

Cone-beam CT로부터 제작된 측모 두부계측방사선사진의 정확도 평가

강 지 영^a · 임 성 훈^b · 김 광 원^c

최근 computed tomography (CT) 데이터로부터 실제 두부계측방사선사진 촬영기에서 촬영한 사진과 동일한 확대율을 갖는 두부계측방사선사진을 형성할 수 있는 기능을 갖춘 소프트웨어(Accurex, CyberMed, Seoul, Korea)가 소개되었다. 이에 본 연구에서는 cone-beam CT (이하 CBCT) 데이터로부터 이 소프트웨어를 이용하여 제작된 측모 두부계측방사선사진과 기존의 두부계측방사선사진촬영기로 촬영된 측모 두부계측방사선사진에서 각각 두부계측방사선사진 분석을 시행하여 그 차이를 비교함으로써 소프트웨어를 통해 CBCT로부터 제작된 측모 두부계측방사선사진의 활용 가능성을 평가하고자 하였다. 20명의 교정 환자를 대상으로 CBCT와 측모 두부계측방사선사진을 동시에 촬영하였다. CBCT로부터 제작된 측모 두부계측방사선사진과 기존 방식의 측모 두부계측방사선사진에서 두부계측방사선사진 분석을 시행한 후 두 사진의 계측치의 차이를 paired *t*-test로 검정하였다. 23개의 계측치들 중, 20개 항목에서는 통계학적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, U1-FH, Mx6 to PTV, Maxillomandibular difference의 항목에서는 유의한 차이가 나타났다. 이러한 차이는 CBCT로부터 형성된 측모 두부계측방사선사진의 해상도가 낮아 일부 해부학적 지표를 확인하기 어렵기 때문이며, 임상에서 CBCT로부터 제작된 측모 두부계측방사선사진을 porion, PTV, condylion과 같은 일부 해부학적 지표를 이용하지 않는 SNA, SNB, U1 to SN, IMPA, interincisal angle 등 흔히 사용되는 간단한 측모 두부계측방사선사진 계측에 활용 가능할 것이다. (대치교정지 2007;37(6):391-9)

주요 단어: Cone-beam CT, 측모 두부계측방사선사진, 두부계측방사선사진 분석

서론

1931년 Broadbent¹에 의해 두부계측방사선사진이 소개된 이래로 두부계측방사선사진은 두개안면면 구조의 크기와 형태 측정 및 성장 연구를 위해 널리 사용되어왔다. 그러나 두부계측방사선사진은 3차원적인 입체구조물을 2차원적 평면에 투영하는 것이므로 정량적인 평가 시에 부정확한 결과를 야기할 수 있음을 인식하였고, 이러한 2차원적인 한계를 극복하기 위해 Broadbent의 orientator,¹ Wylie의 compensator,² Vogel의 modified compensator,³ Grayson 등

의 vector intercept with averaging algorithm을 이용한 3차원 계측,^{4,6} Brown과 Abbott의 photogrammetric equation,⁷ Baumrind 등의 coplanar stereometry⁸ 등 여러 선학들의 연구가 지속되었다.

3차원 Computed Tomography (이하 CT)가 개발되어 환자의 움직임에 의한 오차와 상의 확대나 왜곡을 감소시킨 실측치를 얻을 수 있고, 두개안면부의 입체적인 영상을 구성할 수 있을 뿐 아니라 컴퓨터의 조작을 통해 관찰이 용이하도록 원하는 위치로의 회전과 축의 조정이 가능하며 또한 상의 외측을 제거함으로써 보이지 않는 심부 구조를 관찰할 수 있고 조직의 밀도에 따라 기도, 근육, 뼈, 피부 등을 독립적으로 관찰이 가능하여 임상적으로 널리 적용되어 왔다.⁹ 최근에 교정적인 진단과 치료, 주기적인 검사를 위해 3차원 악안면 영상기법을 많이 사용하게 되었다. 2차원적 평면에서의 분석이 아닌 voxel-based 3-dimensional (3D) cephalometry가 소개되면서 CT 데이터로부터 가상의 측모 및 정모 두부계측 방

^a대학원생, ^b조교수, ^c교수, 조선대학교 치과대학 교정학교실.

교신저자: 임성훈.

광주광역시 동구 서석동 421번지 조선대학교 치과대학 교정학교실.

062-220-3876; e-mail, shim@chosun.ac.kr.

원고접수일: 2007년 7월 13일 / 원고최종수정일: 2007년 11월 24일 /

원고채택일: 2007년 11월 26일.

*이 논문은 2006년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

사선사진으로부터 재측할 수 있게 되었다.^{10,11} 이러한 voxel-based 3D cephalometry는 초기 spiral multi-slice CT (이하 MS-CT) 데이터를 사용하여 개발되었으나, 최근에는 cone-beam CT (이하 CBCT)가 널리 보급되면서 이들 MS-CT에 의한 영상과 CBCT에 의한 영상의 차이에 관한 연구도 이루어졌으며, MS-CT에 비해 CBCT를 이용한 두부계측방사선사진계측이 감소된 조사량, 접근성 및 가격 면에서 장점을 가진다고 보고되었다.¹² CBCT scanner는 skull을 360° 회전하는 2-dimensional detector를 가지며, 특정한 cone beam reconstruction algorithm을 통해 CT volume 데이터를 획득한다.¹³ CBCT는 MS-CT와 유사하게 DICOM 3.0을 이용하여 medical-image file format으로 저장된다. 이 CBCT는 bone imaging에 초점이 맞추어져 있으므로 방사선 조사량이 현저하게 감소된다고 보고되었다.^{14,15} 이러한 CBCT 3D cephalometry는 MS-CT와 비교 시 다음과 같은 장점을 갖는다. 1) 방사선 조사량의 감소, 2) vertical scanning procedure에 따른 soft-tissue facial mask의 자연스러운 형태 3) 교합상태에서 artifact의 감소, 4) 컴퓨터를 이용한 진료실에서의 용이한 접근성, 5) 비용의 감소.^{14,17} 이러한 장점 때문에 치과영역에서 MS-CT에 비해 CBCT의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

최근 MS-CT 또는 CBCT 데이터로부터 실제 두부계측방사선사진 촬영기에서 촬영한 사진과 동일한 확대율을 갖는 두부계측방사선사진을 제작할 수 있는 기능을 갖춘 소프트웨어(Accurex, CyberMed, Seoul, Korea)가 소개되었다. 이에 본 연구에서는 CBCT 데이터로부터 이 소프트웨어를 이용하여 제작된 측모 두부계측방사선사진과 기존의 두부계측방사선사진촬영기로 촬영된 측모 두부계측방사선사진에서 각각 두부계측방사선사진분석을 시행하여 그 차이를 조사함으로써 CBCT로부터 제작된 측모 두부계측방사선사진의 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

연구방법

연구대상

본 연구의 대상으로는 조선대학교 치과병원 교정과에 내원한 환자들 중 CBCT와 측모 두부계측방사선사진이 동일한 날에 촬영되었으며, 외이공이 CBCT 영상에 포함된 환자 20명을 선택하였다. 연구

대상자들은 12명의 남성과 8명의 여성으로 구성되었으며, 나이는 8세 11개월에서 24세 4개월의 범위를 보였고, 평균 나이는 14세 5개월이었다. 촬영된 CBCT로부터 제작된 두부계측방사선 사진(이하 CT ceph)을 CT ceph군으로, 측모 두부계측방사선사진을 digital Ceph군으로 하였다.

연구방법

CBCT의 촬영

CBCT scanner (CB MercuRay, Hitachi medical, Osaka, Japan)를 이용하여, 15 cm 시야범위 (field of view, 이하 FOV), 15 mA, 120 kV, scanning time 9.6 초, 0.3 mm 상층 두께로 전산화 단층 촬영을 시행하였다.

측모 두부계측방사선사진의 촬영

디지털 두부계측방사선사진 촬영기(Cephalometric Equipment PM 2002 Proline, Planmeca, Helsinki, Finland)로 측모 두부계측방사선사진을 촬영하였다. 촬영 시에는 두부고정대의 좌우 ear-rod를 대상자의 귓구멍에 삽입하여 두부를 고정된 상태에서 촬영하였다.

촬영 시 방사선원과 ear-rod 중심축 간의 거리는 150 cm, ear rod 중심축과 필름간 거리는 13.5 cm이었으며, 관전류 12 mA, 관전압 70 - 80 kV, 노출시간은 0.8 - 1.6초의 조건으로 촬영하였다. 방사선사진은 CR cassette를 이용하여 촬영되었으며 cassette의 scanning과정을 거쳐서 PACS server에 저장되었다.

CBCT 데이터로부터 측모 두부계측방사선사진 제작

소프트웨어(Accurex)상의 X-ray generation module을 이용하여 측모 두부계측방사선사진을 제작하였다. 이때 skin volume image상에서 보이는 대상자의 양측 귓구멍 중심점에 ear-rod 중심점 표지자를 지정하였으며, 이후 지정한 ear-rod 중심점이 bone volume image상에서 외이공의 중심점에 위치하는지를 재확인하였다 (Fig 1). 설정된 좌우의 ear-rod 중심점 표지자는 CT ceph 제작 시 중심 x-선이 관통하는 기준점이 되며, CT ceph 제작 모듈에 내장된 알고리즘에 의해 확대율을 계산할 때의 기준점이 된다. CBCT 데이터로부터 소프트웨어적으로 제작된 CT ceph에 ruler tool을 이용하여 100 mm의 기준선이 overlay되도록 한 후 capture tool을 사용하여 CT ceph을 JPEG

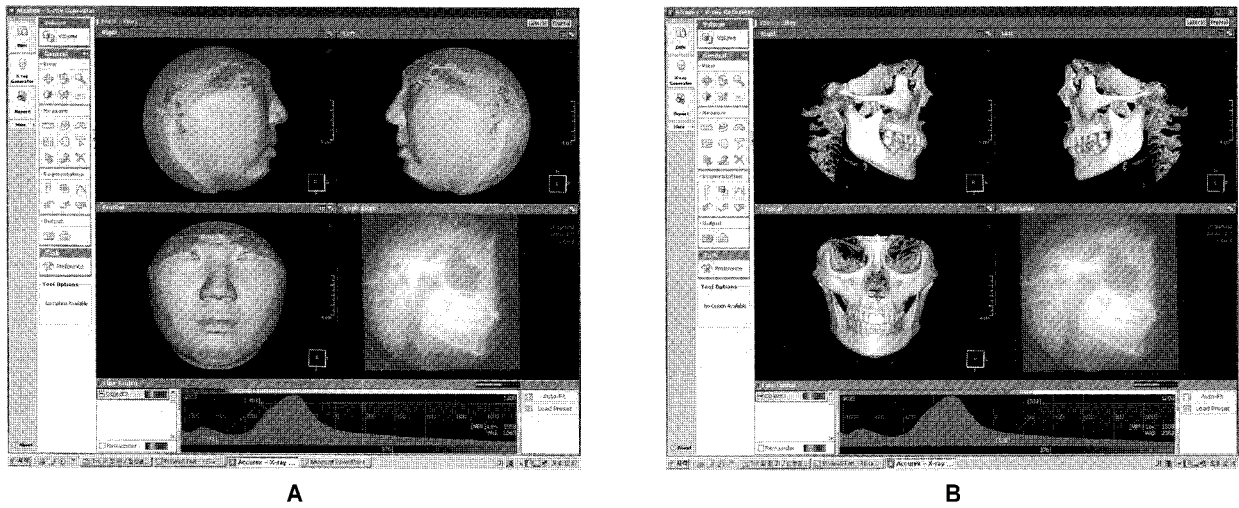


Fig 1. Cephalometric image reconstruction from CBCT scanning. A, The ear-rod positions of both the Rt. and Lt. sides were set in the skin volume image state; B, the ear-rod positions were re-evaluated in the bone volume image state.

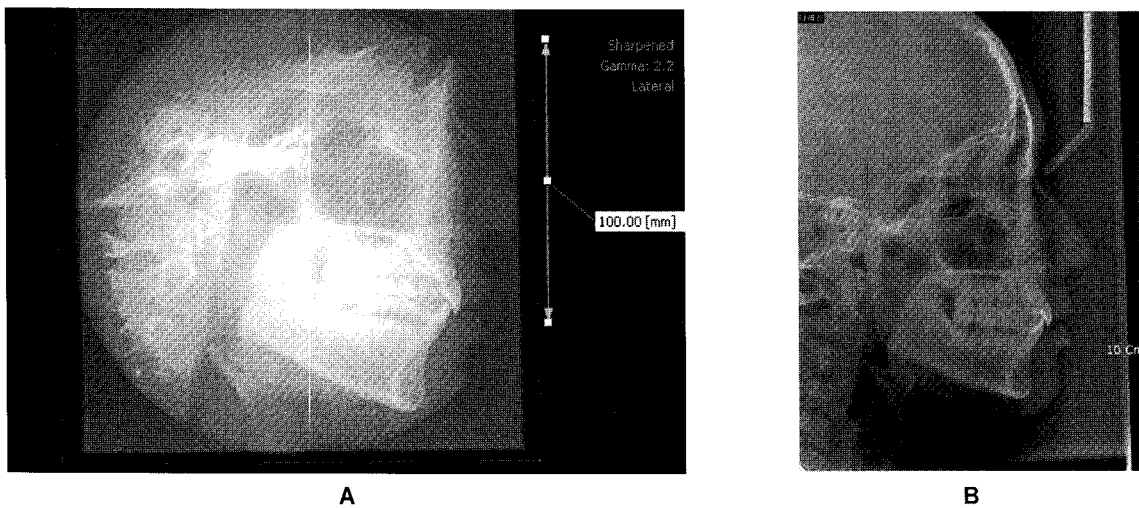


Fig 2. Comparison of cephalometric images. A, The Final CBCT generated 2-D cephalogram; B, the Final Digital cephalogram.

file 형식으로 저장하였다 (Fig 2).

측모 두부계측방사선사진의 JPEG 변환

두부계측방사선사진 촬영기로 촬영된 사진은 STARPACS PiViewSTAR (Infinit, Seoul, Korea)라는 viewer program을 통해 확인하였으며, 100 mm의 기준선을 overlay시킨 상태에서 JPEG file로 변환하였다 (Fig 2).

계측치 분석

변환된 두 image의 계측치 분석을 위해 V-Ceph 4.0 (CyberMed, Seoul, Korea)을 이용하여 digitizing하고 계측하였다.

계측 항목으로는 다음과 같은 23항목을 선택하였다.

SNA, SNB, ANB, FMA, U1 to SN, U1 to FH, IMPA, interincisal angle, A point-N perpendicular

Table 1. Method error of the 23 cephalometric measurements from the results of the application of Dahlberg's formula

Measurements	Digital ceph	CT ceph	Measurements	Digital ceph	CT ceph
SNA (°)	0.5	0.8	Wits	1.8	1.5
SNB (°)	0.4	0.7	Palatal Plane Angle (°)	0.8	1.4
ANB (°)	0.5	0.5	Articular angle (°)	1.6	1.4
FMA (°)	0.8	1.1	Gonial angle (°)	0.8	0.9
U1 to SN (°)	1.7	1.6	FMIA (°)	1.3	2.6
U1 to FH (°)	2.2	1.4	Ant. Cranial Base (mm)	0.2	0.5
IMPA (°)	1.5	2.0	ANS-Menton (mm)	0.3	0.7
Interincisal angle (°)	2.3	2.5	Ramus height (mm)	0.9	0.9
Saddle angle (°)	0.5	1.3	N-ANS(⊥HP) (mm)	0.3	0.9
A point-N perpendicular (mm)	0.7	1.1	PNS-N(⊥HP) (mm)	0.6	0.7
Convexity of A point (mm)	0.8	0.4	Mx 6, to PTV (mm)	1.1	2.6
Maxillomandibular difference	0.8	0.9			

(mm), Wits, palatal plane angle, articular angle, gonial angle, ANS-Menton, N-ANS (⊥horizontal plane), PNS-N (⊥horizontal plane), Mx 6 to PTV (mm), FMIA, ant. cranial base (mm), saddle angle, convexity of A point (mm), maxillomandibular difference, ramus height (mm).

통계처리

두부측방사선사진 계측의 신뢰도 평가를 위해 임의로 10명의 대상자를 선택하여 재차 digitizing을 시행한 후 method error를 Dahlberg's formula를 적용하여 구하였다.

$$Me = \frac{\sqrt{\sum(d)^2}}{2n} \quad (Me, \text{ method error; } d, \text{ 계측차이; } n, \text{ 샘플수})$$

Dahlberg's formula를 시행하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 각도 계측 항목 13개의 평균 오차는 digital ceph군에서 1.15°, CT ceph에서 1.40°로 나타났다. 길이 계측 항목 8개의 평균 오차는 digital ceph군에서 0.61 mm, CT ceph군에서 0.98 mm로 나타났다.

동일 대상자의 측모 두부측방사선사진과 CT

ceph에서의 계측치의 차이를 알아보기 위해 paired t-test를 시행하였다.

부가적으로 Bland-Altman method¹⁸를 적용하여, x축은 측모 두부측방사선사진과 CT ceph의 계측 항목 측정값 평균을, y축은 측모 두부측방사선사진과 CT ceph 측정치의 차이값을 도표화하여 허용 범위를 확인하였다.

연구성적

20명의 digital ceph군과 CT ceph군에서 각각 paired t-test를 시행하였고, 결과는 Table 2와 같다. 대부분의 계측 항목은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았고, 총 23개의 항목 중 3개의 항목에서 유의한 차이를 보였다. 이는 U1-FH (°), Mx6 to PTV (mm), Maxillomandibular difference 세 항목이었다.

Bland-Altman plot에서는 각각의 plot에서 선형이나 곡선형의 기울기를 보이지 않고, 비교적 정상 분포하였으며, 두 사진사이의 측정값 차와 측정값의 평균사이에 어떠한 상관관계도 보이지 않았다. 또한 측정값들은 대부분 95% 신뢰구간 안에 분포하였다 (Fig 3).

Table 2. The results of paired t-test of the two images (N = 20)

Variables	Digital ceph - CT ceph		Significance
	Mean	SD	
SNA (°)	0.26	1.87	0.543
SNB (°)	0.07	1.65	0.853
ANB (°)	0.21	0.73	0.204
FMA (°)	0.12	1.08	0.617
U1-SN (°)	-0.65	1.85	0.134
U1-FH (°)	-1.15	1.31	0.001 [†]
IMPA (°)	0.30	2.60	0.610
Interincisal angle (°)	0.75	2.88	0.259
A point-N perpendicular (mm)	-0.29	1.12	0.261
Wits	0.17	2.39	0.748
Palatal plane angle (°)	0.06	0.87	0.761
Articular angle (°)	0.28	2.89	0.665
Gonial angle (°)	-0.12	2.05	0.795
ANS-Menton (mm)	-0.15	1.51	0.672
N-ANS (mm)	-0.07	1.81	0.859
PNS-N (mm)	0.15	1.02	0.504
Mx6 to PTV (mm)	-1.09	1.82	0.015 [*]
FMIA (°)	-0.35	2.57	0.552
Ant. cranial base (mm)	-0.39	0.88	0.060
Saddle angle digital (°)	-0.45	1.76	0.269
Convexity of A point (mm)	0.28	0.89	0.176
Maxillomandibular difference	0.76	1.28	0.016 [*]
Ramus height (mm)	0.81	1.80	0.060

SD, standard deviation; ^{*} $p < 0.05$; [†] $p < 0.01$.

고찰

CT ceph군에서 method error가 더 큰 경향을 보였는데 이러한 결과는 CT ceph에서는 두부계측방사선 사진에 비해 해상도가 낮아서 landmark를 설정하는데 있어서 재현성이 떨어지기 때문으로 생각된다. CT ceph에서는 gray scale을 조정하더라도 두부계측 방사선사진에 비해 해상도가 낮고 노이즈가 많아 해부학적 구조물의 식별이 어려웠고, 또한 영상의 확대 시 해부학적 구조물의 경계를 알아볼 수 없을 만큼 상의 깨짐 현상이 두드러졌다. 향후에는 두 영상의 해상도와 대조도에 대한 분석(Modulation transfer factor, Receiver operating characteristic curves, Wiener spectrum 등¹⁹)을 통해 CBCT의 물리적 특성과 시각

적 분석에 관한 연구가 필요하며, 이는 미래의 CBCT 개선방향을 제시하고, 임상적 유용성에 대한 지표가 될 것이다.

CT ceph군과 digital ceph군 사이의 계측치 사이에서 통계적으로 유의한 차이를 보인 계측 항목은 총 23항목 중 3항목이 해당되었다. 이중 U1-FH는 FH plane의 설정에 있어서 porion의 재현성이 낮아 유의한 차이를 보인 것으로 생각할 수 있으며,²⁰ Mx6 to PTV (mm)의 경우, 상악 제1대구치와 pterygoid fissure 모두 좌우 이중성으로 중첩되고, 주위의 해부학적 구조물의 노이즈로 인해 구별이 어려워져 이러한 차이를 보였을 것으로 생각된다.²⁰ Maxillomandibular difference항목은 effective Mn. length (Cd-Gn)와 effective Mx. length (Cd-A point)의

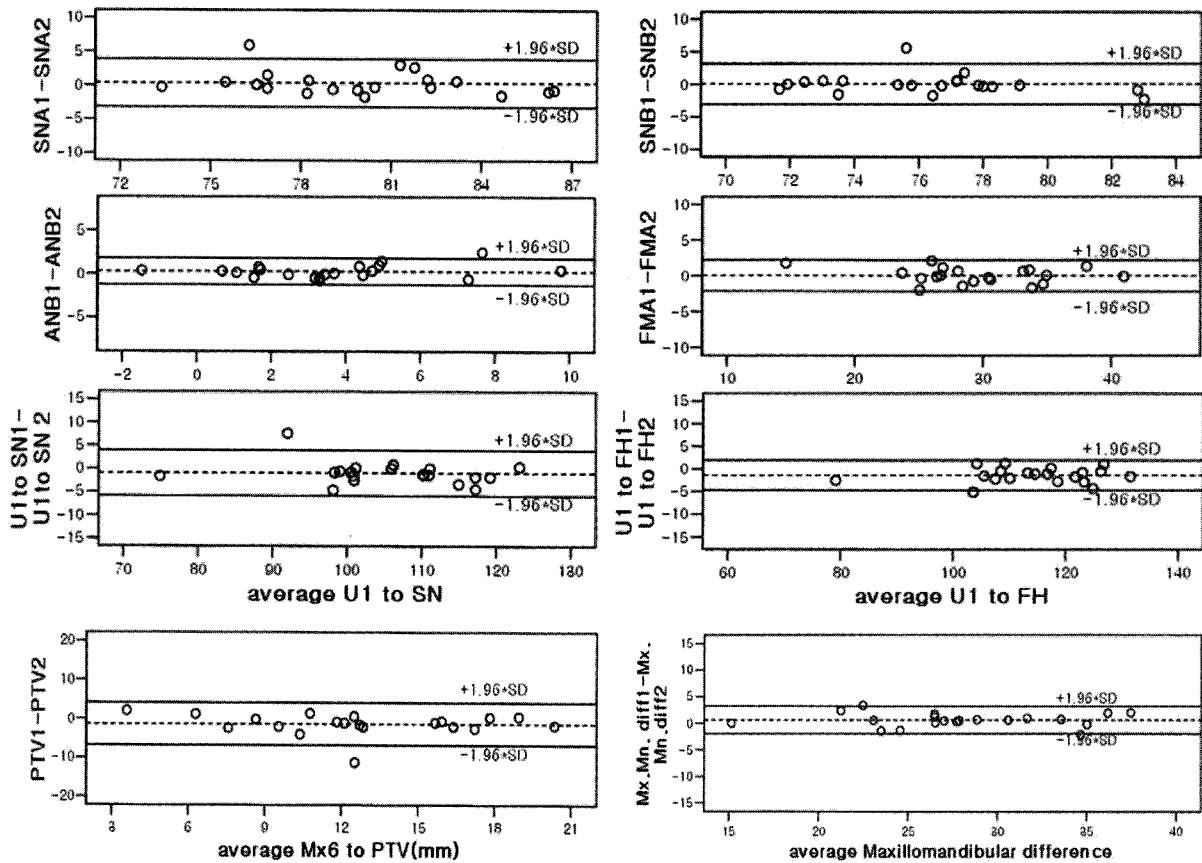


Fig 3. Bland-Altman plot for variables. The x-axis shows the mean of the results of the two cephalograms, whereas the y-axis represents the absolute difference between the two cephalograms (Digital ceph - CT ceph). The limits of agreement (mean difference \pm 1.96 standard deviation) are indicated by horizontal lines.

차이로서, condylion의 일관된 위치 설정이 어렵기 때문에 이러한 차이를 보인 것으로 생각된다. FMA 항목은 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나, porion의 낮은 재현성과 관련하여 FH plane의 정확도가 의심되므로, FMA 측정치 또한 신뢰하기 어렵다 하겠다. 본 연구에서는 CBCT로부터 CT ceph을 제작하기 위해 skin volume image상에서 보이는 대상자의 양측 귓구멍의 중심점에 ear-rod 표지자를 지정하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 CBCT의 시야범위(FOV)가 직경 15 cm이어서 귀가 다 나오지 못하는 경우가 많았으며, 실험대상자 선정에 있어서 CBCT에서 귓구멍이 보이는 경우로 하였음에도 불구하고, 귓구멍의 중심점을 정확히 설정하는 것이 어려웠다. 또한 외이도는 후상방으로 주행하므로 제한된 시야범위를 갖는 skin volume image상에서 보이는 귓구멍 중심과 측모 두부계측방사선사진 촬영 시 실

제 ear-rod가 귓구멍에 삽입되는 위치는 서로 다를 수 있어 CT ceph과 두부계측방사선사진 사이에 미세한 차이가 발생할 수 있을 것으로 생각된다.

CT ceph과 측모 두부계측방사선사진 사이의 유사성을 시각적으로 살펴보기 위해 실험대상으로 정상 교합자 1인을 선정하여 CBCT 측모 두부계측방사선사진과 digital 측모 두부계측방사선사진을 Adobe photoshop Pro (Adobe, San Jose, CA, USA)를 이용하여 중첩을 시행하였다.²¹ Ear-rod 설정과 관련하여 오차가 있을 수 있음에도 두 사진의 중첩에서 각 구조물들이 일치함을 확인할 수 있었다 (Fig 4).

CT ceph이 낮은 해상도와 ear-rod 설정이 어렵다는 문제가 있음에도 불구하고 CBCT 촬영만으로 기존의 측모 두부계측방사선사진 촬영 없이 측모 두부계측방사선사진 분석을 시행할 수 있다. CBCT 데이터로부터 2차원의 규격 영상인 측모 두부계측방사선

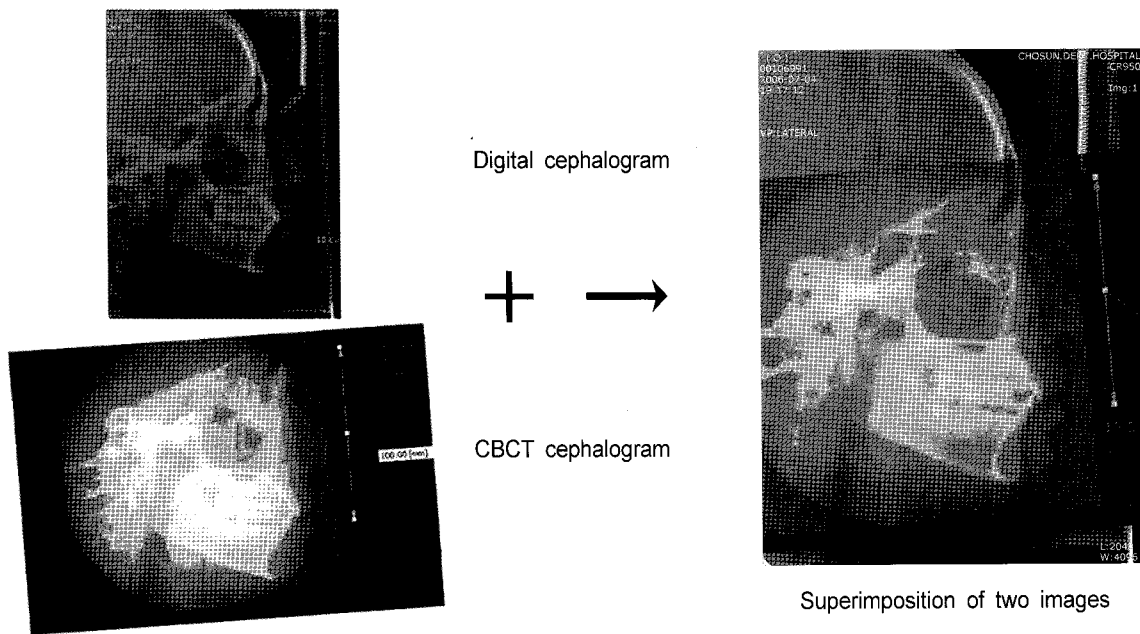


Fig 4. The superimposition of two images using Adobe Photoshop Pro. The superimposition showed that the hard and soft tissue of the two images, and CBCT image and digital cephalogram image were almost identical.

사진을 형성하여 계측하게 되면 기존의 측모 두부계측방사선사진 분석법의 데이터 베이스를 활용하여 분석할 수 있게 된다.²² 건조 두개골에서, CBCT로부터 형성된 선도영상(scout image)를 통한 측모 두부계측사진과 기존의 측모 두부계측사진의 선 계측치를 비교분석한 최근의 연구에서는 기존의 측모 두부계측사진보다 CBCT의 측모 두부계측사진에서 측정값이 더 정확하다고 보고되었다.²³ 그러나 이번 연구에서, 정밀한 계측이나 두부계측방사선사진 중첩이 필요한 경우에는 CBCT 데이터로부터 제작된 CT ceph의 해상도가 충분치 않음을 알 수 있었다. 또한, 미취학 아동과 같은 경우에는 CBCT 촬영 시간 동안 고정된 두부 자세를 유지하기 어려운 경우가 있으므로 CT ceph을 활용하기가 어려울 수 있다. 이러한 CT ceph의 한계를 인식하고, 방사선 조사량과 편의성 및 비용의 면에서의 장점을 고려하여 CT ceph을 활용하여야 할 것으로 생각된다.²⁴

현재 상용화되어 있는 CBCT로는 iCAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA), CB MercuRay, 그리고 NewTom 3G (Quantitative Radiology, Verona, Italy) 등이 있으며, 각각 다른 시야범위(FOV)를 가지는데, 각각 13.2 cm, 15 cm 또는 19 cm, 그리고 20 cm

이다. 기존의 두부계측방사선사진에서 이용되어 왔던 해부학적 구조물들(수직적으로는 nasion에서 gnathion)이 수평적으로는 한쪽 zygoma에서 반대쪽 zygoma까지 이 CBCT의 촬영범위에 모두 포함되어야 하나, FOV가 이를 다 포함할 수 없는 경우가 있다.²² 본 연구에서 사용된 CBCT의 FOV는 최대 15 cm이었는데, 머리가 작은 경우에는 일반적으로 활용되는 측모 두부계측사진 분석에 필요한 landmark들이 이 FOV에 포함되었으나, 머리가 큰 경우에는 턱 부분이 잘려나가는 경우가 있었다.

이번 연구에서 사용된 것처럼 CBCT로부터 확대율이 적용되어 제작된 CT ceph을 계측하는 것 보다는, 확대율 없이 소프트웨어적으로 보여지는 CT의 정측모 X-ray 이미지를 그대로 분석하는 방법이 개발되는 것이 더 바람직할 수 있다.

이번 연구에서는 작은 FOV로 인해 표본의 범위가 아동에 국한되어 표본을 일반화하기에 한계가 있고, 기존의 측모 두부계측방사선사진에서 보여지는 모든 해부학적 구조물을 포함할 수 없어 통상적인 측모 두부계측항목들의 설정에 있어 제한이 있었다. 또한, CT ceph 제작을 위해 소프트웨어 상에서 ear-rod 설정 시 오차가 발생할 수 있으며, CT ceph

제작 시 ear-rod 설정이 소프트웨어 상에서 저장이 될 수 없어 매번 새로운 위치로 지정을 해야 하는 점 때문에 제작된 CT ceph 제작의 반복재현성을 얻을 수 없다는 한계가 있었다.

향후 교정학의 영역에서 측모 두부계측방사선사진을 CT로부터 제작하여 임상적으로 진단에 활용하기 위해서는, CBCT의 FOV의 확대를 통해 아동 뿐 아니라 성인의 필요한 모든 해부학적 구조물을 포함하여 촬영할 수 있도록 하는 것이 필요하며 해상도의 향상과 CT ceph 제작의 반복재현성을 실현할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

결론

CBCT 데이터로부터 소프트웨어(Accurex)를 통해 제작된 CT ceph과 측모 두부계측방사선사진의 비교에서 계측된 대부분의 항목에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 따라서 임상에서는 CT ceph을 이용하여 porion, PTV, condyilion과 같은 재현성이 낮은 일부 해부학적 지표를 이용하지 않는 간단한 측모 두부계측방사선사진 계측에 활용가능 할 것이다.

참고문헌

- Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1931;1:45-66.
- Wylie WH, Elasser WA. Undistorted vertical projections of the head from lateral and postero-anterior roentgenograms. *Am J Roentgenol* 1948;60:414-17.
- Vogel CJ. Correction of frontal dimensions from head x-rays. *Angle Orthod* 1967;37:1-8.
- Grayson BH, McCarthy JG, Bookstein F. Analysis of craniofacial asymmetry by multiplane cephalometry. *Am J Orthod* 1983;84:217-24.
- Grayson BH, 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.
- Bookstein FL, Grayson BH, Cutting C, Kim H, McCarthy JG. Landmarks in three-dimensions: reconstruction from cephalogram versus direct observation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991; 100:133-40.
- Brown T, Abbott AH. Computer-assisted location of reference points in three dimensions for radiographic cephalometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:490-8.
- Baumrind S, Moffitt FH, Curry S. Three-dimension x-ray stereometry from paired coplanar images. A progress report. *Am J Orthod* 1983;84:292-312.
- Chang HS, Baik HS. A proposal of landmarks for craniofacial analysis using three-dimensional CT imaging. *Kor J Orthod* 2002;32:313-25.
- Swennen GRJ, Barth EL, Schutyser F, De Groeve P, Lemaitre A. Three-dimensional (3-D) cephalometry, the basics for virtual planning. *J Cranio Maxillofac Surg* 2004;32:(Suppl 1)135.
- Swennen GRJ. Three-dimensional cephalometric reference system. In: Swennen GRJ, Schutyser F and Hausamen JE, Editors, Three-dimensional cephalometry. A color atlas and manual. Heidelberg: Springer 2005;94-112.
- Swennen GR, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: Spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:410-6.
- Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical conebeam algorithm. *J Opt Soc Am* 1984;1:612-9.
- Mah J, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96: 508-13.
- Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose cone beam CT. *Eur J Radiol* 2005;56:413-7.
- Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 127:627-37.
- Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod* 2005;39:421-8.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;327:307-10.
- Demura N, Tsurusako Y, Segami N. Characteristics of digital cephalograms and film/screen cephalograms: A comparative study. *World J Orthod* 2001;2:350-5.
- Schulze RK, Gloede MB, Doll GM. Landmark identification on direct digital versus film-based cephalometric radiographs: A human skull study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:635-42.
- Ross LL, Munn MR. Comparing digital serial cephalogram images for growth or treatment changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:161-2.
- Farman AG, Scarfe WC. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:257-65.
- Moshiri M, Scarfe WC, Hilgers ML, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:550-60.
- Mah J, Hatcher D. Three-dimensional craniofacial imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:308-9.

The reliability of the cephalogram generated from cone-beam CT

Ji-Young Kang, DDS,^a Sung-Hoon Lim, DDS, MSD,^b
Kwang-Won Kim, DDS, MSD, PhD^c

Objective: Three-dimensional approaches for the diagnosis and analysis of the dentofacial area are becoming more popular in accordance with the development of cone-beam CT (CBCT). The purposes of this study were to evaluate the reliability of cephalometric measurements of lateral cephalograms generated from a CBCT image by making comparisons with the traditional digital lateral cephalogram, and to evaluate the possibility of the clinical application of CBCT generated cephalogram images.

Methods: Twenty patients whose external auditory meatus could be identified in the CBCT image were selected, and both CBCT and digital cephalograms were taken. Differences between the measurements of both cephalograms were tested by paired *t*-test. **Results:** Among the 22 measurements used, only U1-FH, Mx6 to PTV, and maxillomandibular difference showed statistically significant differences between the CBCT generated cephalogram and the digital cephalogram. **Conclusions:** The results suggest that the CBCT generated cephalogram can be used for some cephalometric measurements not requiring porion, PTV, condylion as a landmark (SNA, SNB, U1 to SN, IMPA, interincisal angle, etc.). (Korean J Orthod 2007;37(6):391-9)

Key words: Cone-beam CT, Lateral cephalogram, Cephalometric analysis

^aGraduate Student, ^bAssistant Professor, ^cProfessor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University.
Corresponding author: *Sung-Hoon Lim*.

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University, 421 Sosok-Dong, Dong-Gu, Gwangju 501-825, Korea.

+82 62 220 3876; e-mail, *shlim@chosun.ac.kr*.

Received July 13, 2007; Last Revision November 24, 2007; Accepted November 26, 2007.