

삼차원 전산화단층촬영사진과 측모두부 방사선규격사진의 계측자에 따른 계측오차에 대한 비교분석

김재영¹ · 이동근¹ · 이상한²

¹대전선치과병원 구강악안면외과, ²경북대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실

Abstract (J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg 2010;36:262-9)

Comparison of the observer reliability of cranial anatomic landmarks based on cephalometric radiograph and three-dimensional computed tomography scans

Jae-Young Kim¹, Dong-Keun Lee¹, Sang-Han Lee²

¹Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Sun Dental Hospital, Daejeon, Korea

²Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Introduction: Accurate diagnosis and treatment planning are very important for orthognathic surgery. A small error in diagnosis can cause post-operative functional and esthetic problems. Pre-existing 2-dimensional (D) chephalogram analysis has a high likelihood of error due to its intrinsic and extrinsic problems. A cephalogram can also be inaccurate due to the limited anatomic points, superimposition of the image, and the considerable time and effort required. Recently, an improvement in technology and popularization of computed tomography (CT) provides patients with 3-D computer based cephalometric analysis, which complements traditional analysis in many ways. However, the results are affected by the experience and the subject of the investigator.

Materials and Methods: The effects of the sources human error in 2-D cephalogram analysis and 3-D computerized tomography cephalometric analysis were compared using Simplant CMF program. From 2008 Jan to 2009 June, patients who had undergone CT, cephalo AP, lat were investigated.

Results:

1. In the 3 D and 2 D images, 10 out of 93 variables (10.4%) and 11 out 44 variables (25%), respectively, showed a significant difference.
2. Landmarks that showed a significant difference in the 2 D image were the points frequently superimposed anatomically.
3. Go Po Orb landmarks, which showed a significant difference in the 3 D images, were found to be the artificial points for analysis in the 2 D image, and in the current definition, these points cannot be used for reproducibility in the 3 D image.

Conclusion: Generally, 3-D CT images provide more precise identification of the traditional cephalometric landmark. Greater variability of certain landmarks in the mediolateral direction is probably related to the inadequate definition of the landmarks in the third dimension.

Key words: Anatomic landmark, Reliability, Cephalographic radiograph, 3 dimensional computed tomography (3-D CT)

[paper submitted 2009. 12. 28 / revised 2010. 5. 3 / accepted 2010. 5. 11]

I. 서 론

악안면 기형 환자들을 위한 악교정 수술에서 진단을 위한 실제적이고 정량적인 방법으로 측모두부 방사선규격사진이 임상에서 많이 사용되고 있다. 이는 3차원적인 입체 구조물을 2차원적 평면에 투영하는 것이므로 크기 및 형태

의 왜곡현상이 발생하여 부정확한 결과를 야기 시킬 수도 있다. 또한 악교정 수술의 발달로 안면비대칭 등 악안면 기형의 치료범위가 넓어져 악안면 형태에 대한 정확한 3차원적인 평가가 필요한데 기존의 2차원적인 측모두부 방사선 규격사진만으로는 한계가 있는 실정이다. 따라서 3차원적으로 분석, 진단하려는 노력이 꾸준히 계속되어져 왔고¹⁻⁹, 그 결과 3-dimensional computed tomography (3-D CT)의 이용으로 보다 정확한 3차원 입체영상의 채득이 가능하게 되었다.

3-D CT를 이용할 경우 환자의 움직임에 의한 상의 확대나 왜곡이 거의 없어 정확한 실제의 길이와 크기를 측정할 수 있을 뿐 아니라, 상의 중첩으로 인하여 생기는 기준점 결정의 어려움을 배제할 수 있다. 게다가 이를 3차원 상으

이 상 한

700-412 대구광역시 중구 삼덕동 2가 188-1번지

경북대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실

Sang-Han Lee

Department of Oral and Maxillofacial Surgery,

School of Dentistry, Kyungpook National University

188-1 Samduk-dong 2 ga, Jung-gu, Daegu, 700-412, Korea

Tel: +82-53-600-7551 Fax: +82-53-426-5365

E-mail: shalee@knu.ac.kr

로 재구성 하게 되면, 환자의 골격적인 형태를 가시화 할 수 있고, 두부 위치의 변화에 의해 생기는 상의 왜곡을 줄일 수 있는 장점 등이 있다¹⁰⁻¹⁵.

하지만 이러한 장점을 가진 3-D CT 분석법은 임상적 적용에 있어서 아직도 미흡한 부분이 많고, 또한 3-D CT 분석 시 사용되는 기준점 및 분석법에 대한 검증이 완전히 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 이러한 기준점 및 분석법에 대한 객관화의 시도가 필요한 실정이다^{10,11,16-18}. 즉 3-D CT 영상이 악안면 기형 환자의 진단도구로 사용되기 위해서는 기존의 사용하던 두부계측 방사선사진에서의 기준점(landmark)들이 3차원 영상에서도 적용될 수 있는지 여부에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 측모두부 방사선규격사진과 3-D CT에서 기준점을 V-ceph version. 4.0 (Osstem, Seoul, Korea)과 SimPlant Pro version. 12.02 (Materialise Dental NV, Leuven, Belgium) 프로그램을 이용하여 계측 및 분석을 하였고, 계측자간의 오차(inter-observer variations)로 인한 재현성을 조사하고, 2차원과 3차원간 재현성의 차이를 비교하고자 하였다.

Ⅱ. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2008년 1월부터 2009년 6월까지 대전 선치과 병원 구강악안면외과에 하악 전돌증을 주소로 악교정 수술을 위하여 내원한 환자 22명(남자 9명, 여자 13명, 평균 나이 21.2세)에게 시행한 측모두부 방사선규격사진과 3-D CT 촬영사진들을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

1) 방사선사진 촬영 및 계측 기준점 설정

(1) 측모두부 방사선규격사진

환자의 술전 진단을 위하여 Orthophos G5 (Sirona, Bensheim, Germany)를 이용하였으며, 환자의 두부는 고정장치(cephalostat)를 부착하여 최대교두감합 상태로 입술 및 이부 연조직의 힘을 뺀 상태인 natural head position에서 촬영하였다. 관전압 73 kVp, 관전류 15 mA의 촬영조건으로, 촬영시간은 7.4초였다. 촬영된 두부 방사선규격사진을 DICOM (digital image communication in medicine) 3.0 file로 전환하였으며 V-ceph version 4.0 (Osstem, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 재구성하였다.(Fig. 1) 측모두부 방사선규격사진상 2차원 좌표값 산출은 계측점을 표시하여 X, Y 좌표값으로 입력하였다. X축은 프로그램 상에서 가로축, Y축을 세로축으로 설정하였다. X축의 기준점은 측모두부 방사선규격사진상 좌, 우측 최하방점을 이용하여 기준선을 설정하였고, Y축은 좌측 최하방점과 최상방점을 이용

하여 기준선을 설정하였다.

(2) 삼차원 전산화단층촬영사진

환자의 술전 진단을 위하여 CBCT (cone-beam computed tomography) 장치를 이용하여 방사선영상을 촬영하였다. CBCT 촬영 장치로는 ILUMA (IMTEC Corp, Ardmore, OK, USA)의 CBCT unit을 사용하였으며, 환자의 두부는 FH 평면이 촬영실 바닥에 평행하도록 위치시키고 두부 고정 장치를 이용하여 고정시켰다. ILUMA의 CBCT unit은 체적소의 크기를 0.2 mm로 설정하였고, 관전압 120 kVp, 관전류 3.8 mA의 촬영조건으로, 촬영시간은 40초가 소요되었다.

촬영된 전산화단층영상을 DICOM 3.0 files로 전환하였으며 SimPlant P개를 이용하여 3차원 영상으로 재구성 하였다.(Fig. 2)

X plane은 측면(axial view)상에서 시상면과 전두면에 각각 수직인 면으로 설정하였고, Y plane은 전두면(frontal view)상에서 양쪽 porion을 지나며, 시상면에 수직인 면으로 설정하였다. 그리고 Z plane은 시상면(sagittal view)상에서 nasion, ANS (anterior nasal spine), dens of axis 세 점으로 구성된 면을 안면 정중면으로 설정하였다.(Fig. 3)

2) 계측방법

(1) 측모두부 방사선규격사진

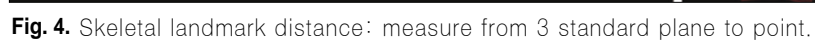
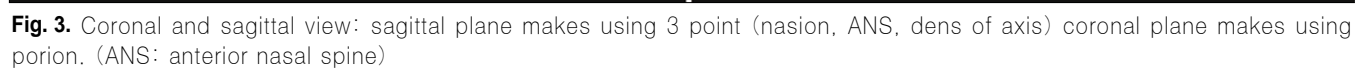
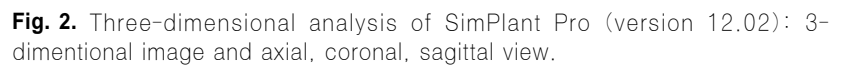
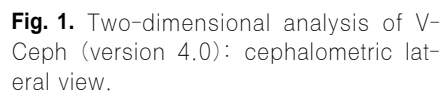
본 연구에서는 2차원 상인 측모두부 방사선규격사진에서는 Table 1에서 제시한 계측점을 사용하였고, 3차원 상인 3-D CT에서는 Table 2에 제시한 계측점을 사용하였다. 각 계측점의 좌표(X, Y coordinates) 산출은 모니터에서 부분적으로 확대시킨 후 각 계측점이 선명하게 보이는 위치에 원하는 부위를 표시하였다. 각 계측점의 X, Y 좌표값은 소수점 둘째자리까지 기록하였다.

(2) 삼차원 전산화단층촬영사진

일련의 axial CT data를 3차원 영상으로 합성시킨 이미지는 3차원 좌표를 가진 가상의 육면체 내 공간상에 위치시킨 후, 각 계측점의 입체좌표(X, Y, Z coordinates) 산출하였다. 모니터에서 각 계측점이 선명하게 보이는 위치로 3차원 영상을 회전, 확대시켜 원하는 부위에 계측점을 표시하였다. 각 계측점의 X, Y, Z 좌표값은 소수점 둘째 자리까지 기록하였다.(Fig. 4)

3) 계측점의 재현성 비교

측모두부 방사선규격사진에서 계측점의 2차원 좌표값 산출은 관찰이 가능한 계측점에 대해 트레이싱 한 후 좌표값(X, Y)으로 입력하였다. 마찬가지로 계측자 내에서의 각 계측점의 오차(intra-observer variations)를 줄이기 위한 작업 후, 계측자간의 오차(inter-observer variations)를 알아보기 위하여 역시 4명(저자 외 구강악안면외과 의사 2명, 교정과 의사 1명)의 계측자가 계측하였다.



3-D CT상에서의 각 계측점의 3차원 좌표값(X, Y, Z)의 산출은 계측자 내에서의 각 계측점의 오차를 줄이기 위하여, 본 연구를 위한 계측점 설정을 시행하기 전에 동일 과정을 반복하여 오차가 표준편차 이내가 되도록 연습하였고, 전체 계측 항목에 대해 유의한 차를 보이는 항목의 비율이 5% 유의수준 이하로 얻어질 때까지 전체표본에 대한 수정이 반복되었다. 그후, 계측자간의 오차를 알아보기로 4명(저자 외 구강악안면외과 의사 2명, 교정과 의사 1명)의 계측자가 계측하였다.

4) 통계방법

각 환자마다 골격의 크기에 차이가 있었으며 3-D CT상의 가상의 3차원 육면체 공간상에서(0, 0, 0) 절대적 좌표값을 알 수 없었기에 계측자 간의 각 계측점의 오차에 대한 평균과 표준편차의 범위로 재현성을 알아보았다. 측모두부 방사선규격사진상에서의 X, Y 좌표를 계측자간 비교를 위해 SPSS 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(ANOVA)을 시행하였고, 3D-CT상에서의 X, Y,

Z 좌표를 계측자간 비교하기 위해 마찬가지로 일원배치분산분석(ANOVA)을 시행하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 계측자 내 오차의 비교

이차원 상에서 각 계측자 내 오차의 평균은 X축 방향에서 0.29, Y축 방향에서 0.24이고, 3차원 상에서 각 계측자 내 오차의 평균은 X축 방향에서 0.18, Y축 방향에서 0.22, Z축 방향에서 0.27로 나왔다. 이 결과들은 모든 부분에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.($P>0.05$)

2. 재현성 비교

1) 측모두부 방사선규격사진상에서 각 계측점의 재현성 비교

측모두부 방사선규격사진상에서 계측자 내 오차의 평균

Table 1. Definition of landmarks on cephalometric lateral view

Landmarks	Definition
Nasion	The "V" notch of frontal, and nasal bones
Sella	The center of Sella Turcica
A-Point	The deepest point between ANS and upper incisor alveolus
B-Point	The deepest point between Pog and lower incisor alveolus
ANS	The tip of the anterior nasal spine
PNS	The tip of the posterior nasal spine
Pogonion	The most anterior point of the symphysis
Gnathion	The most inferior point of mandible in the midline
Menton	The most inferior point on the symphyseal outline
Basion	The most inferior point of the occipital bone
Orbital	The most inferior point of the orbital contour
Gonion	The lowest posterior and most outward point of the mandible
Articulare	Intersection of inferior cranial base surface & posterior surface of condyle
Porion	The most superior point of external auditory meatus
U1T	The tip of the crown of the upper incisor
U1A	The tip of the root of the upper incisor
L1T	The tip of the crown of the lower incisor
L1A	The tip of the root of the lower incisor
U6T	The distal contact point of maxillary first molar
U6A	The distal buccal root of maxillary first molar
L6T	The distal contact point of mandibular first molar
L6A	The distal root of mandibular first molar

Table 2. Definition of landmarks on 3-D CT view

Landmarks	Definition
Nasion	Anterior limit of nasofrontal suture
Sella	The center of Sella Turcica
A-Point	The deepest point on contour of maxillary alveolar process
B-Point	The deepest point on contour of mandibular alveolar process
ANS	Anterior nasal spine
PNS	posterior nasal spine
Pogonion	most prominent point of mentum
Gnathion	lowest point on mentum
Menton	The most inferior point of mandible in the midline
Basion	Anterior midpoint on foramen magnum
Orbitale (R, L)	The most inferior point of the orbital contour
Gonion (R, L)	The lowest posterior and most outward point of the mandible
Porion (R, L)	The most superior point of external auditory meatus
U1T (R, L)	The tip of the crown of the upper incisor
U1A (R, L)	The tip of the root of the upper incisor
L1T (R, L)	The tip of the crown of the lower incisor
L1A (R, L)	The tip of the root of the lower incisor
U6T (R, L)	The distal contact point of maxillary first molar
U6A (R, L)	The distal buccal root of maxillary first molar
L6T (R, L)	The distal contact point of mandibular first molar
L6A (R, L)	The distal root of mandibular first molar

(3-D CT: 3-dimensional computed tomography)

은 X축 방향에서 0.12, Y축 방향에서 0.10이고, X축의 최대값은 0.43, 최소값은 0.02, Y축의 최대값은 0.23, 최소값은 0.04이었다.(Table 3) 그리고 계측점 모든 부분에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.(Table 4A) 그러나 계측자간 오차의 평균은 X축 방향에서 0.53, Y축 방향에서 0.50이고, X축의 최대값은 1.77이고 최소값은 0.11이었으며, Y축 방향의 최대값은 1.05, 최소값은 0.16이었으며, 일부 계측점에서는 즉, S의 X축 방향, PNS (the tip of the posterior nasal spine)의 Y축 방향, Or의 Y축 방향, Po의 X축 방향, U1A의

Table 3. Intra-observers error on lateral cephalogram (2D) and 3-D CT (3D).(mm)

	Author	Observer			Average
		1	2	3	
2D	X	0.12	0.32	0.35	0.29
	Y	0.10	0.29	0.27	0.24
3D	X	0.06	0.22	0.21	0.18
	Y	0.06	0.29	0.27	0.22
	Z	0.08	0.34	0.36	0.27

(2D: 2-dimension)

Table 4. A. Intra-observer error on lateral cephalogram (mm)

	X coordinate		Y coordinate	
	Mean	SD	Mean	SD
N	0.06	0.08	0.07	0.20
S	0.08	0.07	0.09	0.10
A	0.06	0.05	0.08	0.10
B	0.05	0.04	0.10	0.21
ANS	0.08	0.07	0.08	0.17
PNS	0.20	0.23	0.09	0.16
Pog	0.05	0.08	0.12	0.22
Gn	0.12	0.14	0.17	0.21
Me	0.21	0.23	0.10	0.11
Ba	0.22	0.25	0.23	0.47
Or	0.15	0.19	0.06	0.11
Go	0.43	0.24	0.13	0.20
Art	0.16	0.19	0.13	0.20
Po	0.12	0.14	0.06	0.07
U1T	0.02	0.03	0.04	0.05
U1A	0.30	0.32	0.22	0.21
L1T	0.02	0.03	0.04	0.03
L1A	0.10	0.14	0.18	0.21
U6T	0.10	0.13	0.10	0.11
U6A	0.11	0.16	0.12	0.20
L6T	0.05	0.07	0.08	0.09
L6A	0.10	0.12	0.11	0.14
Average	0.12	0.13	0.10	0.16

X, Y축 방향, L1A의 Y축 방향에서 유의한 차이를 보였다.($P<0.05$) 그리고 Gn의 X축 방향, Me의 X, Y축 방향, U1T의 Y축 방향에서도 유의한 차이를 보였다.(Table 4B, $P<0.05$)

2) 삼차원 전산화단층촬영사진상에서 각 계측점의 재현성 비교

삼차원 전산화단층촬영사진상에서 계측자 내 오차의 평균은 X축 방향에서 0.06, Y축 방향에서 0.06, Z축 방향에서 0.08이고, X축의 최대값은 0.38, 최소값은 0.02, Y축의 최대값은 0.18 최소값은 0.02, Z축의 최대값은 0.23, 최소값은 0.02이었다.(Table 3) 그리고 계측점 모든 부분에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.(Table 5A) 그러나 계측자간 오차의 평균은 X축 방향에서 0.26, Y축 방향에서 0.32, Z축 방향에서 0.40이고, X축의 최대값은 1.24이고 최소값은 0.07, Y축의 최대값은 0.77이고 최소값은 0.08, Z축 방향의 최대값은 1.14, 최소값은 0.08이었으며, 일부 계측점에서는 즉, A의 Y축 방향, PNS의 X, Y축 방향, Ba의 Y축방향, GoL의 X, Y축 방향에서 유의한 차이를 보였다.($P<0.05$) 그리고 Po의 X축 방향, GoR의 X, Y축 방향에서 유의한 차이를 보였다.(Table 5B, $P<0.05$)

Table 4. B. Inter-observer error on lateral cephalogram (mm)

	X coordinate		Y coordinate	
	Mean	SD	Mean	SD
N	0.21	0.32	0.32	0.81
S	0.35*	0.43	0.37	0.41
A	0.24	0.21	0.31	0.43
B	0.21	0.20	0.56	1.01
ANS	0.36	0.41	0.37	0.68
PNS	0.82	0.91	0.43*	0.52
Pog	0.20	0.34	0.62	0.98
Gn	0.61**	0.77	0.81	0.92
Me	0.83**	0.95	0.41**	0.52
Ba	0.99	1.34	1.05	1.88
Or	0.61	0.84	0.24*	0.45
Go	1.77	1.05	0.70	0.83
Art	0.62	0.73	0.74	0.85
Po	0.49*	0.62	0.24	0.31
U1T	0.10	0.13	0.17**	0.21
U1A	1.23*	1.29	0.94*	1.02
L1T	0.11	0.14	0.16	0.18
L1A	0.41	0.55	0.74*	0.89
U6T	0.51	0.66	0.43	0.46
U6A	0.57	0.63	0.61	0.84
L6T	0.20	0.24	0.31	0.34
L6A	0.42	0.46	0.55	0.63
Average	0.53	0.60	0.50	0.69

(*: $P<0.05$, **: $P<0.01$)

Table 5. A. Intra-observer error on 3-D CT (mm)

	X coordinate		Y coordinate		Z coordinate	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
N	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
S	0.05	0.08	0.04	0.06	0.03	0.05
A	0.02	0.04	0.03	0.05	0.05	0.08
B	0.02	0.03	0.03	0.04	0.15	0.22
ANS	0.03	0.05	0.05	0.08	0.07	0.11
PNS	0.08	0.11	0.12	0.18	0.10	0.14
Pog	0.11	0.20	0.11	0.12	0.2	0.23
Gn	0.11	0.16	0.18	0.17	0.21	0.26
Me	0.13	0.16	0.08	0.11	0.18	0.22
Ba	0.08	0.11	0.07	0.11	0.04	0.05
OrL	0.07	0.11	0.18	0.21	0.22	0.34
OrR	0.06	0.08	0.18	0.17	0.23	0.40
PoL	0.07	0.10	0.11	0.12	0.22	0.34
PoR	0.07	0.11	0.13	0.12	0.21	0.35
U1AL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
U1TR	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
U1AR	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
L1TL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
L1AL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
L1TR	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03
L1AR	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
U6TL	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
U6AL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04
U6TR	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04
U6AR	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04
L6TL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
L6AL	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04
L6TR	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
L6AR	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
GoL	0.38	0.32	0.12	0.14	0.17	0.19
GoR	0.30	0.31	0.13	0.15	0.14	0.17
Average	0.06	0.08	0.06	0.07	0.08	0.11

Table 5. B. Inter-observer error on 3-D CT (mm)

	X coordinate		Y coordinate		Z coordinate	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
N	0.10	0.16	0.29	0.34	0.43	0.54
S	0.21	0.32	0.19	0.25	0.14	0.24
A	0.11	0.18	0.14*	0.27	0.27	0.32
B	0.08	0.13	0.13	0.31	0.63	0.88
ANS	0.19	0.23	0.22	0.34	0.30	0.44
PNS	0.34*	0.50	0.63*	0.77	0.41	0.56
Pog	0.46**	0.81	0.57	0.61	0.81	0.92
Gn	0.44	0.61	0.77	0.79	0.93	1.04
Me	0.64*	0.73	0.33	0.45	0.74	0.88
Ba	0.37	0.55	0.31*	0.44	0.18	0.19
OrL	0.31	0.49	0.76	0.84	1.13	1.57
OrR	0.27	0.31	0.74	0.79	1.14	1.61
PoL	0.31	0.47	0.48	0.66	1.14	1.37
PoR	0.33	0.57	0.51	0.61	1.13	1.42
U1AL	0.09	0.13	0.11	0.22	0.15	0.21
U1TR	0.07	0.13	0.13	0.18	0.09	0.11
U1AR	0.09	0.12	0.10	0.17	0.12	0.18
L1TL	0.07	0.10	0.10	0.15	0.09	0.13
L1AL	0.08	0.13	0.10	0.13	0.11	0.15
L1TR	0.09	0.13	0.10	0.18	0.08	0.11
L1AR	0.11	0.14	0.11	0.15	0.09	0.15
U6TL	0.14	0.16	0.13	0.18	0.11	0.19
U6AL	0.10	0.17	0.12	0.23	0.10	0.15
U6TR	0.13	0.21	0.09	0.11	0.10	0.12
U6AR	0.10	0.15	0.11	0.19	0.09	0.21
L6TL	0.09	0.19	0.08	0.12	0.11	0.19
L6AL	0.08	0.18	0.10	0.11	0.14	0.21
L6TR	0.10	0.18	0.09	0.19	0.13	0.22
L6AR	0.11	0.19	0.10	0.22	0.09	0.18
GoL	1.24*	1.28	0.59*	0.69	0.78	0.81
GoR	1.20**	1.32	0.61**	0.72	0.81	0.86
Average	0.26	0.35	0.32	0.34	0.40	0.48

(*: $P<0.05$, **: $P<0.01$)

IV. 총괄 및 고찰

3-D CT를 이용한 악안면부의 계측은 기존의 두부 방사선 규격사진에 비해 많은 방사선 노출과 고비용을 요하나 정확한 3차원 입체영상의 채득이 가능하다¹⁹. 이러한 3-D CT의 정확성에 대해 Matteson 등¹⁶은 실험측과 0.19 mm의 오차를, Christiansen 등²⁰은 0.4-0.9 mm의 오차를, Cavalcanti 등¹⁸은 20개 항목 중 19개에서 1 mm 이하의 오차를, 그리고 Hildebolt 등¹⁷은 1 mm의 실험치간의 오차보다도 작았다고 보고하였다. Richtsmeier 등²¹은 이러한 오차는 1) 실험대상

으로부터 디지털 영상을 만들어 낼 때까지의 오차, 2) 3차원 영상에서 계측점을 인식할 때의 오차, 3) 영상에서 계측점을 표식하고 기록할 때의 오차 등으로 발생한다고 보고하였다.

두개골에 금속구를 부착하지 않고 촬영한 3-D CT와 두부 방사선사진상의 계측점의 재현성을 비교 연구한 Kragsskov 등²²은 통상적으로 두부 방사선사진에서 사용되는 계측점들을 사용할 경우 3차원 전산화단층촬영에서는 이들 계측점들이 정량적 분석에서는 잘 보이지 않으며 특히 계측점의 인식이 어려운 basion, 측면 두부 방사선에서 시상면 바

끝에 위치하는 porion의 경우 계측치가 3차원 두부 방사선 사진에 비해 신뢰도가 낮다고 보고하였다. 그는 두부 방사선 사진상에서의 1 mm 이내의 계측점 인식의 오차 값과 2 mm 정도의 3-D CT에서의 오차값을 제시하며 정상적인 두개골에서는 3-D CT가 두부 방사선사진보다 더 정확하다는 증거가 없으며, 단지 심한 비대칭의 두부안면골 변형증 환자에서만 3-D CT 사용을 주장하였다. 하지만 본 연구에서는 촬영된 3-D CT 영상을 SimPlant Pro를 이용하여 3차원 영상으로 재구성한 후, 원하는 방향으로 돌려가면서 부분적으로 상을 확대시켜 계측을 할 수 있었기에 Richtsmeier 등²¹이 발표한 0.5 mm 이하의 평균오차, Kragsskov 등²²이 발표한 2 mm 정도의 평균오차와 비교했을 때 X, Y, Z축에서 평균 표준오차는 0.4 mm 이하였으며, 비록 Go, Or, Po에서 2 mm 이상의 비교적 큰 범위값을 보이는 하나 2차원 상에서의 정의에 대한 한계점으로 인해 생기는 오차값으로 사료된다.

Papadopoulos 등²³은 어린 양의 두개골을 이용한 실험에서 2차원 방사선사진에서는 93개의 계측 항목 중 7개의 항목, 약 12.5%에서 유의한 차이가 나타났지만, 3차원 상에서는 56개의 계측 항목 중 5개의 항목, 약 9%에서만 유의한 차이가 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서는 측모두부 방사선규격사진상에서는 44개 계측 요소 중 11개 항목, 약 25%에서, 3-D CT상에서는 93개 계측 요소 중 10개 항목, 약 10.4%, 유의한 오차가 발생한 결과를 보였으며, 이는 사람과 어린 양의 계측점의 정의에 따른 차이로 인해 생긴 것으로 사료되며, 3차원 영상이 2차원 영상보다 재현성이 좋다는 결과는 같은 것으로 사료된다.

Midtgard 등²⁴은 2차원 상의 측모두부 방사선규격사진상에서 기준점들의 반복 계측 시 1명의 계측자에선 2.08 mm, 다른 사람은 2.44 mm의 오차가 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서는 측모두부 방사선규격사진에서 X축의 오차의 평균은 0.53 mm, Y축은 0.50 mm로 나왔는데 이는 Midtgard 등²⁴의 연구결과와 보다는 더 적은 수치가 나왔으며, 건조두개골을 대상으로 한 실험에서 0.5 mm의 계측점 인식의 오차를 보고한 Hägg 등²⁵의 연구결과와는 유사하였다.

어떠한 계측점들은 2차원 영상에서의 확인이 아닌 실제 해부학적 구조물을 3차원 단층촬영영상을 통해서만 확인할 수 있었다. 반대로 몇몇 계측점들은 2차원 영상에서가 아니면 사용할 수 없는 기준점들이 있다. 예를 들어 articulare 같은 경우는 구조물적인 기준점이기 때문에 삼차원 영상에서 확인하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 3차원 영상에서의 기준점 설정과 새로운 삼차원 분석법을 개발하는 것이 어느 때 보다 시급하며 2차원 상에서의 기준점에 대한 자료를 적용할 수 있게 하는 기준도 필요하다.

삼차원 영상과 2차원 영상에서의 계측점의 차이를 보이는 이유 중에 다른 또 한가지는 2차원 영상에서는 좌우의 상이 중첩되어 나타날 때 평균값을 지정하는 규칙으로 계측점을 설정하다 보니 3차원 상에서의 좌우로 나눌 때 보

다 오차가 생길 수 있다. 이러한 결과들에서 보면 기존의 2차원 영상에서 중첩되어 나타나는 구조물들이 보이는 기준점들 사이에서의 오차는 3차원 영상에서 덜 나타나는 것을 확인할 수 있다.

삼차원 영상에서의 기준점 정하는 방법에서는 2차원 상의 정의에서 약간의 수정이 필요한 것이 사실이다. 본 연구에서 사용된 각 계측점의 정의는 원래 두부 방사선규격사진상에서의 정의로서, 이를 3차원 단층촬영영상에 적용할 때는 한계점이 나타난다. 삼차원 영상에서는 대부분의 기준점들이 최상방점 또는 최하방점으로 정의되어 있다. 그리고 3차원적인 기준점은 정의되지 않았다. 이차원 사진에서의 동일시되는 공간 부재는 2차원 사진의 가장 큰 문제점 중에 하나이다. 삼차원 사진에서는 해부학적 기준점이 더욱더 세밀하게 해부학적 구조물과 연관될 수 있고 이것은 같은 해부학적 구조물의 한 점을 찍는 것을 가능하게 해준다.

이차원과 3차원의 해부학적 기준점을 동일시하기 위해서는 다음과 같은 3가지 요소가 고려되어야 할 것으로 사료된다. 첫 번째, 3차원 영상에서는 기존의 2차원 사진에서의 전후방과 시상면에서의 기준점 아니라 근원심면인 부분에서 기준되는 정의가 필요하다. 두 번째, 몇몇의 기준점들은 하나의 평면 또는 두 개의 평면에서는 기준점을 정하는 것은 용이하나 3개의 평면상에서 기준점의 측정은 어려운 경우가 있다.

세 번째로 세 개의 평면상에서 가장 좋은 상을 찾아서 기준점을 위치하는 데는 많은 시간과 연습과 그리고 주의 깊은 접근이 필요하였다.

관찰자간의 기준점을 정하는 과정은 3차원 영상에서 2차원 영상에서 보다 더 정확하게 측정될 수 있다. 심지어 2차원 상의 정의를 이용한 기준점을 사용했을 때에도 3차원 영상이 더 정확하였다. 그리고 3차원 영상은 gonion, orbitale 등의 구조물에 대해서 더 정확한 이미지를 제공한다. 이러한 영상은 양측성 구조물의 중복으로 생기는 2차원 영상에서의 한계점을 해결해준다. 삼차원 영상의 이점을 최대한으로 살리려면 2차원 영상에서의 기준점의 정의에 대한 보강이 필요하리라 생각된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 오늘날 널리 사용되는 3차원 상에서의 분석법은 재현성에 있어 기존의 2차원 상에서의 분석법보다 오차가 적게 발생함을 알 수 있었으며, 또한 3차원 상에서의 분석을 위한 계측점들의 보완 및 새로운 정립이 이루어진다면, 더욱 정확한 계측이 가능할 것이라 사료된다.

V. 결 론

2008년 1월부터 2009년 6월까지 대전 선치과병원 구강악안면외과에 하악 전돌증을 주소로 악교정 수술을 위하여 측모두부 방사선규격사진 촬영과 3-D CT 촬영을 시행한 환자 22명(남자 9명, 여자 13명, 평균 나이 21.2세)을 대상

으로 측모두부 방사선규격사진과 3차원 전산화단층촬영 사진에서 기준점을 계측 및 분석을 하였고, 계측자간의 오차로 인한 재현성을 조사하고, 2차원과 3차원간 재현성의 차이를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 삼차원 영상에서는 93개 계측요소 중 10개 항목, 약 10.4%에서 유의한 오차가 발생하였으며, 2차원 영상에서는 44개 계측요소 중 11개 항목, 약 25%에서 유의한 오차가 발생하였다
2. 이차원 상에서 오차가 많이 발생한 계측점들은 해부학적으로 자주 중첩되는 계측점들이었다.
3. 삼차원 영상에서 오차가 많이 발생한 점들은 Go, Po, Orb 등인데 이러한 점들은 2차원 영상에서 분석을 위해 인위적으로 만들어진 점으로 현재의 정의로는 3차원 상에서 재현성을 가질 수 없는 것으로 사료된다.

이상의 결과를 보면 오늘날 널리 사용되는 3차원 상에서의 분석법은 재현성에 있어 기존의 2-D 분석법보다 오차가 적게 발생함을 알 수 있었으나, 3차원 상에서의 분석을 위해 계측점들에 대한 새로운 정립 및 보완이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

References

1. Grayson BH, McCarthy JG, Bookstein F. Analysis of craniofacial asymmetry by multiplane cephalometry. *Am J Orthod* 1983; 84:217-24.
2. Baumrind S, Moffitt FH, Curry S. Three-dimensional x-ray stereometry from paired coplanar images: a progress report. *Am J Orthod* 1983;84:292-312.
3. Baumrind S, Moffitt FH, Curry S. The geometry of three-dimensional measurement from paired coplanar x-ray images. *Am J Orthod* 1983;84:313-22.
4. Moss JP, Linney AD, Grindrod SR, Arridge SR, Clifton JS. Three-dimensional visualization of the face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques. *Eur J Orthod* 1987;9:247-53.
5. Grayson B, Cutting C, Bookstein FL, Kim H, McCarthy JG. The three-dimensional cephalogram: theory, technique, and clinical application. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:327-37.
6. Bookstein FL, Grayson B, Cutting CB, Kim HC, McCarthy JG. Landmarks in three dimension: reconstruction from cephalograms versus direct observation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:133-40.
7. Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Tartaglia G. Distance from symmetry: a three-dimensional evaluation of facial asymmetry. *J Oral Maxillofac Surg* 1994;52:1126-32.
8. Ferrario VF, Sforza C, Puleo A, Poggio CE, Schmitz JH. Three-dimensional facial morphometry and conventional cephalometrics: a correlation study. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1996;11:329-38.
9. Kusnoto B, Evans CA, BeGole EA, de Rijk W. Assessment of 3-dimensional computer-generated cephalometric measurement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:390-9.
10. Cavalcanti MG, Vannier MW. Quantitative analysis of spiral computed tomography for craniofacial clinical applications. *Dentomaxillofac Radiol* 1998;27:344-50.
11. Nawaratne S, Fabiny R, Brien JE, Zalcberg J, Cosolo W, Whan A, *et al.* Accuracy of volume measurement using helical CT. *J Comput Assist Tomogr* 1997;21:481-6.
12. Xia J, Ip HH, Samman N, Wang D, Kot CS, Yeung RW, *et al.* Computer-assisted three-dimensional surgical planning and stimulation 3D virtual osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2000; 29:11-7.
13. Katsumata A, Fujishita M, Maeda M, Arijii Y, Arijii E, Langlais RP. 3D-CT evaluation of facial asymmetry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;99:212-20.
14. Kawamata A, Arijii Y, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography imaging in dentistry. *Dent Clin North Am* 2000; 44:395-440.
15. Kawamata A, Arijii Y, Langlais RP. Three-dimensional imaging for orthognathic surgery and orthodontic treatment. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2001;13:713-25.
16. Matteson SR, Bechtold W, Phillips C, Staab EV. A method for three dimensional image reformation for quantitative cephalometric analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 1989;47:1053-61.
17. Hildebolt CF, Vannier MW, Knapp RH. Validation study of skull three-dimensional computerized tomography measurements. *Am J Phys Anthropol* 1990;82:283-94.
18. Cavalcanti MG, Haller JW, Vannier MW. Three-dimensional computed tomography landmark measurement in craniofacial surgical planning experimental validation *in vitro*. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:690-4.
19. Song JC, Jang HJ, Lee SH. Evaluation of the accuracy and reliability of 3-dimensional computerized tomography for measurement of maxillofacial region. *J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2000;22:500-12.
20. Christiansen EL, Thompson JR, Kopp S. Intra-and inter-observer variability and accuracy in the determination of linear and angular measurements in computed tomography. An *in vitro* and *in situ* study of human mandibles. *Acta Odontol Scand* 1986;44: 221-9.
21. Richtsmeier JT, Paik CH, Elfert PC, Cole TM, Dahlman HR. Precision, repeatability and validation of the localization of cranial landmarks using computed tomography scans. *Cleft Palate Craniofac J* 1995;32:217-27.
22. Kragsskov J, Bosch C, Gyldensted C, Sindet-Pedersen S. Comparison of the reliability of craniofacial anatomic landmarks based on cephalometric radiographs and three-dimensional CT scans. *Cleft Palate Craniofac J* 1997;34:111-6.
23. Papadopoulos MA, Jannowitz C, Boettcher P, Henke J, Stolla R, Zeilhofer HF, *et al.* Three-dimensional fetal cephalometry: an evaluation of the reliability of cephalometric measurements based on three-dimensional CT reconstructions and on dry skulls of sheep fetuses. *J Craniomaxillofac Surg* 2005;33:229-37.
24. Midtgard J, Bjork G, Linder-Aronson S. Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. *Angle Orthod* 1974;44:56-61.
25. Hägg U, Cooke MS, Chan TC, Tng TT, Lau PY. The reproducibility of cephalometric landmarks: an experimental study on skulls. *Aust Orthod J* 1998;15:177-85.