대치교정지 2002 : 32(2) : 79-89

일반두부방사선계측사진과 디지털방사선계측사진의 계측점 식별의 오차 및 재현성에 관한 비교 연구

이 양 구[1] · 양 원 식[2] · 장 영 일[3]

본 연구의 목적은 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진의 계측점 식별의 오차를 구하여 각각의 영상에서 오차의 특징을 살펴보고 재현성을 비교 평가하는 것이다.

연구 대상은 서울대학교병원 치과진료부 교정과에 내원한 교정 환자 중 18세에서 29세 사이의 성인 환자 중에서 일반두부방사선계측사진군과 디지털두부방사선계측사진군 각각 15명씩 30명을 무작위로 선택하여 연구 대상으로 하였으며 남녀의 구별이나 두개 안면 구조의 형태는 고려하지 않았다.

계측점은 동일인이 시간차를 두고 식별 하였다. 식별 후 각 계측점은 좌표 (x, y)로 표시하였으며, 처음 계측점을 식별한 두부방사선계측사진군을 T1으로, 1 주 후 동일 계측점을 재식별한 두부방사선계측사진군을 T2로, 1 달 후 동일 계측점을 재식별한 두부방사선계측사진군을 T3로 분류하였다.

오차의 평균과 표준편차는 x좌표, y좌표로 구분하여 계산하였다. 초기 식별 1주 후 재식별시 오차는 T2-T1(x), T2-T1(y)로, 초기 측정 1달 후 재시별시 오차는 T3-T1(x), T3-T1(y)로 표시하였으며 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진으로 각각 나누었다. 재현성의 평가를 위한 오차간의 통계학적인 검정은 independent t-test를 사용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진보다 일반적으로 오차의 평균 및 표 준편차가 작았다.
2. 일반두부방사선계측사진의 오차와 디지털두부방사선계측사진의 오차가 통계학적으로 유 의성 있는 차이를 보인 항목은 드물었다.
3. 상의 향상을 통한 오차의 개선은 한계가 있었으며 상이 향상되더라도 각 계측점의 오차 의 경향은 크게 변하지 않았다.

(**주요 단어** : 일반두부방사선계측사진, 디지털두부방사선계측사진, 계측점, 오차)

Ⅰ. 서 론

두부방사선계측사진의 분석은 1931년 독일의 Hofrath와 미국의 Broadbent[1]에 의해 두부방사선계측사진이 도입된 이후부터 부정교합과 골격의 부조화에 대한 연구 및 임상적 자료로 이용되어 왔으며 교정 임상과 연구에 있어서 표준화된 진단 도구로 자리잡았다. 두부방사선 계측사진을 이용하여 악안면 부위의 길이 및 각도를 평가함으로써 부정교합의 원인이 되는 해부학적 구조를 밝혀내게 되었으며 교정치료에 의해 나타난 변화를 연구하게 되었다.[2] Moyers는 두부방사선계측사진은 총체적인 검사, 형태와 성장의 기술, 비정상의 진단, 미래에 대한 예측, 치료 계획 세우기, 치료결과의 평가와 같은 용도로 사용될 수 있다고 하였다.[3] 이렇게 두부방사선계측사진은 교정 치료의 기본을 이루고 있다고 할 수 있다. 따라서 임상 및 연구에서 두부방사선계측사진의 중심적인 역할을 고려해 볼 때 두부방사선계측사진의 해석의 오류를 최대한 줄이고 적절하게 해석하는 것은 매우 중요하고 할 수 있다.

[1] 서울대학교 치과대학 교정학교실, 석사.
[2] 서울대학교 치과대학 교정학교실, 명예교수.
[3] 서울대학교 치과대학 교정학교실, 교수.
교신저자 : 장영일
서울시 종로구 연건동 28-2
서울대학교 치과대학 / 02-760-2609
drchang@snu.ac.kr

두부방사선계측사진의 오차를 최소화하고 올바르게 해석하기 위해서는 방사선 사진상의 해부 영상을 정확하게 파악하는 것이 중요하지만 방사선 사진의 정밀한 해부 영상의 해석은 종종 주변골과의 중첩, 주변조직의 두께 및 밀도의 차이, 연조직 등에 의해서 그 해석이 어렵다. 또한 두부방사선사진의 계측은 다른 계측처럼 오차가 있을 수 있으며, 기준점을 설정하고 이를 계측, 분석하는 과정에서도 많은 오차가 발생할 가능성이 있고 이미 많은 선학들이 이러한 오차에 관해서 지적하고 있다.[4,5,6,7]

두부방사선계측사진 분석시 오차의 대부분은 계측점 식별과 관련이 있다고 알려진 바 상의 질을 향상시켜 오차를 줄이고자 하는 노력이 대두되었다. 방사선 사진의 농도가 다른 부분의 대조도를 증가시킴으로써 변연부 강화(edge enhancement)를 특징으로 하는 xeroradiography가 개발되어 전통적인 방사선 사진을 대신하고자 하는 노력도 있었다.[8] 또한 Eppley[9]등은 일반방사선사진을 디지털 영상화하여 컴퓨터 처리과정을 통하여 상의 질을 향상시킴으로써 연조직을 더욱 더 잘 식별할 수 있었다고 주장하였다. 또한 일반 방사선 사진을 디지털 영상화할 경우 대조도 및 흑화도 조절, 변연부 강화를 통하여 더 많은 정보를 얻을 수 있고, 영상 저장 및 전송, 두부방사선계측사진 자동 분석 등의 장점도 얻을 수 있다고 보고되었다.[9,10,11] 한편, 1989년에 Mouyen[12]등에 의해서 Radio Visco Graphy (RGV)라는 최초의 방사선 촬영기기가 소개된 이래 다양한 종류의 직접 디지털 치과 방사선 촬영 기기가 개발되었고, 임상에서 활용 되고 있다. 이러한 디지털 방사선 촬영기기의 장점으로 디지털 영상이 다이나믹한 영상이므로 영상의 대조도와 흑화도를 조절하여 노출을 적게 해도 적절한 흑화도 및 대조도로 영상을 바꾸어 줄 수 있으며 직접 디지털 센서는 필름 보다 더 넓은 관용도를 가지고 있다는 것을 들 수 있다. 또한 이를 두부방사선계측학에 응용하여 넓은 흑화도 범위를 가진 고해상도 디지털 영상을 얻어 계측점 식별에 오차를 줄일 수 있다.

또한 디지털 영상에 대해서도 대조도 증강, 연화 (smoothing), 변연부 강화(edge enhancement)를 통한 상강화(image enhancement)가 가능하여 일반두부방사선계측사진보다 우수하다는 보고가 있는 반면[9], 일반두부방사선계측사진 같은 아날로그 영상은 연속적은 계조도를 나타내는데 비하여 디지털 영상은 각 화소 단위로 받아들인 영상 정보 외에 기록되지 못한 나머지 영상과 영상 조절 과정에서 삭제된 영상은 영원히 사라져 버리게 되므로 공간 해상력의 저하가 발생하고 더 큰 오차를 보인다는 상반된 결과도 보고되고 있다.[13]

이제까지 일반두부방사선계측사진에 대한 오차 및 재현성에 관해서는 많은 연구가 이루어졌다. 하지만 디지털두부방사선계측사진의 경우 자동화된 인식 프로그램에 의한 계측점의 식별 오차에 관한 연구는 많이 이루어졌으나 술자가 직접 계측점을 식별하여 이에 대한 재현성 및 오차를 일반두부방사선계측사진과 비교한 연구는 그리 많이 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 좀 더 정확한 계측점 식별을 위해 방사선 필름 대신 직접 디지털 영상판(digital imaging plate)을 이용하여 획득한 디지털두부방사선계측사진과 일반두부방사선계측 사진의 투사도를 각각 3회 반복 작성하여 그 오차를 비교하고 재현성을 평가하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1.연구 재료

본 연구는 서울대학교병원 치과진료부 교정과에 내원한 교정 환자 중 18세에서 29세 사이의 성인 환자 중에서 일반두부방사선계측사진군과 디지털두부방사선계측사진군 각각 15명씩 30명을 무작위로 선택하여 연구 대상으로 하였으며 성별 및 골격 관계는 고려하지 않았다.

2.연구 방법

(1) 두부방사선계측사진의 촬영

촬영기계는 Asahi CX-90sp를 사용하였으며, 선량은 남자의 경우 74 kv, 20mA, 여자의 경우 72kv, 20 mA의 강도로 남녀 공히 0.4초간 조사하였다. 일반두부방사선계측사진의 경우, 8×10 inch의 AGPA Ortho type필름을 Curix screen과 함께 사용하여 촬영하였으며 디지털두부방사선계측사진의 경우, 나머지 조건은 동일한 가운데 10×12 inch의 Fuji사의 IP cassette 3A를 이용하여 촬영하였다.

(2) 두부방사선계측사진의 현상

일반두부방사선계측사진의 경우 Kodak RP X-OMAT Processor model M7B 자동현상기를 사용하여 통법으로 현상하였으며, 디지털두부방사선계측사진의 경우 Fuji Computed Radiography (FCR)를 사용하였

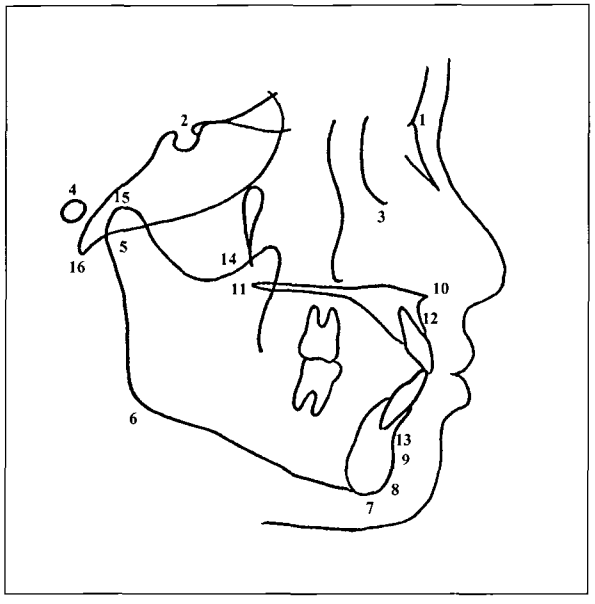

Fig. 1. Anatomical landmarks used in this study

다. FCR 5000R 을 통하여 IP cassette를 reading 하였으며 디지털화한 영상은 spatial frequency-modifying image processing을 통해 컴퓨터(CRT image console)에서 다음과 같은 조건으로 조절하였다. (GA : 1.3, GT : A, GC : 1.30, GS : 0.20, RN : 7, RT : T, RE : 7.0, S shift : 1.0, C shift : 1.0) 조절된 영상은 FL-IM D를 이용하여 레이저 프린트해서 상을 얻었다.

(3) 계측점 (Fig. 1.)

본 연구에 사용된 계측점은 다음과 같다.

1. Nasion (N) : The junction of the frontonasal suture at the most posterior point on the curve at the bridge of the nose.
2. Sella (S) : The center of the pituitary fossa of the sphenoid bone determined by inspection.
3. Orbitale (Or) : The lowest point on the average of the right and left borders of the bony orbit.
4. Porion (P) : Anatomical porion. the most superior point of external auditory meatus.
5. Articulare (Ar) : The point of intersection of the inferior cranial base surface and the averaged posterior surfaces of the mandibular condyles.
6. Gonion (Go) : The midpoint of the angle of the mandible
7. Menton (Me) : The most inferior point on the symphysial outline.
8. Gnathion (Gn) : The most inferior and anterior point on the symphysial outline
9. Pogonion (Pog) : The most anterior point on the contour of the bony chin
10. Anterior Nasal Spine (ANS) : The tip of the median sharp bony process of the maxilla at the lower margin of the anterior nasal opening.
11. Posterior Nasal Spine (PNS) : The most posterior point at the sagittal plane on the bony hard palate.
12. A Point (A) : The most posterior point on the curve of the maxilla between the anterior nasal spine and supradentale
13. B Point (B) : The point most posterior to a line from infradentale to pogonion on the anterior surface of the symphysial outline of the mandible.
14. Pterygomaxillary fissure inferior (Ptm) : The most inferior point on the average of the right and left outlines of the pterygomaxillary fissure.
15. Condylion (Co) : The most posterior superior point on the curvature of the average of the right and left outlines of the condylar head.
16. Basion (Ba) : The most inferior posterior point on the anterior margin of foramen magnum.

(4) 계측점 식별 및 입력

모든 두부방사선계측사진에 대해 3M Unitek 사의 Unitek Cephalometric Tracing Film Acetate(8"X 10") 위에 0.3mm pencil로 계측점을 식별하고 투사도를 작성하였으며 Graphtec Digitizer KD4300을 통해 컴퓨터에 입력하였다. 모든 계측점 식별은 한 사람이 시행하였으며(T1) 초기 식별 1주 후에(T2) 동일 계측점을 재식별 하여 입력하고, 초기 식별 1달 후에(T3)마찬가지 과정을 거쳐 동일 계측점을 재식별 하고 입력하였다.

(5) 분석 방법

계측점 인식 후 각 계측점은 편의상 digitizer의 좌측 하단을 좌표 (0,0)으로 하여 좌표 (x, y)로 표시하였으며, 처음 투사도를 작성한 두부방사선사진군을 T1으로, 1 주 후 투사도를 작성한 두부방사선사진군을 T2로, 1 달 후 투사도를 작성한 T3로 분류하였다. 그리고 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선

Table 1. T1 : first landmark identification
T2 : second landmark identification 1 week later
T3 : third landmark identification 1 month later

	T1	T2	T3
Conventional cephalometric radiography	C1(x,y)	C2(x,y)	C3(x,y)
Digital cephalometric radiography	D1(x,y)	D2(x,y)	D3(x,y)

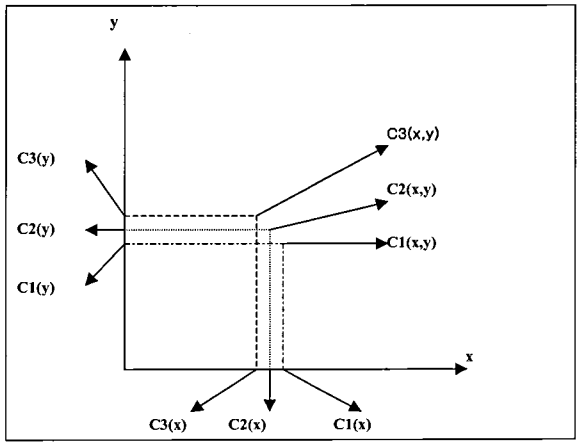

Fig 2. example of landmark identifications in conventional cephalometric radiography

계측사진으로 각각 나누었다.

매회 계측점 식별시 각 계측점의 x 좌표와 y 좌표를 구하고 매회 오차 측정시 x 좌표는 x좌표끼리, y 좌표는 y 좌표끼리 좌표값의 차이를 계산하여 오차의 평균과 표준편차를 구하였다.(그림 2) 초기 식별 1주 후 재식별시 오차는 T2-T1(x), T2-T1(y)로, 초기 식별 1달 후 재식별시 오차는 T3-T1(x), T3-T1(y)로 표시하였으며 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진으로 각각 나누었다. 재현성의 평가를 위한 오차간의 통계학적인 검정은 independent *t*-test를 사용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 일반두부방사선계측사진에서 초기 식별 1주 후 및 1달 후 계측점 식별시 오차의 양상 (Table 2)

초기 식별 1주 후 재식별시 x 좌표에서(T1-T2(x)) 는 Articulare, Gonion, Nasion, Sella 등이 오차가 작았으며, Menton, PNS, Basion등이 큰 오차를 나타내고 있다. y 좌표에서는(T1-T2(y)) Gnathion, PNS, A point등이 오차가 작았으며 B point, Ptm, Basion등이 큰 오차를 보여주고 있다. 또한 Nasion, Gonion, Pogonion, B point, Ptm등은 수직적인 오차가 큰 반면, ANS, PNS, A point, Menton, Gnathion등은 수평적인 오차가 큰 경향을 나타내었다.

초기 식별 1달 후 재식별시 x 좌표에서는(T1-T3(x)) Ptm, Gonion, Pogonion 등이 오차가 작았으며, PNS, Orbitale, Articulare등이 큰 오차를 나타내고 있다. y좌표에서는(T1-T3(y)) ANS, PNS, Sella등이 오차가 작았으며 B point, Ptm, Condylion등이 큰 오차를 보여주고 있다. 또한 Nasion, Gonion, Pogonion, B point, Ptm등은 수직적인 오차가 큰 반면, ANS, PNS, A point, Menton, Gnathion등은 수평적인 오차가 큰 경향을 나타내어 1주일 후 측정한 오차와 같은 경향을 나타내었다.

2. 디지털두부방사선계측사진에서 초기 식별 1주 후 및 1달 후 계측점 식별시 오차의 양상 (Table 3)

초기 식별 1주 후 재식별시 x 좌표에서는(T1-T2(x)) Nasion, Articulare, Sella 등이 오차가 작았으며, Menton, ANS, PNS등이 큰 오차를 나타내고 있다. y 좌표에서는(T1-T2(y)) Nasion, Menton, Sella, ANS, PNS등이 오차가 작았으며 B point, Ptm, Pogonion등이 큰 오차를 보여주고 있다. 또한 Nasion, Pogonion, A point, B point, Ptm등은 수직적인 오차가 큰 반면, ANS, PNS, Menton등은 수평적인 오차가 큰 경향을 나타내었다.

초기 식별 1달 후 재식별시 x 좌표에서는(T1-T3(x)) Articualre, Nasion, A point 등이 오차가 작았으며, Menton, Gonion, Gnathion등이 큰 오차를 나타내고 있다. y 좌표에서는(T1-T3(y)) Menton, ANS, PNS등이 오차가 작았으며 B point, Pogonion, Ptm, 등이 큰 오차를 보여주고 있다. 또한 Nasion, Pogonion, A point, B point, Ptm등은 수직적인 오차가 큰

Table 2. Landmark identification errors at T2 and T3 in conventional cephalometric radiography.

	T1-T2(x)		T1-T2(y)		T1-T3(x)		T1-T(y)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
N	0.43	0.33	0.67	0.98	0.56	0.48	1.14	1.36
S	0.43	0.36	0.45	0.32	0.43	0.27	0.41	0.26
Or	0.93	1.78	0.87	0.87	1.02	2.07	0.92	0.81
Por	0.85	0.89	0.83	0.80	0.45	0.42	0.65	0.97
Ar	0.41	0.26	0.66	0.38	0.93	2.27	0.44	0.37
Go	0.42	0.32	0.67	0.61	0.39	0.29	0.64	0.56
Me	1.18	1.08	0.41	0.30	0.81	0.75	0.43	0.21
Gn	0.81	0.54	0.33	0.27	0.73	0.40	0.52	0.40
Pog	0.57	0.50	1.08	0.76	0.40	0.34	0.95	0.78
ANS	0.69	0.80	0.45	0.36	0.81	0.78	0.35	0.25
PNS	1.14	0.98	0.35	0.29	1.41	0.59	0.36	0.27
A	0.78	0.97	0.41	0.33	0.86	0.90	.0.69	0.58
B	0.57	0.47	1.39	0.96	0.68	0.50	2.72	2.36
Ptm	0.49	0.49	1.24	1.30	0.39	0.35	1.83	1.85
Co	0.69	0.52	0.94	0.76	0.73	0.41	1.15	1.05
Ba	0.93	1.10	1.09	0.98	0.55	0.37	0.87	0.91

dimension of errors : mm

Table 3. Landmark identification errors at T2 and T3 in digital cephalometric radiography.

	T1-T2(x)		T1-T2(y)		T1-T3(x)		T1-T3(y)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
N	0.28	0.17	0.33	0.30	0.31	0.21	0.45	0.48
S	0.39	0.24	0.39	0.23	0.42	0.30	0.48	0.39
Or	0.75	0.92	0.44	0.48	0.44	0.26	0.37	0.25
Por	0.67	0.56	0.54	0.56	0.43	0.37	0.69	0.44
Ar	0.29	0.27	0.83	1.14	0.30	0.22	0.51	0.41
Go	0.61	0.54	0.53	0.43	0.85	0.64	0.99	0.93
Me	1.09	0.81	0.33	0.19	1.10	0.84	0.33	0.26
Gn	0.71	0.58	0.96	0.63	0.83	0.63	0.65	0.87
Pog	0.46	0.46	1.28	1.29	0.49	0.36	1.27	1.21
ANS	0.93	1.19	0.39	0.35	0.48	0.35	0.33	0.29
PNS	0.82	0.98	0.39	0.29	0.40	0.49	0.35	0.20
A	0.74	0.88	0.83	0.77	0.37	0.44	0.79	0.53
B	0.63	0.62	1.85	1.76	0.57	0.34	1.43	1.16
Ptm	0.51	0.51	1.64	1.61	0.60	0.40	1.13	1.20
Co	0.63	0.48	0.53	0.47	0.41	0.41	0.41	0.36
Ba	0.73	0.60	0.68	0.68	0.54	0.38	0.51	0.40

dimension of errors : mm

Table 4. Independent *t*-test of x coordinate errors at T2 between conventional cepahlometric radiography and digital cephalometric radiogrphy

	conventioal	T1-T2(x)	digital	T1-T2(x)	sig
	Mean	SD	Mean	SD	
N	0.43	0.33	0.28	0.17	NS
S	0.43	0.36	0.39	0.24	NS
Or	0.93	1.78	0.75	0.92	NS
Por	0.85	0.89	0.67	0.56	NS
Ar	0.41	0.26	0.29	0.27	NS
Go	0.42	0.32	0.61	0.54	NS
Me	1.18	1.08	1.09	0.81	NS
Gn	0.81	0.54	0.71	0.58	NS
Pog	0.57	0.50	0.46	0.46	NS
ANS	0.69	0.80	0.93	1.19	NS
PNS	1.14	0.98	0.82	0.98	NS
A	0.78	0.97	0.74	0.88	NS
B	0.57	0.47	0.63	0.62	NS
Ptm	0.49	0.49	0.51	0.51	NS
Co	0.69	0.52	0.63	0.48	NS
Ba	0.93	1.10	0.73	0.60	NS

dimension of errors : mm ,NS : not significant, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

반면, ANS, PNS, Menton등은 수평적인 오차가 큰 경향을 나타내어 1주일 후 측정한 오차와 같은 경향을 보였다.

3. 초기 식별 1주 후 계측점 식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 x 좌표 오차에 대한 통계학적 검정 (Table 4)

초기 식별 1주 후 재식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간의 x좌표의 오차에 대한 비교가 표 6 에 나와있다. 일반적으로 디지털두부방사선계측사진이 오차의 평균 및 표준 편차가 작은 경향을 보였으나 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보인 항목은 없었다.

4. 초기 측정 1주 후 계측점 식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 y 좌표 오차에 대한 통계학적 검정 (Table 5)

초기 측정 1주 후 재식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간의 y좌표의 오차에 대한 비교가 표 7에 나와있다. ANS, PNS, Ptm, Gnathion을 제외하고는 디지털두부방사선계측사진에서 오차의 평균 및 표준 편차가 작은 경향을 보였으나 통계학적으로 Gnathion은 디지털두부방사선계측사진의 오차가 유의성 있게 더 컸다.

5. 초기 측정 1 달 후 계측점 식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 x 좌표 오차에 대한 통계학적 검정 (Table 6)

초기 측정 1달 후 재식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 x좌표의 오차에 대한 비교가 표 8에 나와있다. 일반적으로 디지털두부방사선계측사진에서 오차의 평균 및 표준 편차가 작은 경향을 보였으나 통계학적으로 Gonion은 일반두부방사선계측사진에 비해 디지털두부방사선계측사진의 오차가 유의성 있게 더 컸으며, PNS와 Condylion은 디지털두부방사선계측사진의 오차가 유의성 있게 더 컸다.

Table 5. Independent *t*-test of y coordinate errors at T2 between conventional cepahlometric radiography and digital cephalometric radiogrphy

	conventional	T1-T2(y)	digital	T1-T2(y)	sig
	Mean	SD	Mean	SD	
N	0.67	0.98	0.33	0.30	NS
S	0.45	0.32	0.39	0.23	NS
Or	0.87	0.87	0.44	0.48	NS
Por	0.83	0.80	0.54	0.56	NS
Ar	0.66	0.38	0.83	1.14	NS
Go	0.67	0.61	0.53	0.43	NS
Me	0.41	0.30	0.33	0.19	NS
Gn	0.33	0.27	0.96	0.63	*
Pog	1.08	0.76	1.28	1.29	NS
ANS	0.45	0.36	0.39	0.35	NS
PNS	0.35	0.29	0.39	0.29	NS
A	0.41	0.33	0.83	0.77	NS
B	1.39	0.96	1.85	1.76	NS
Ptm	1.24	1.30	1.64	1.61	NS
Co	0.94	0.76	0.53	0.47	NS
Ba	1.09	0.98	0.68	0.68	NS

dimension of errors : mm, NS : not significant, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

Table 6. Independent *t*-test of x coordinate errors at T3 between conventional cepahlometric radiography and digital cephalometric radiogrphy

	conventional	T1-T3(x)	digital	T1-T3(x)	sig
	Mean	SD	Mean	SD	
N	0.56	0.48	0.31	0.21	NS
S	0.43	0.27	0.42	0.30	NS
Or	1.02	2.07	0.44	0.26	NS
Por	0.45	0.42	0.43	0.37	NS
Ar	0.93	2.27	0.30	0.22	NS
Go	0.39	0.29	0.85	0.64	*
Me	0.81	0.75	1.10	0.84	NS
Gn	0.73	0.40	0.83	0.63	NS
Pog	0.40	0.34	0.49	0.36	NS
ANS	0.81	0.78	0.48	0.35	NS
PNS	1.41	0.59	0.40	0.49	**
A	0.86	0.90	0.37	0.44	NS
B	0.68	0.50	0.57	0.34	NS
Ptm	0.39	0.35	0.60	0.40	NS
Co	0.73	0.41	0.41	0.31	*
Ba	0.55	0.37	0.54	0.38	NS

dimension of errors : mm, NS : not significant, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

Table 7. Independent *t*-test of y coordinate errors at T3 between conventional cepahlometric radiography and digital cephalometric radiogrphy

	conventional	T1-T3(y)	digital	T1-T3(y)	sig
	Mean	SD	Mean	SD	
N	1.14	1.36	0.45	0.48	NS
S	0.41	0.26	0.48	0.39	NS
Or	0.92	0.81	0.37	0.25	*
Por	0.65	0.97	0.69	0.44	NS
Ar	0.44	0.37	0.51	0.41	NS
Go	0.64	0.56	0.99	0.93	NS
Me	0.43	0.21	0.33	0.26	NS
Gn	0.52	0.40	0.65	0.87	NS
Pog	0.95	0.78	1.27	1.21	NS
ANS	0.35	0.25	0.33	0.29	NS
PNS	0.36	0.27	0.35	0.20	NS
A	0.69	0.58	0.79	0.53	NS
B	2.72	2.36	1.43	1.16	NS
Ptm	1.83	1.85	1.13	1.20	NS
Co	1.15	1.05	0.41	0.36	*
Ba	0.87	0.91	0.51	0.40	NS

dimension of errors : mm, NS : not significant, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

6. 초기 측정 1달 후 계측점 식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 y 좌표 오차에 대한 통계학적 검정 (Table 7)

초기 측정 1달 후 재식별시 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진간 y좌표오차에 대한 비교가 표 9에 나와 있다. 일반적으로 디지털두부방사선계측사진에서 오차의 평균 및 표준 편차가 작은 경향을 보였으나 통계학적으로 Orbitale와 Condylion은 일반두부방사선계측사진의 오차가 유의성 있게 더 컸다.

Ⅳ. 고 안

이번 연구에서는 일반 아날로그 방사선 필름 대신 디지털 영상판을 사용하고 그 외 방사선 촬영시 모든 조건을 동일하게 함으로써 방사선 영상을 얻으면서 생길 수 있는 체계적 오차를 배제하고자 하였다. 두부방사선계측사진의 재현성은 세 가지의 영향하에 놓이는데, 방사선 사진의 질, 측정시 필요한 도구 및 광원 기기의 조건, 측정자의 투사도 작성에 대한 숙련도가 그것이다. 이번 연구에서는 동일인이 계측점을 반복 식별하고 식별 당시의 조건을 동일하게 함으로써 방사선 사진의 질의 차이에 의한 오차를 비교하여 재현성을 평가할 수 있도록 하였다.

오차를 평가하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 그 중에서 Dahberg[14]방법과 같이 전체 표본에서 몇 개를 선별하여 반복 측정함으로써 오차를 평가하는 방법이나 Cooke[15]가 제안한 오차 퍼센트와 같은 방법은 주로 단일 표본에 대해 연구의 신뢰성을 확인하기 위해 계측치의 오차의 정도를 표현하는 방법이므로 이번 연구에서는 적절치 못하다고 할 수 있다. 따라서 Richardson[16], Baumrind, Frantz[5], Cook[7], Liu[17]등의 연구 방법을 따라 반복 측정시 오차의 평균과 표준편차를 비교 평가하여 오차의 크기와 양상을 파악하였다. 이번 연구에서 연구 대상을 선정하는데 있어서는 성별 및 골격 관계를 고려하지 않고 무작위로 선택하였다. Van der Linden[18], Savara[19], Sekiguchi[20] 등의 연구에 의하면 골격성 계측점의 경우 개인별로 변이가 심하다고 하였다. 따라서 일반두

부방사선계측사진에서 계측점 식별이 용이한 대상 또는 디지털두부방사선계측사진에서 계측점 식별이 용이한 대상과 같이 특정한 연구대상을 선별할 경우 결과에 편견(bias)이 개재될 우려가 크다. 이러한 편견을 배제하기 위해서 연구대상은 각각 15명씩 무작위로 선별하였다.

두부방사선계측사진의 계측 오차는 계측점 인식과 주로 관련이 있는데 이는 계측점의 위치와 방사선 사진의 질은 상당히 밀접한 연관이 있다. 이번 연구 결과에서는 일반적으로 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진에 비해 오차의 평균과 표준편차가 비슷하거나 작은 경향을 보였다. (Table 2, 3) 하지만 그 양상은 계측점에 따라서 상이하였다.

일반두부방사선계측사진의 경우 x좌표에서 가장 큰 오차 평균을 보인 계측점은 PNS로써 1주일 후 측정시 1.14 mm, 1달 후 측정시 1.41 mm 였다. y좌표에서 가장 큰 오차 평균을 보인 계측점은 B point로써 1주일 후 측정시 1.39 mm였으며 1달 후 측정시 2.27 mm 의 오차평균 값을 나타냈다. 이는 Orbitale, Porion, PNS와 같이 다른 구조물과 중첩이 되는 경우에는 쉽게 식별할 수 없었으며 A point, B point와 같이 곡선상에 위치한 경우에도 오차가 발생할 확률이 크다는 Tng[21]의 연구와 일치한다. 디지털두부방사선계측사진의 경우 x좌표에서 가장 큰 오차를 보인 계측점은 Menton으로써 1주일 후 측정시 1.09 mm, 1달 후 측정시 1.10 mm 의 오차 평균값을 나타냈다. 하지만 y좌표에서 Menton은 가장 작은 오차 평균값을 나타냈다. y좌표에서 가장 큰 오차를 보인 계측점은 일반두부방사선계측사진과 마찬가지로 B point 였으며, 1 주일 후 측정시 1.85 mm, 1달 후 측정시 1.43 mm의 오차 평균값을 나타냈다. 디지털두부방사선계측사진의 경우 가장 큰 오차를 나타낸 계측점들은 Menton, B point와 같이 대부분 점진적인 곡선 상에 위치함을 알 수 있다. 이는 곧 어떠한 계측점은 다른 것들과 비교해서 더 부정확하게 위치하는데[5,16,22] 그 원인이 해부학적 복잡성 때문이라면 상의 향상으로 위치의 재현성이 개선될 수 있지만 계측점의 모호한 정의 때문에 발생하는 오차[23]라면 상의 강화(image enhancement)를 통해 상의 질이 향상되었다 하더라도 오차를 피할 수 없고 재현성 역시 개선될 수 없음을 나타낸다. 따라서 일반적인 오차 및 재현성의 경향을 파악하였다고 하나 통계학적으로 재현성에 유의성 있는 차이가 있는지 확인하는 과정이 뒤따라야 할 것이다. 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진의 오차를 각각 independent *t*-test를 사용하여 검정해 보았다.(Table 4,5,6,7)

x 좌표에서는 초기 식별 1주 후 재식별시 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이는 항목이 없었으나 초기 식별 1 달 후 재식별시 Gonion 항목에서 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진보다 오차가 유의성 있게 컸다. 또한 PNS와 Condylion의 항목에서 일반두부방사선계측사진이 디지털두부방사선계측사진보다 오차가 유의성 있게 더 컸다.(Table 6) y 좌표에서는 초기 식별 1주 후 재식별 시 Gnathion의 항목에서 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진보다 오차가 유의성 있게 컸으며, (Table 5) 초기 식별 1달 후 재식별 시 Orbitale와 Condylion의 항목에서 일반두부방사선계측사진이 디지털두부방사선계측사진보다 오차가 유의성 있게 더 컸다. (Table 7)

통계학적으로 유의성 있는 오차의 차이을 보이는 항목은 PNS, Orbitale, Condylion과 같이 오차가 발생되는 원인이 주변에 중첩되는 구조물이 있는 경우, 일반두부방사선계측사진의 오차가 디지털두부방사선계측사진의 오차와 유의성 있는 차이를 보임으로써 이 항목들에 대해서는 디지털두부방사선계측사진이 오차가 더 작고 따라서 재현성이 더 우수하다고 할 수 있다. Gonion과 Gnathion의 경우 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진보다 오차가 더 큰데 이는 계측점이 construction된 계측점 또는 곡선상에 위치하기 때문으로 생각된다. 즉 상의 질이 개선되었다고 하지만 상의 질과는 관계없는 계측점 개개의 특성이 오차의 원인으로 이와 같은 결과가 나왔다고 생각할 수 있다. 대부분의 계측점에서 오차의 분포는 무작위적이 아니라 조직적이며 각 계측점의 오차는 각각의 특징이 있고 대부분 원형이 아닌 오차의 범위를 보인다고 보고하고 있다.[5] 이번 연구에서도 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진에서 오차의 특징을 살펴보았다. (Table 2,3) 영상을 획득한 방법 및 측정한 시간과 상관 없이 계측점 별로 오차의 특징을 나타냈는데, 모든 계측점 식별의 경우에서 Nasion, Pogonion, B point, Ptm 등은 수직적인 오차가 큰 양상을, ANS, PNS, Menton은 수평적인 오차가 큰 양상을 보여주었다. 따라서 Nasion, Pogonion, B point, Ptm의 경우 수평적으로 재현성이 우수하며, ANS, PNS, Menton의 경우에는 수직적으로 재현성이 더 우수하다는 것을 의미하며 또한 일반두부방사선계측사진의 재현성을 연구에서 나타난 특정한 계측점은 수직적 또는 수평적으로 더 정확하며 이는 해부학적 구조

물의 orientation에 달려 있다는 결과가 디지털두부방사선계측사진에도 그대로 적용된다고 할 수 있다.

이상을 종합하여 볼 때 상의 향상(image enhancement)을 통한 디지털두부방사선계측사진과 이제까지 널리 사용되었던 일반두부방사선계측사진의 오차의 비교를 통한 재현성의 평가에서 디지털두부방사선계측사진이 일반적으로 오차의 평균과 표준편차가 작은 경향을 보였으나 통계학적으로 유의성을 보이는 항목은 드물었다. 그러나 통계학적으로 유의성을 보이는 항목들 중 해부학적 중첩 때문에 오차가 발생하는 계측점의 경우 디지털두부방사선계측사진에서 오차가 더 작은 값을 보여 상의 질의 향상이 몇몇 계측점에서 계측점 식별에 도움을 준다고 할 수 있다. 하지만 오차의 특징은 일반두부방사선계측사진이나 디지털두부방사선계측사진이다 모두 동일하게 나타났다. 이는 곧 상의 질의 향상을 통해서도 오차의 개선이 이루어질 수 없는 부분이 존재함을 알 수 있다.

V. 결론 및 요약

본 연구는 일반두부방사선계측사진과 디지털두부방사선계측사진의 계측점 식별에 있어서 오차의 비교 및 재현성을 평가하고자 시행하였다. 성인 환자군에서 무작위로 일반두부방사선계측사진 15매를 선택하고 디지털두부방사선계측사진 15매를 선택하여 1회 계측점 식별 후 2회(1회 측정 1주 후) 및 3회(1회 측정 1달 후) 계측점을 식별하여 각각의 좌표를 정하고 그 오차를 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 디지털두부방사선계측사진이 일반두부방사선계측사진보다 일반적으로 오차의 평균 및 표준편차가 작았다.
2. 일반두부방사선계측사진의 오차와 디지털두부방사선계측사진의 오차가 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보인 항목은 드물었다.
3. 상의 향상을 통한 오차의 개선은 한계가 있었으며 상이 향상되더라도 각 계측점의 오차 의 경향은 크게 변하지 않았다.

이제까지 디지털두부방사선계측사진의 경우 상의 질이 일반두부방사선계측사진보다 우수하여 막연히 계측점 인식에 있어서 오차가 작고 재현성이 더 높을 것이라고 생각해 왔고 이에 대한 연구가 이루어졌다. 물론 해부학적 중첩이 심한 몇몇 계측점에서는 대조도 및 선명도의 증가, noise의 감소, 변연부 강화등 상의 개선이 오차를 줄이는데 기여를 한다고 할 수 있으나 그 외의 계측점에서는 그리 큰 차이를 보여주지 않고 있다. 즉 아무리 상의 질이 개선된다 하더라도 결국 특정한 계측점에서는 오차의 큰 개선이 어려울 것이다. 앞에서 언급하였듯이 두부방사선계측사진의 재현성은 방사선 사진의 질, 측정될 당시의 여러 가지 조건, 측정자의 숙련도에 좌우되는데 재현성 향상을 위해서 방사선사진의 질의 향상은 한계가 있다고 생각한다. 앞으로 좀 더 정확한 계측점 식별과 좀 더 높은 재현성을 위해서는 상의 질의 향상을 위한 연구는 물론 좀 더 정확한 계측점의 정의가 마련되야 하고 술자의 계측점 식별을 위한 개인적인 노력이 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontics, Angle Orthod 1931 : 1 : 45-66
2. 양원식, 김태우. 치과교정진단 및 응용, 지성출판사 2001 : 85-6
3. Robert E. Moyers, Handbook of Orthodontics, year book medical publishers 1988 : 249-50
4. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements, 1. Landmark identification. Am J Orthod 1971 : 60 : 111-27.
5. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 2 conventional angular and linear measures. Am J Orthod 1971 : 60 : 505-17,
6. Graber TM. A Critical Review of Clinical Cephalometric Radiogrphy. Am J Orthod 1954 : 40 : 1-26.
7. Cook PA, Southall PJ. The reliability of mandibular radiographic superimposition. Br J Orthod. 1989 : 16 : 25-30.
8. Johnson NA. Xeroradiography for cephalometric analysis. Am J Orthod 1976 : 69 : 524-6
9. Eppley BL, Sadove AM. Computerized digital enhancement in craniofacial cephalometric radiography. J Oral Maxillofac Surg 1991 : 49 : 1038-43.
10. Forsyth DB, Davis DN. Assessment of an automated cephalometric analysis system. Europ J Orthod 1996 : 18 : 471-8.
11. Forsyth DB, Shaw WC, Richmond S. Digital imaging of cephalometric radiography, part I : advantages and limitations of digital imaging. Angle Orhod, 66 : 37-42, 1996
12. Mouyen F. Benz C. Sonnabend E. Lodter JP. Presentation and physical evaluation of RadioVisioGraphy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1989 : 68 : 238-42
13. Forsyth DB, Shaw WC, Richmond S, Roberts CT. Digital imaging of cephalometric radiography, part II : image quarity. Angle Orthod 1996 : 66 : 43-50
14. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. New York. 1940. Interscience Publications
15. Cooke MS, Wei SH. Cephalometric errors : A comparison between repeat measurements and retaken radiographs. Australian Dental J 1991 : 36 : 38-43
16. Richardson A. An investigation into the reproducibility of some points, planes and lines used in cephalometric analysis. Am J Orthod 1966 :

52 : 637-51.
17. Jia-Kuang Liu, Yen-Ting Chen. Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks. AJODO 2000 : 118 : 535-40.
18. Van der Linden F. A study of roetgenocephalometric bony landmarks. Am J Orthod 1971 : 59 : 111-25
19. Savara B, Takeuchi Y. Anatomical location of cephalometric landmarks on the sphenoid and temporal bones. Angle Orthod 1979 : 49 : 141-9.
20. Sekiguchi T, Savara BS. Savara, Variability of cephalometric landmarks used for face growth studies. Am J Orthod 1972 : 61 : 603-18
21. Tng TT, Chan TC, Hagg U, Cooke MS. Validity of cephalometric landmarks : an experimental study on human skull. Europ J Orthod 1994 : 16 : 110-20.
22. Broch J, Slagsvold O, Rosler M. Error in landmark identification in lateral radiographic headplates. Europ J Orthod 1981 : 3 : 9-13.
23. Spolyar JL. Head positioning error in cephalometric radiography-an implant study. Angle Orthod 1987 : 57 : 77-88.

- ABSTRACT -

The comparison of landmark identification errors and reproducibility between conventional lateral cephalometric radiography and digital lateral cephalometric radiography

Yang-Ku Lee, Young-Il Chang, Won-Sik Yang

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this study is to evaluate the reproducibility and errors in landmark identification of conventional lateral cephalometric radiography and digital lateral cephalometric radiography.

Fifteen conventional lateral cephalometric radiographs and fifteen digital lateral cephalometric radiographs were selected in adults with no considerations on sex and craniofacial forms. Each landmark was identified and expressed as the coordinate (x, y). The landmarks were classified into 3 groups. The landmarks of the first identification was T1, identification after one week was T2, and identification after one month was T3.

The mean and standard deviation of identification errors between replicates were calculated according to the x and y coordinates. The errors between first identification and second identification were expressed as T2-T1(x), T2-T1(y) and those between first identification and third identification were expressed as T3-T1(x), T2-T1(y). Each was divided into conventional lateral cephalometric radiography and digital lateral cephalometric radiography. The independent t- test was used for statistical analysis of identification errors for the evaluation of reproducibility.

The results of this study were as follows ;

1. Generally, the mean and standard deviation of landmark identification errors in digital lateral cephalometric radiography was smaller than those of conventional lateral cephalometric radiography.
2. Only a few landmarks showed statistically significant difference in identification error between conventional lateral cephalometric radiography and digital lateral cephalometric radiography.
3. The enhancement of image quality didn't guarantee decrease in landmark identification error and didn't affect tendency of landmark identification error.

KOREA. J. ORTHOD. 2002 : 32(2) : 79-89

※ Key words : Conventional lateral cephalometric radiography, Digital lateral cephalometric radiography, Landmark, Error