대치교정지 1997, 27(1) : 129-140

3차원 두부방사선규격사진의 정확성에 관한 연구

- 실제 계측 및 측모 두부방사선 규격사진 계측과의 비교 -

배 기 선[1] · 박 수 병[2] · 손 우 성[3]

본 연구는 교정 임상에서 흔히 촬영되는 측모와 정모 두부방사선규격사진을 사용하여 3차원적인 두개안면 형태를 재현하였을 때 그 방법의 정확성을 고찰해 보고, 기존의 측모 두부방사선규격사진과 비교하여 어떠한 차이를 보이는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 두개안면 골격모형의 3차원 두부방사선규격사진을 형성하고, 선 계측과 각도 계측을 시행하였다. 여기서 얻어진 계측치들을 실제 계측치 및 측모 두부방사선규격사진에서의 계측치와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3차원 두부방사선규격사진의 선 계측 평균 오차는 0.94±0.62 mm, 평균 확대율 100.31±0.91% 이었으며 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).
2. 측모 두부방사선규격사진은 선 계측에서 평균 오차 6.44±1.48 mm, 평균 확대율 106.99±1.45%로서 하악체를 제외한 모든 선 계측에서 확대를 보였다(P<0.005).
3. 3차원 두부방사선규격사진에서의 각도 계측은 평균 오차 1.22±0.82°, 평균 확대율 105.72±12.07% 로서 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).
4. 측모 두부방사선규격사진은 평균 오차 1.70±0.94°, 평균 확대율 106.35±15.70%으로 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).

(주요어 3차원 두부방사선규격사진)

Ⅰ. 서 론

두부방사선규격사진은 1931년 Broadbent [1]에 의해 교정학 분야에 도입된 이래 두개안면 골격형태의 진단, 성장 및 치료 평가에 널리 사용되어져 왔다. 그러나 3차원적인 구조물을 2차원적으로 나타낸다는 점과 대상물이 실제보다 확대되어 보인다는 방사선사진의 한계성 때문에 분석 결과가 실제와는 차이를 보이는 경우가 많다. 특히 안면비대칭을 보이는 환자의 경우, 기존의 측모 두부방사선규격사진은 대상물이 좌우대칭이라는 가정하에 분석을 시행하게 되므로 좌우의 차이를 측정할 수 없다. 이러한 점을 보완하기 위해 좌우 구조물을 따로 tracing하더라도 방사선원과 대상물, 필름 사이의 거리에 따라 각각의 확대율이 달라지므로 좌우 구조물의 길이 차이가 상쇄되거나 더 강조될 수 있다[2-6]. 그러므로 악교정 수술 등에서 두부방사선규격사진상의 수술 예측량은 실제 수술량과 차이를 보이게 된다.

따라서 3차원적인 구조물을 3차원적으로 분석, 진단하려는 노력들은 방사선학을 비롯한 여러 영역에서 꾸준히 계속되어져 왔고, 그 결과 현재에는 3차원 computed tomography 등이 개발되어 사용되고 있다.

[1] 부산대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생
[2] 부산대학교 치과대학 교정학교실, 조교수
[3] 부산대학교 치과대학 교정학교실, 부교수

하지만 고가의 장비가 필요한 점과 교정학적인 분석이 힘든 점, 그리고 과다한 방사선 조사량 등의 문제로 인해 교정학 영역에서는 거의 사용되지 않고 있으며, 많은 문제점에도 불구하고 그 간편성과 경제성 때문에 두부방사선규격사진이 여전히 대부분을 차지하고 있다.

교정 임상에서 흔히 사용되는 측모와 정모 두부방사선규격사진를 조합하여 대상물을 3차원적으로 분석하려는 시도는 두부방사선규격사진이 교정학 영역에 도입된 초기부터 있어 왔다[2,7,8]. 그러나, 컴퓨터의 발달에 따라 이러한 과정을 더 간편하고 정확하게 수행할 수 있게 되었으며[9-18], 최근 행해진 일련의 연구를 통해 3차원 두부방사선규격사진은 길이 계측에서 높은 정확성을 보임이 이미 보고된 바 있다[15,16].

본 연구는 기존의 측모와 정모 두부방사선규격사진을 사용하여 3차원 두부방사선규격사진을 형성하고, 3차원상의 계측과 실제 모형 계측과의 비교를 통해 길이와 함께 각도에서의 정확성을 측정하고자 하였다. 그리고, 기존의 측모 두부방사선규격사진 계측과 비교하여 2차원과 3차원적인 계측방법의 차이를 알아보고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 3차원 두부방사선규격사진 형성 프로그램 제작

3차원 두부방사선규격사진은 공간상에 서로 수직으로 위치한 두 장의 방사선사진에서 읽은 좌표값들을 서로 조합하여 공간상의 좌표인 X, Y, Z를 구하게 된다(Fig. 1.).

두 개의 방사선원 Sa, Sb에서 필름 A, B를 향해 방사선이 조사될 때, 각각의 방사선원으로부터 필름까지의 거리를 Fa, Fb, 방사선원에서 반대편 방사선의 중심선까지의 수직 거리를 Da, Db라고 하였다. 이 때 공간상의 한 점 P가 각각의 방사선사진에서 Pa, Pb로 나타난다면 방사선의 중심선으로 부터 점 P까지의 거리는 다음의 비례식으로 나타내어질 수 있다.

$$X : Pa = (Da + Z) : Fa$$
$$Z : Pb = (Db + X) : Fb$$

그리고 방사선사진상에서의 각 점 Pa, Pb는 각각 한쌍의 좌표 (Xa, Ya), (Xb, Yb)로 표시되므로 다음의 비례식 역시 성립된다.

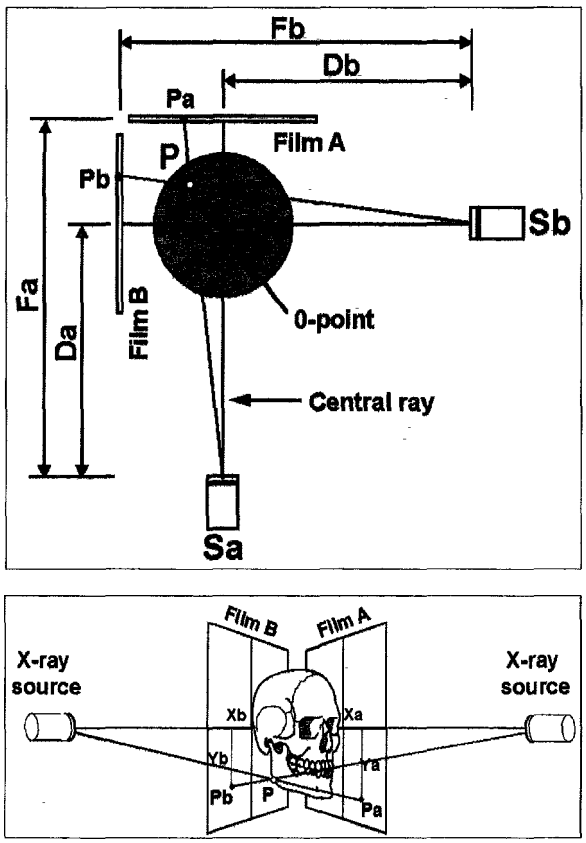


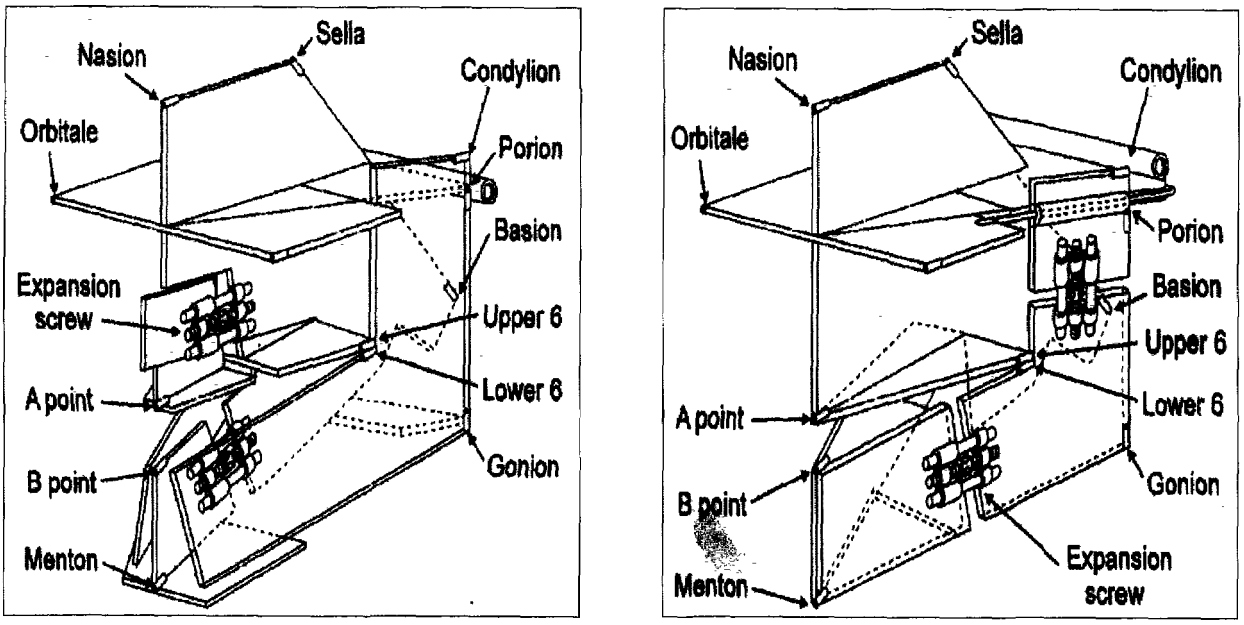
Fig. 1. Principles of three-dimensional cephalometrics

$$Y : Ya = (Da + Z) : Fa$$
$$Y : Yb = (Db + X) : Fb$$

이를 X, Y, Z에 대하여 정리한 것이 photogrammetric equation[13]이며, 이러한 공식에 의해 2차원인 두 장의 방사선사진으로부터 3차원의 좌표값 X, Y, Z를 구할 수 있다.

$$X = Xa(DaFb + DbXb)/(FaFb + XaXb)$$
$$Y = Ya(DaFb + DbXb)/(FaFb + XaXb)$$
$$Z = -Xb(FaDb - DaXa)/(FaFb + XaXb)$$

위의 공식만으로는 3차원의 계측점을 형성하기 힘든 경우가 있는데, 그것은 측모 및 정모 방사선사진 촬영시 각각의 방사선원과 공간상의 한 점, 그리고 방사선사진상의 투사점을 연결한 선들이 서로 정확하게 만나지 않을 수도 있기 때문이다. 이러한 경우는



I　　II

Fig. 2. Model of Craniofacial skeleton(I : model A, B, C , II : model D).

공간상의 두 직선의 최단 거리의 1/2 되는 점을 계측점으로 하였다. 이상의 과정을 수학계산 프로그램(Mathematica®, Wolfram Research, Inc., USA)을 사용하여 시행하였다. 구해진 3차원 좌표를 사용하여 공간상의 형태를 재구성하고, 공간상의 두 계측점간의 거리, 두 직선간의 각도 및 평면 사이의 각도를 계산하기 위해 프로그램을 제작하였다.

2. 두개안면 골격모형 제작 및 3차원 두부방사선규격사진 형성

2mm 두께의 아크릴판을 사용하여 서로 다른 길이와 각도들을 가지는 4쌍의 두개안면 골격모형 A, B, C, D를 제작하고, 직경 1.0mm의 stainless steel wire를 5.0mm 길이로 잘라서 계측점을 표시하였다(Fig. 2). 사용된 계측점은 다음과 같다.

1) 단일 계측점 : Nasion, Sella, A point, B point, Menton, Basion.
2) 좌우 대칭 계측점 : Orbitale, Porion, Gonion, Condylion, Upper & Lower 1st molar.

각 모형에 두 개의 expansion screw(Dentaurum, 600-010)를 부착하여 상하악의 길이를 변화시킬 수 있도록 하였다. A, B, C 모형에서는 상악체와 하악체의 길이를 각각 3mm씩 3단계로 변화시켜 각 모형당 서로 다른 상하악 길이와 각도를 가지는 9쌍의 모형을 형성하였으며 D 모형에서는 좌측의 하악체와 하악지만를 각각 3mm씩 3단계로 변화시켜 9쌍의 모형을 형성하였다.

위와 같이 형성된 36쌍의 모형에서 측모와 정모 두부방사선규격사진을 촬영하였다. 촬영에 사용된 방사선 기기(Trophy PC100, Trophy Radiologie, France)는 방사선 중심선의 위치가 촬영부 후방에 표시되어 있으므로, 방사선사진 상에 중심선의 위치를 표시하기 위하여 두개안면 골격모형과 방사선원 사이에 중심선 위치와 일치시킨 십자형태의 wire를 설치하여 함께 촬영하였다.

촬영된 두 장의 방사선사진상으로부터 중심선의 위치를 기준점으로 하여 읽은 좌표값들을 3차원 두부방사선규격사진 형성 프로그램을 사용하여 두개안면 골격모형의 3차원 형태를 컴퓨터 상에서 재현하였다(Fig. 3). 그리고, 10 항목의 선 계측과 12 항목의 각도 계측을 시행하였다(Table 1).

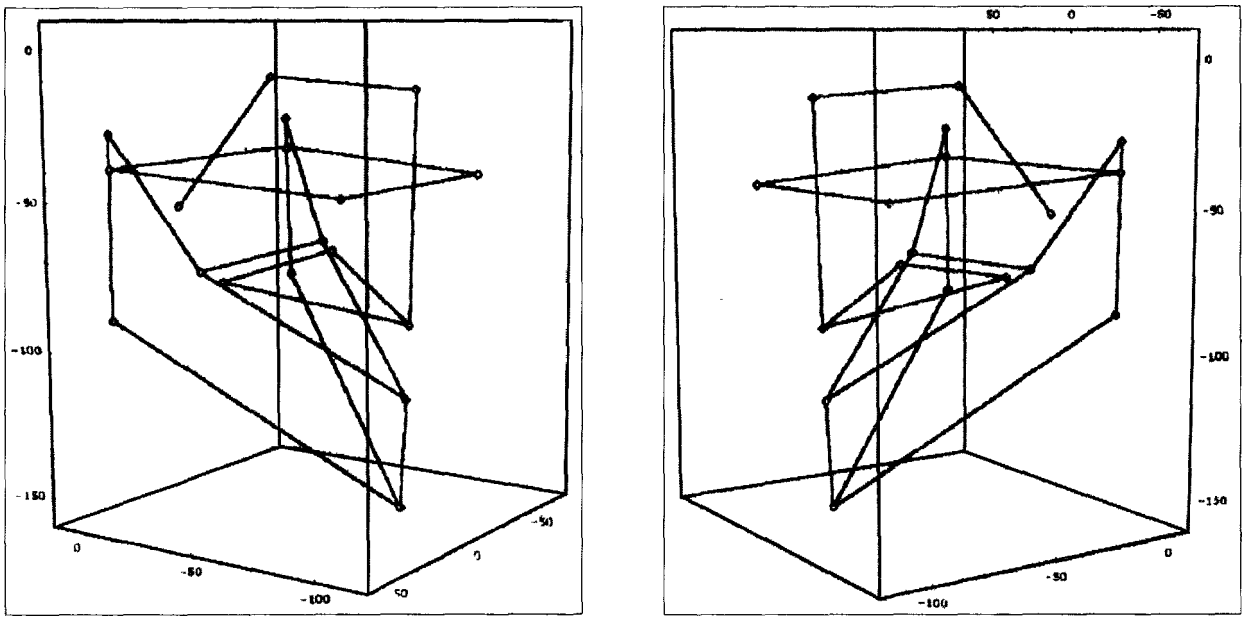


Fig. 3. three dimensional cephalograms

Table 1. Linear and angular measurements for three-dimensional and lateral cephalograms

Linear measurements for three-dimensional cephalograms
Intergonion (Rt. Gonion - Lt. Gonion)
Intercondylion (Rt. Condylion - Rt. Condylion)
Rt. Mandibular body length (Rt. Gonion - Menton)
Lt. Mandibular body length (Lt. Gonion - Menton)
Rt. Ramus length (Rt. Gonion - Rt. Condylion)
Lt. Ramus length (Lt. Gonion - Lt. Condylion)
Rt. Total Mandibular length (Rt. Codylion - Menton)
Lt. Total Mandibular length (Lt. Condylion - Menton)
Maxillary length (A point - midpoint of Rt. and Lt. upper 1st molar)
Facial length (Nasion - Menton)
Linear measurements for lateral cephalograms
Linear measurements for three-dimensional cephalograms except intergonion and intercondylion
Average Mandibular body length (midpoint of Rt. and Lt. Gonion - Menton)
Average Ramus length (midpoint of Rt. and Lt. Gonion - midpoint of Rt. and Lt. Condylion)
Average Total Mandibular length (midpoint of Rt. and Lt. Condylion - Menton)
Angular measurements
Gonial angle
Rt. and Lt. Gonial angle
SN-Palatal plane angle
SN-Occlusal plane angle
SN-Mandibular plane angle
Palatal-Occlusal plane angle
Palatal-Mandibular plane angle
SNA, SNB, ANB
Saddle angle

Table 2. Comparison between three-dimensional cephalograms and actual models in linear measurements.

Linear measurement (mm)	3-dimensional cephalometrics		Actual model		Difference | 3D-Actual |	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Inter Go	101.53	± 5.44	101.28	± 5.19	0.42*	± 0.34
Inter Co	101.57	± 5.82	101.64	± 5.41	0.41*	± 0.74
Rt. Mn.Body	101.49	± 7.20	102.21	± 6.90	0.86*	± 0.81
Lt. Mn.Body	102.37	± 8.16	102.94	± 7.71	0.94*	± 0.56
Rt. Ramus	64.46	± 3.19	63.75	± 3.77	0.90*	± 0.41
Lt. Ramus	62.67	± 6.29	63.25	± 5.88	0.68*	± 0.37
Rt. Total Mn.	136.10	±12.23	135.79	±11.72	0.80*	± 0.53
Lt. Total Mn.	137.15	±10.67	136.05	±10.78	1.24*	± 0.67
Mx. length	49.17	± 4.55	48.88	± 4.51	0.39*	± 0.84
Facial length	115.59	±11.84	112.82	±11.41	2.78*	± 0.89
Total	97.21	± 7.54	96.86	± 7.33	0.94*	± 0.62

* : Not significant at $\alpha = 0.1$

3. 두개안면 골격모형의 실제 계측 및 측모 두부방사선규격사진 계측

골격모형의 실제 계측은 A, B, C 모형에서는 각도 및 길이를 측정하였고, D 모형에서는 편측 하악체와 하악지의 길이 변화에 따른 공간상의 각도 계측 오차를 배제하기 위해 길이 계측만을 시행하였다. 계측은 촬영 직전과 촬영 직후 두 번에 걸쳐 sliding caliper와 angle measuring device를 사용하여 시행하였고, 0.1 mm 단위, 0.1 °단위까지 측정하여 평균값을 구하였다. 또 실제 계측치 및 3차원 두부방사선규격사진에서의 계측치와 비교하기 위하여, 촬영된 정모와 측모 두부방사선규격사진 중 측모 방사선사진을 digitizer(A30TL.E, Numonics Corp., USA)로 컴퓨터에 입력한 후 두부방사선규격사진 분석프로그램 (Quick Ceph Image™, Orthodontic Processing, USA)을 사용하여 계측치를 구하였다. 이때 3차원 선 계측 항목 중 intergonion과 intercondylion은 제외하고, 측모 두부방사선규격사진에서 좌우 Gonion의 중점과 좌우측 Condylion의 중점, 그리고 Menton을 사용하여 평균 하악체, 하악지, 전체 하악 길이의 세 항목을 추가하였다. 이와 대응되는 실제 모형에서의 계측 항목은 해당 좌우측 길이의 평균값을 사용하였다.

4. 3차원 두부방사선규격사진과 실제 모형 및 측모 두부방사선규격사진과의 비교

3차원 두부방사선규격사진과 실제 모형 및 측모 두부방사선규격사진의 비교는 전 모형의 선 계측치와 D 모형을 제외한 나머지 모형의 각도 계측치를 사용하여 다음과 같이 시행하였다.

첫번째로 3차원 두부방사선규격사진계측치와 실제 모형 계측치 사이의 오차를 구하고, 실제의 길이에 대한 오차의 백분율을 구하였다. 그리고, 실제 모형 계측치에 대한 3차원 두부방사선규격사진 계측치의 백분율로서 3차원 두부방사선규격사진의 확대율을 구하였다.

두번째로 같은 과정을 실제 계측치와 측모 두부방사선규격사진 계측치 간에도 실시하였다. 또, 실제 모형 계측치와 3차원 두부방사선규격사진 계측치간, 실제 계측치와 측모 두부방사선규격사진 계측치간에 각 항목별로 student t-test를 실시하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 3차원 두부방사선규격사진의 계측치와 실제 모형의 계측치 사이의 오차

3차원 두부방사선규격사진의 계측치과 실제 모형의 계측치 사이의 오차는 선 계측에서 평균 0.94±0.62 mm이며, 각도 계측에서 1.22±0.82 °로 나타났다(Table 2, 3). 실제 계측치에 대한 계측치간 오차의 백분율은 선 계측에서 0.99±0.72% 였으며 각도 계측에서는 6.16±7.28% 였다. 그리고 3차원 두부방사선규격사진은 실제 계측치에 비해 선 계측에서는 100.31±0.91%, 각도 계측에서는 105.72±12.07%의 확대를 보이는 것으로나타났다(Table 6, 7).

그러나 3차원 두부방사선규격사진의 계측치와 실

Table 3. Comparison between three-dimensional cephalograms and actual models in angular measurements.

Angular measurement (°)	3-dimensional cephalometrics		Actual model		Difference | 3D-Actual |	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Gonial angle	113.25	±14.19	108.75	±11.55	4.69	± 2.37
Rt. Go angle	108.75	±11.34	108.71	±11.55	0.82*	± 1.75
Lt. Go angle	111.30	±12.23	108.75	±11.55	2.55*	± 1.02
SN-Pal plane	6.06	± 3.96	5.75	± 4.20	0.51*	± 0.40
SN-Occ plane	22.50	±10.37	21.50	±10.31	1.00*	± 0.77
SN-Mn. plane	21.99	±11.47	21.00	±11.13	1.01*	± 0.59
Pal-Mn. plane	17.27	± 7.20	17.25	± 7.23	0.79*	± 0.63
Pal-Occ Plane	16.80	± 7.61	16.50	± 8.53	1.08*	± 0.82
SNA	89.77	± 2.85	89.78	± 2.98	0.48*	± 0.33
SNB	88.28	± 1.61	88.64	± 1.67	0.55*	± 0.35
ANB	2.66	± 2.32	2.65	± 2.43	0.48*	± 0.39
Saddle angle	125.65	± 4.41	126.25	± 4.20	0.69*	± 0.42
Total	60.36	± 7.46	59.63	± 7.28	1.22*	± 0.82

* : Not significant at $\alpha = 0.1$

Table 4. Comparison between conventional lateral cephalograms and actual models in linear measurements.

Linear measurement (mm)	Conventional Lat. cephalometrics		Actual model		Difference | Lat.-Actual |	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Rt Mn.Body	102.48	± 7.71	102.21	± 6.90	2.16	± 1.90
Lt. Mn.Body	99.78	± 7.63	102.94	± 7.71	3.17†	± 2.66
Av. Mn.Body	101.13	± 7.50	102.58	± 7.24	1.45	± 1.22
Rt. Ramus	73.41	± 4.58	63.75	± 3.77	9.66†††	± 0.88
Lt. Ramus	69.29	± 5.53	63.25	± 5.88	6.04†††	± 0.54
Av. Ramus	71.35	± 5.01	63.50	± 4.78	7.85†††	± 0.35
Rt. Total Mn.	142.73	±11.97	135.79	±11.72	6.93††	± 1.68
Lt Total Mn.	141.93	±12.68	136.05	±10.78	6.34†	± 2.95
Av. Total Mn.	142.33	±12.26	135.92	±11.21	6.41†	± 1.84
Mx. length	55.20	± 5.18	48.88	± 4.51	6.33††	± 0.73
Facial length	127.30	±12.69	112.82	±11.41	14.48†††	± 1.50
Total	102.45	± 8.43	97.06	± 7.81	6.44††	± 1.48

† : Significant at P < 0.05 †† : Significant at P < 0.005 ††† : Significant at P < 0.0001

제 모형의 계측치간의 통계학적인 비교 결과 두 계측치는 선 계측 및 각도 계측 모두에서 차이를 보이지 않았다($\alpha = 0.1$).

2. 측모 두부방사선규격사진의 계측치와 실제 모형의 계측치 사이의 오차

측모 두부방사선규격사진의 계측치와 실제 모형의 계측치 사이의 오차는 선 계측에서 평균 6.44±1.48 mm이며, 각도 계측에서 1.70±0.94 °로 나타났다 (Table 4, 5). 실제 계측치에 대한 계측치간 오차의 백분율은 선 계측에서 7.93±1.33% 였으며 각도 계측에서는 8.95±14.04% 였다. 그리고 측모 두부방사선규격사진은 실제 계측치에 비해 선 계측에서는 106.99 ±1.45%, 각도 계측에서는 106.35±15.70%의 확대를 보였다(Table 6, 7).

측모 두부방사선규격사진의 계측치와 실제 모형의 계측치간의 통계학적인 비교 결과 선 계측의 경우 측모 두부방사선규격사진에서의 계측치는 실제 계측치와 유의성있는 차이를 보였다(P<0.005). 그러나, 각도 계측에서는 차이를 보이지 않았다($\alpha = 0.1$).

Table 5. Comparison between conventional lateral cephalograms and actual models in angular measurements.

Angular measurement (°)	Conventional Lat. cephalometrics		Actual model		Difference | Lat.-Actual |	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Gonial angle	111.36	±13.26	108.75	±11.55	2.77*	± 1.49
Rt. Go angle	109.98	±12.46	108.75	±11.55	1.51*	± 0.63
Lt. Go angle	112.57	±14.03	108.75	±11.55	4.09*	± 2.04
SN-Pal plane	6.73	± 3.94	5.75	± 4.20	1.92	± 0.62
SN-Occ plane	23.44	±10.22	21.50	±10.31	2.16*	± 0.69
SN-Mn. plane	23.10	±10.83	21.00	±11.13	1.88*	± 0.54
Pal-Mn. plane	18.80	± 8.11	17.25	± 7.23	1.53*	± 0.79
Pal-Occ Plane	17.66	± 7.55	16.50	± 8.53	1.32*	± 0.89
SNA	89.78	± 3.11	89.78	± 2.98	0.56*	± 0.32
SNB	88.35	± 1.76	88.64	± 1.67	0.53*	± 0.32
ANB	3.05	± 3.29	2.65	± 2.43	1.66	± 2.62
Saddle angle	125.99	± 4.27	126.25	± 4.20	0.51*	± 0.29
Total	60.90	± 7.73	59.63	± 7.28	1.70*	± 0.94

* : Not significant at $\alpha = 0.1$

Table 6. Comparison between three-dimensional cephalograms and conventional lateral in rate of linear error and maginification.

Linear measurement (%)	Rate of difference (3D-Actual)/Actual*100		Rate of magnification 3D/Actual*100		Rate of difference (Lat.-Actual)/Actual*100		Rate of magnification Lat./Actual*100	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Inter Go	0.41	± 0.32	100.24	± 0.46				
Inter Co	0.41	± 0.79	99.91	± 0.88				
Rt. Mn.Body	0.85	± 0.82	99.28	± 0.94	1.93	± 1.98	100.33	± 2.76
Lt. Mn.Body	0.92	± 0.55	99.41	± 0.90	2.91	± 2.41	97.09	± 2.42
Rt. Ramus	1.43	± 0.69	101.17	± 1.08	16.22	± 1.62	116.22	± 1.62
Lt. Ramus	1.11	± 0.64	99.02	± 0.83	10.43	± 0.60	110.43	± 0.60
Rt. Total Mn.	0.58	± 0.37	100.20	± 0.67	5.39	± 1.37	105.39	± 1.37
Lt. Total Mn.	0.93	± 0.50	100.82	± 0.67	4.56	± 2.27	104.30	± 2.74
Mx. length	0.81	± 1.82	100.61	± 1.90	12.93	± 0.67	112.93	± 0.67
Facial length	2.45	± 0.74	102.45	± 0.74	13.32	± 0.76	113.32	± 0.76
Av. Mn.Body					1.32	± 0.92	98.68	± 0.93
Av. Ramus					13.32	± 0.76	113.33	± 0.75
Av. Total Mn.					4.83	± 1.28	104.83	± 1.28
Total	0.99	± 0.72	100.31	± 0.91	7.93	± 1.33	106.99	± 1.45

Table 7. Comparison between three-dimensional cephalograms and conventional lateral cephalograms in rate of angular error and maginification.

Angular measurement (%)	Rate of difference (3D-Actual) /Actual*100		Rate of magnification 3D/Actual*100		Rate of difference (Lat.-Actual)/Actual*100		Rate of magnification Lat./Actual*100	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
Gonial angle	4.12	± 1.96	103.91	± 2.35	2.42	± 1.24	102.25	± 1.54
Rt Go angle	0.75	± 1 53	100.01	± 1.71	1.36	± 0.50	101.05	± 1.01
Lt. Go angle	2.30	± 0.86	102.30	+ 0.86	3.59	± 1.67	103.29	± 2 22
SN-Pal plane	9.25	±11.08	113.59	±21.91	38.33	±64.35	117.94	±79.08
SN-Occ plane	6.72	± 6.07	106.72	± 6.07	11.63	±18.88	109.63	±20.00
SN-Mn. plane	7.31	± 7.79	106.79	± 8.26	10.78	±14.40	110.78	±14.40
Pal-Mn. plane	5.40	± 4.87	100.11	± 7 33	9.29	±10.11	109.29	±10.11
Pal-Occ Plane	13.53	±23.38	122.99	±45.41	9.18	±14.65	107.15	±15.77
SNA	0.54	± 0.36	99.99	± 0.65	0.62	± 0.36	99.99	± 0.72
SNB	0.62	± 0.39	99.59	± 0.62	0.60	± 0.36	99.67	± 0.62
ANB	22.83	±28.72	113.14	±49.30	19.17	±41.79	115 38	±42.50
Saddle angle	0.55	± 0.33	99.52	± 0.42	0.40	± 0.22	99.79	± 0.42
Total	6.16	± 7.28	105.72	±12.07	8.95	±14.04	106.35	±15.70

Ⅳ. 총괄 및 고안

교정 임상에서 널리 사용되어지고 있는 기존의 두부방사선규격사진은 3차원적인 대상물을 2차원적으로 나타낸다는 방사선사진 고유의 한계 때문에 실제 계측에 있어서 많은 오차를 보이게 된다. 따라서 이를 보상하기 위한 많은 연구들이 두부방사선규격사진 개발 초기부터 꾸준히 진행되어져 왔다.

Broadbent는 방사선의 확산 효과에 의해 촬영된 사진에서 좌우측 구조물의 길이가 서로 다르게 나타나는 현상을 측모와 정모 방사선사진을 동시에 사용함으로서 보상하고자 하였다. 그는 Broadbent-Bolton Orientator를 개발하여 측모 방사선사진에서의 확대를 정모 방사선사진에서의 거리 비율에 의해 측정하는 방법을 제시하였다. Wylie과 Elasser, Vogel[2] 등도 기존의 Orientator를 개량한 Compensator를 사용하여 측모 방사선사진에서의 확대를 보상하고자 하였고, Bergersen[4]은 두부방사선규격사진에서의 선 계측 오차에 대한 보상 수치표를 제시하기도 하였다. 하지만, Tsao 등[5]은 두개안면 골격의 실제 길이와 방사선사진상의 길이를 비교한 연구에서 방사선사진상의 길이가 실제에 비해 7.32%의 확대에서 69.63%의 축소에 이르기까지 다양하게 나타난다고 하였으며, 이러한 확대율은 공간상의 선 위치, 필름과의 거리, 방사선의 각도 등에 의해 다양하게 변하므로 방사선사진상의 길이 확대율은 예측할 수도, 보상할 수도 없다고 하였다.

Slagsvold 등[19]은 gonial angle의 계측실험에서 방사선사진상의 각도 계측도 선 계측과 유사한 확대를 보이며, 하악의 형태에 의해 확대율이 달라지므로 각도 역시 보상 불가능하다고 하였다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 3차원적인 대상을 3차원적으로 평가하려는 일련의 연구들이 행해졌다. Grayson 등[14]은 측모와 정모 두부방사선규격사진에서 얻은 계측점들을 컴퓨터로 조합하여 3차원 방사선사진을 형성하는 방법을 제시하였고, Baumrind와 Moffitt 등[21]은 측모와 정모 방사선사진이 서로 직각으로 놓여지는 biplanar radiography 대신 동일 평면상에 위치하는 coplanar radiography를 사용하여 두개안면 골격의 3차원 형태를 재현하였다. 이는 측모(혹은 정모) 두부방사선규격사진과 함께 동일 평면상으로 13 °이동하여 촬영한 사위 방사선사진을 사용

하게 되므로 biplanar radiography에 비하여 계측점의 인지가 용이하다는 장점이 있는 반면 사위 방사선사진이 교정 치료시 통상적으로 촬영되고 사용할 수 있는 사진이 아니라는 점이 단점으로 지적되었다. Brown과 Abbott 등[13]은 하나의 방사선원을 사용하여 환자의 두부를 직각으로 회전시켜서 측모와 정모 두부방사선규격사진을 채득한 후 photogrammetric equation을 사용하여 계측점의 X, Y, Z값을 구하는 방법을 제시하였고, Trocmé와 Sather 등[15]은 환자의 두부와 방사선원 사이에 위치시킨 metal ball을 함께 촬영한 후 공간 vector를 사용하여 방사선원의 위치와 각 계측점의 위치를 결정하는 방법을 제안하였다.

Bookstein 등[16]은 하악골의 3차원 두부방사선규격사진 형성시 평균 2.8 mm의 선 계측 오차를 보인다고 하였고, 이에 비해 Trocmé와 Sather 등[15]은 phantom을 사용한 연구에서 선 계측 오차가 평균 0.18 mm로 나타난다고 하였다. Bookstein 등[16]의 연구에서 실제 계측과 3차원 두부방사선규격사진 계측과의 오차가 가장 크게 나타난 계측점이 condylion인 것으로 보아, 이러한 차이는 곡면상의 한 계측점을 측모와 정모 방사선사진에서 동일하게 위치시키기 힘들고, 또 이러한 계측점의 위치를 실제 하악골 계측시에 정확히 반영할 수 없음에 기인한다고 생각된다. 본 연구의 결과 3차원 두부방사선규격사진은 실제 모형과 비교할 때 선 계측 항목에서 평균 오차 0.94 mm, 확대율 100.31%로서 상당히 높은 정확성을 보였으며(α=0.1), 특히 수평 길이 계측이 수직 길이 계측보다 더 높은 정확성을 보이는 것으로 나타났다. 수직 길이 계측은 방사선 중심선이 통과하는 지점으로 부터 멀어질수록 오차가 커지는 것으로 나타났는데, 이는 3차원 두부방사선규격사진의 각도가 실제에 비해 약 105% 정도 확대를 보이는 것과 관련이 있다고 생각되었다.

이에 비해 측모 두부방사선규격사진은 길이 계측에서 평균 6.44 mm의 오차를 보였으며, 실제 길이에 비해 107% 정도 확대되는 것으로 나타났다. 특히 측모 두부방사선규격사진의 선 계측 확대에 대한 기존의 연구[4,5,6]에서 나타난 바와 같이, 방사선사진과 평행하게 위치하는 시상면에서의 선 계측은 110% 이상의 확대를 보였다. 그러나 시상면에 대해 비스듬하게 놓이는 대상물의 길이는 방사선사진상에서 실제보다 축소되어 나타나게 되므로, 본 연구에서도 하악체 길이 및 전체 하악의 길이는 공간적 위치에 의한 축소와 방사선사진 고유의 확대가 서로 상쇄되어 방사선사진상의 길이가 실제와 거의 유사하거나 오히려 축소되는 양상을 보였다. 이에 의해 측모 방사선사진에서의 전체적인 길이 확대율이 낮아진 것으로 생각된다.

3차원 두부방사선규격사진에서 좌우측의 확대율은 서로 차이를 보이지 않았으며, 좌우측의 길이가 서로 다른 D 모형에서도 확대율이 동일하게 나타났다. 이에 비해 측모 두부방사선규격사진에서는 상대적으로 방사선원에 더 가까운 오른쪽의 계측항목에서의 확대가 더 크게 나타났다. 그러므로 3차원 두부방사선규격사진은 골격적 비대칭이 존재할 경우 좌우측의 길이 차이가 확대율 정도에 따라 상쇄되거나 강조될 위험이 있는 측모 두부방사선사진에 비해 더 정확한 진단자료로 쓰일 수 있다고 생각되었다.

각도 계측에서 3차원 두부방사선규격사진은 평균 1.22 °의 오차와 105.72%의 확대율을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 방사선 중심선이 통과하는 부위를 중심으로 하여 시상면에 방사상으로 배열된 각도들이 확대되어 나타났다. 즉, SN-Palatal plane angle, SN-Occlusal plane angle, SN-Mandibular plane angle, Palatal-Occlusal plane angle 등이 확대를 보였다. 그러나 이와 수직으로 위치하는 SNA, SNB 등은 거의 같거나 약간 축소되는 양상이 나타났다. 예외적으로 ANB 각은 확대를 보였는데, 이는 실제 모형에서의 각도가 1 ° 미만일 경우, 약간의 오차가 존재해도 확대율이나 오차율이 대단히 커지는 것에 기인하는 것으로 보였다. 측모 두부방사선규격사진은 106.35%의 확대를 보여 기존의 연구[19,22]와 일치하였다. 특히, gonial angle은 Slagsvold[19] 등의 결과와 같이 방사선사진에서 가까운 쪽이 먼 쪽에 비해 더 큰 확대를 보였다. 3차원 두부방사선규격사진의 각도 계측에서와 같이 측모 두부방사선 규격사진도 시상면에 위치한 각들의 확대가 나타났는데, 이러한 확대는 어떠한 각도를 이루는 시상면상의 한 정점이 시상면에서 벗어날 경우 그 각도가 실제보다 더 커지기 때문[3]이라고 생각된다. 이상에서 나타난 바와 같이 각도 계측에서는 3차원 두부방사선규격사진과 측모 두부방사선규격사진 모두 유사한 확대 양상을 보이며 실제 모형 측정치와의 오차도 유사하였다. 이러한 결과는 선 계측에서 측모 두부방사선규격사진이 전반적인 확대를 보이는 것과 대조를 이루었다.

본 연구의 결과 3차원 두부방사선규격사진이 임상적으로 사용가능한 정확성을 보임을 알 수 있었으나, 이러한 방법을 실제 임상에서 사용할 수 있기까지는

아직 몇 가지 해결되어야 할 문제점들이 있다고 생각된다. 첫번째로 3차원 두부방사선규격사진 형성을 위해 정모와 측모 방사선사진을 촬영하는 조건이다. 서로 직각으로 배열된 두 개의 방사선원을 사용하여 환자 두부주위에 배치된 두 장의 필름을 동시에 촬영하는 것이 가장 이상적인데, 이는 하나의 방사선원만을 사용하고 환자를 회전시켜 측모와 정모를 따로 촬영할 경우, 회전시의 두부 움직임에 의한 오차가 발생할 수 있기 때문이다[1,9,14]. 하지만 임상에서 사용하고 있는 기존의 방사선 기기로 3차원 방사선사진을 촬영하려 할 경우 측모와 정모를 따로 촬영할 수 밖에 없으므로, 회전시 환자 두부의 움직임을 최소로 할 수 있는 방법이 필요하다. 기존의 nasion relator대신 acrylic resin 등을 사용하여 탈착 가능한 individual nasion relator를 사용하거나 chin rest 등을 사용하는 방법이 가능하다고 생각된다.

또 한가지는 실제 환자를 촬영시, 측모와 정모 방사선사진에서 하나의 계측점을 동일하게 인지해 내기 힘들다는 점이다[14,16,20,21]. 볼록한 곡면 위의 한 점인 Gonion이나 Menton 등은 측모와 정모에서 서로 다르게 인지될 수 있고, 또 Sella 등과 같이 측모에서는 정확히 인지될수 있으나 정모에서는 인지하기 힘든 계측점이 존재한다는 것이다. 이를 보완하기 위하여 다른 평면에서의 방사선사진을 사용하거나[5,6], 측모 및 정모와 함께 45 ° 측사위 방사선사진을 촬영하여 분석하는 방법[18] 등이 제시되었지만, 이러한 방법들이 실제 사용되기 위해서는 더 많은 연구가 이루어져야 하리라고 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 교정 임상에서 흔히 촬영되는 측모와 정모 두부방사선규격사진을 사용하여 3차원적인 두개안면 형태를 재현하였을 때 그 방법의 정확성을 고찰해 보고, 기존의 측모 두부방사선규격사진과 비교하여 어떠한 차이를 보이는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 두개안면 골격모형의 3차원 두부방사선규격사진을 형성하고, 선 계측과 각도 계측을 시행하였다. 여기서 얻어진 계측치들을 실제 계측치 및 측모 두부방사선규격사진에서의 계측치와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3차원 두부방사선규격사진의 선 계측 평균 오차는 0.94±0.62 mm, 평균 확대율 100.31±0.91% 이었으며 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).
2. 측모 두부방사선규격사진은 선 계측에서 평균 오차 6.44±1.48 mm, 평균 확대율 106.99±1.45%로서 하악체를 제외한 모든 선 계측에서 확대를 보였다 ($P<0.005$).
3. 3차원 두부방사선규격사진에서의 각도 계측은 평균 오차 1.22±0.82 °, 평균 확대율 105.72±12.07%로서 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).
4. 측모 두부방사선규격사진은 평균 오차 1.70±0.94 °, 평균 확대율 106.35±15.70%으로 실제 계측치와 차이를 보이지 않았다(α=0.1).

참고 문헌

1. Broadbent, B. : A new x-ray technique and its application to orthodontia. Angle Orthod. 1:45-66;1931.
2. Vogel, C. : Correction of frontal dimensions from head x-ray. Angle Orthod. 37:1-8;1967.
3. Baumrind, S. and Frantz, R. : The reliabilityof head film measurements. 2. Conventional angular and linear measures. Am. J. Orthod. 60:505-517;1971.
4. Bergersen, E. : Enlargement and distortion in cephalometric radiography: Compensation tables for liner measurements. Angle Orthod. 50:230-244;1980.
5. Tsao, D., Kazanoglu, A. and McCasland, J.: Measurability of radiographic images. Am. J. Orthod. 84:212-216;1983.
6. Järvinen, S. : A study of the factors causing differences in the relative variability of liner radiographic cephalometric measurements. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 92;17-23: 1987.
7. Mitani, H. and Brodie, A.: Three plane analysis of tooth movement, growth, and angular changes with cervical traction. Angle Orthod. 40:80-94;1970.
8. Lude, J.: Technique for the determination of the size of the mandibular apical base ; Its application to growth studies. Angle Orthod. 37:272-284;1967
9. Cutting, C., Bookstein, F., Grayson, B., Fellingham, L. and McCarthy, J.: Three dimensional computer-assisted design of craniofacial surgical procedures: Optimization and interaction with cephalometrics and CT-based models. Plast. Reconstr. Surg. 69:877-885;1986.
10. Rune, B., Sarnäs, K., Selvik, G. and Jacobsson, S. : Roentgen stereometry in the study of craniofacial anomalies - the state of the art in Sweden. Br. J. Orthod. 13:151-157;1986.
11. Motoyoshi, M., Yamazaki, T., Inoue, K., Kura, M., Yoshida, T., and Namura, S.: Studies on three dimensional evaluation of maxillo-mandibular morphology : Morphology of skeletal Class III: J. Jpn. Orthod. Soc. 45:181-195;1986.
12. Inoue, K., Yamazaki, T. Motoyoshi, M., Matsunaga, S., Hayashi, M., and Namura, S.: Studies on 3-dimensional

prediction of orthognatic surgery cases; 3-dimensional computer graphic surgery for the skeletal Class III cases. J. Jpn. Orthod. Soc. 45:658-666;1986.
13. Brown, T. and Abbott, A.: Computer-assisted location of reference points in three dimensions for radiographic cephalometry. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 95:490-498; 1989.
14. Grayson, B., Cutting, C., Bookstein, F., Kim, H. and McCarthy, J. : The three-dimensional cephalogram : Theory, technique, and clinical application. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 94:327-337;1988.
15. Trocmé, M., Sather, H. and An, K. : A biplanar cephalometric stereo-radiography technique. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 98:168-175;1990.
16. Bookstein, F., Grayson, B. Cutting, C., Kim, H. and McCarthy, J. : Landmarks in three dimensions: Reconstruction from cephalograms versus direct observation. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 100:133-140;1991.
17. Kawakami, M., Ishikawa, H. Yamamura, M. and Nakamura, S. : Three-dimensional display of maxillo-facial structures using cephalograms with the aid of templete technique. J. Jpn. Orthod. Soc. 53(2):192-201;1994.
18. Fujimoto, M. and Hanada, K. : Three dimensional reconstruction of maxillofacial structure by using four directions of cephalograms. J. Jpn. Orthod. Soc. 53(4):491-501;1994.
19. Slagsvold, O. and Pedersen, K. : Gonial angle distortion in lateral head films: A methodologic study. Am. J. Orthod. 71:554-564;1977.
20. Baumrind, S., Moffitt, F. and Curry, S. : Three-dimensional x-ray stereometry from paired coplanar image: A progress report. Am. J. Orthod. 84:292-312;1983.
21. Baumrind, S., Moffitt, F. and Curry, S.: The geometry of three dimensional measurement from paired coplanar x-ray images. Am. J. Orthod. 84:313-322;1983.
22. Ahlqvist, J., Eliasson, S., and Welander, U.: The effect of projection errors on angular measurements in cephalometry. Eur. J. Orthod. 10:353-361:1988.

-ABSTRACT-

The comparative study of three-dimensional cephalograms to actual models and conventional lateral cephalograms in linear and angular measurements.

Gi-Sun BAE, Soo-Byung Park, Woo-Sung Son

Department of Dentistry, College of Dentistry, Pusan National University.

Conventional cephalometrics have inherent errors because their evaluation is performed in two-dimension for three-dimensional object. To compensate these errors, three-dimensional cephalograms - derivation of three-dimensional data from conventional lateral and postero-anterior cephalograms - were developed.

In this study, the accuracy and precision of three dimensional cephalograms were determined by means of 10 linear and 12 angular measurements on 36 acrylic skull models and by the comparison of conventional lateral cephalograms.

The results were as follows :

1. Mean difference between three-dimensional cephalograms and actual models in linear measurements was 0.94±0.62 mm and mean rate of magnification of three-dimensional cephalograms was 100.31±0.91%. There were no statistically significant differences between three-dimensional cephalograms and actual models in linear measurements(α =0.1).
2. Mean difference between conventional lateral cephalograms and actual models in linear measurements was 6.44±1.48 mm and mean rate of magnification of lateral cephalograms was 106.99±1.45%. There were statistically significant differences between lateral cephalograms and actual models in linear measurements(P<0.005).

3. Mean difference between three-dimensional cephalograms and actual models in angular measurements was 1.22±0.82° and mean rate of magnification of three-dimensional cephalograms was 105.71±12.07%. There were no statistically significant differences between three-dimensional cephalograms and actual models in angular measurements(α =0.1).
4. Mean difference between conventional lateral cephalograms and actual models in angular measurements was 1.70±0.94° and mean rate of magnification of lateral cephalograms was 106.35±15.70%. There were no statistically significant differences between lateral cephalograms and actual models in angular measurements(α =0.1). There were similarity between three-dimensional and lateral cephalograms in angular measurements.

KOREA J. ORTHOD. 1997 ; 27 : 129-140

※ **Key words** : three-dimensional cephalograms