*, 32 : 198~209, 1953.
 22. Ritchey, B., Feldman, A., and Greer, W. : Roentgenography of enamel : apatite as a phantom material contrast as a function of exposure factors. *O. S., O. M. & O. P.*, 13 : 188~193, 1960.
 23. Updegrave, W. J. : High or low kilovoltage. *Dent. Radiogr. Photogr.*, 33 : 71~78, 1960.
 24. Crandell, C. E. : An evaluation of the influence of the half-value layer on the diagnostic quality of intraoral reontgenograms. *O. S., O. M. & O. P.*, 21 : 39~46, 1966.

-- ABSTRACT --

THE VIDEODENSITOMETRIC ANALYSIS OF THE RADIOGRAPHIC
DENSITY AND CONTRAST

Young Sun Yoo · Sang Rae Lee

Department of Oral Radiology, College of Dentistry, Kyung Hee University.

Generally the patient's absorb dose and readability of radiograms are affected by the exposure time and kVp of which are related with the radiographic density and contrast.

The investigator carried studies to know the adequate level of exposure time and kVp to obtain the better readability of radiograms. In these studies dried human mandible with selfcuring acrylic resins attached with aluminum step wedge was used and readability of radiograms were compared with each other by videodensitometry among various combination sets of the exposure time, such as 5, 6, 8, 12, 15, 19, 24, 30, 38, 48 and 60, and varying level of kVp, such as 60, 65, 70, 80 and 90 respectively.

The obtained results were as follows :

1. As exposure time and kVp were increased, radiographic density of radiograms was increased.
2. The subject contrast was increased where aluminum step wedge was thin and reduced in the reversed condition. At the thin aluminum step wedge, subject contrast was increased at the condition of lower kilovoltage than that of higher kilovoltage.
3. In the case of non-constant radiographic density, the radiographic contrast was reduced with the increment kilovoltage. The radiographic contrast was increased in the lower kilovoltage with the longer exposure time and the higher kilovoltage with the shorter exposure time.
4. At the condition of short exposure time, better readability of each reading item was obtained with the increment of the kilovoltage but at the opposite condition increasing exposure time worsened readability of radiograms.

Since X-ray machine in the current dental clinics is fixed between the range of 60~70kVp and 10 mA, good radiograms can be obtained by varied exposure time. But according to the conclusion of these studies, better radiograms can be obtained by using filtered high kVp and then the absorb dose to patient and exposure time can be reduced.