

# 디지털 측방두부규격방사선사진과 MDCT의 3차원 재구성 영상을 이용한 합성측방두부규격방사선사진의 계측치 비교 및 머리 위치가 미치는 효과

서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실

\*서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실, 치학연구소

\*\*서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실, 치학연구소 및 BK21

김미자 · 최보람 · 허경희\* · 이원진\*\* · 허민석\* · 이삼선\*\* · 최순철\*

## Comparison of measurements from digital cephalometric radiographs and 3D MDCT-synthesized cephalometric radiographs and the effect of head position

Mija Kim, Bo-Ram Choi, Kyung-Hoe Huh\*, Won-Jin Yi\*\*, Min-Suk Heo\*, Sam-Sun Lee\*\*, Soon-Chul Choi\*

*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University*

*\*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University*

*\*\*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, and Dental Research Institute and BK21, School of Dentistry, Seoul National University*

### ABSTRACT

**Purpose** : To investigate the reproducibilities and compare the measurements in digital and MDCT-synthesized cephalometric radiograph, and to investigate the effect of head position on the measurement during imaging with MDCT.

**Materials and Methods** : Twenty-two dry skulls (combined with mandible) were used in this study. Conventional digital cephalometric radiograph was taken in standard position, and MDCT was taken in standard position and two rotated position (10° left rotation and 10° right tilting). MDCT data were imported in OnDemand® and lateral cephalometric radiograph were synthesized from 3D virtual models. Two types of rotated MDCT data were synthesized with default mode and with corrected mode using both ear rods. For all six images, sixteen angular and eleven linear measurements were made in V-Ceph® three times. Reproducibility of measurements was assessed using repeated measures ANOVA and ICC. Linear and angular measurements were compared between digital and five MDCT-synthesized images by Student t-test.

**Results** : All measurements in six types of cephalometric radiograph were not statistically different under ICC examination. Measurements were not different between digital and MDCT-synthesized images ( $P > .05$ ). Measurements in MDCT-synthesized image in 10° left rotation or 10° right tilting position showed possibility of difference from digital image in some measurements, and possibility of improvement via realignment of head position using both ear rods.

**Conclusion** : MDCT-synthesized cephalometric radiograph can substitute conventional cephalometric radiograph. The error on head position during imaging with MDCT have possibility that can produce measurement errors with MDCT-synthesized image, and these position error can be corrected by realignment of the head position using both ear rods. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2009; 39 : 133-47)

**KEY WORDS** : Lateral cephalometric radiograph; Tomography, Computed; Cephalometric analysis; Head position

접수일 (2009년 7월 6일), 수정일 (2009년 7월 24일), 채택일 (2009년 7월 28일)

Correspondence to : Prof. Sam-Sun Lee

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University, Chang-kyeong-gung-ro 62-1, Jongno-gu, Seoul 110-768, Korea  
Tel) 82-2-2072-3978, Fax) 82-2-744-3919, E-mail) raylee@snu.ac.kr

## 서 론

임상 치과교정 분야에서 측방두부규격방사선사진은 두개안면부위의 성장 연구, 부정교합의 진단 및 치료 계획의 수립, 치료 결과의 평가, 성장 예측 등을 위한 중요한 도구이다. 그러나 3차원의 두개안면구조물을 평가하는데 측방두부규격방사선사진 단독으로 얻을 수 있는 정보에는 한계가 있어, 후전방두부규격방사선사진, 이하두정방사선사진 등의 사진을 부가적으로 이용하여 왔다. 최근 3차원 CT 재구성 영상을 두개안면기형의 진단, 치료계획 수립, 악교정 수술의 술전 모의 수술, 두개골 모형 제작 등에 적용하는 방법들이 소개되면서 기존의 2차원 영상을 이용한 교정진단에 변화를 가져오고 있다. 통상 교정적 목적의 일반 방사선영상(측방 및 전후방두부규격방사선사진 등)을 먼저 촬영하고, 3차원적 기형을 정확히 진단하기 위해 부가적으로 3차원 CT를 촬영하지만, 최근 dental cone-beam CT (CBCT)의 보급으로 3차원 CT를 촬영하고 이를 이용한 다양한 2차원 재구성 영상을 이용하는 방법이 소개되고 있다. 따라서 3차원 CT 정보를 이용하여 합성된 측방두부규격방사선사진이 기존의 디지털 측방두부규격방사선사진에서 얻는 정보를 대체할 수 있다면, 중복된 영상 획득을 피할 수 있고, 한번의 CT 촬영으로 모든 정보를 얻을 수 있으므로 임상에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 생각한다. dental CBCT는 기존의 multi-detector CT (MDCT)에 비해 비용과 방사선조사량의 감소라는 특징을 가지고 있으며, MDCT와 Dental CBCT 모두 구강악안면 영역의 3차원 CT 재구성 영상의 획득에 사용되고 있다.

그러나 MDCT와 dental CBCT는 촬영자세가 서로 다르고 측방두부규격방사선사진과 달리 두부고정기를 사용하지 않는다는 차이가 있다. 이러한 CT 촬영 시의 촬영조건이 기존의 2차원 측방두부규격방사선사진의 촬영조건과 다름으로 인해 계측치의 오차가 발생할 가능성이 있다. 대개의 2차원 영상 발생기(2D generator)는 별도의 점을 지정하지 않아도 3차원 영상정보에서 스스로 식별하여 2차원 측방두부규격방사선사진을 합성할 수 있으며, 이때 상의 왜곡이 의심되는 경우에 술자에 의해 2개의 점(대개는 양측 ear rod)을 표시하여 이를 방사선 조사방향으로 한 2차원 측방두부규격방사선사진을 합성한다.

MDCT 또는 dental CBCT 3차원 영상으로 재구성한 측방두부규격방사선사진의 유용성에 대한 연구는 제한적으로 이루어져 왔다. Greiner 등<sup>1</sup>은 연조직, 경조직, 치아의 계측점의 좌표값을 디지털 측방두부규격방사선사진과 MDCT에서 재구성한 측방두부규격방사선사진에서 비교하였다. Chidiac 등<sup>2</sup>은 fan-beam CT의 scout image를 측방두부규격방사선사진으로 대체할 수 있는가에 대해 연구하였다. 한편 dental CBCT 영상에서 재구성한 측방두부규격방사선사진의 유용성에 대한 연구는 Kumar 등,<sup>3,4</sup> Moshiri 등<sup>5</sup>에 의

해 이루어졌는데, MDCT나 dental CBCT에서 측방두부규격방사선사진을 재구성하는 프로그램들의 재구성 방법이 서로 달랐고 그 결과도 다양하게 나타났다.

기존의 디지털 측방두부규격방사선사진에서 머리 위치가 계측치에 미치는 영향에 대해서는 많이 연구되었다. Malkoc 등<sup>6</sup>과 Yoon 등<sup>7</sup>은 머리 위치를 수평적으로 좌우로 회전시키면서 계측치의 변화를 연구하였는데 회전 방향에 따라 오차의 크기가 달라지며 이는 좌우 구조물의 확대율이 서로 다르기 때문이라고 하였다. 그러나 MDCT나 dental CBCT 촬영시의 자세가 디지털 측방두부규격방사선사진과 다르기 때문에 머리 위치의 오차가 발생할 가능성이 있다고 언급은 되었지만<sup>4</sup> 이에 대한 연구는 아직까지 이루어지지 않았다. CT 영상으로 측방두부규격방사선사진 합성시 평행한 방사선조사선을 가정하게 되면 좌우 구조물의 확대율은 달라지지 않을 것이다. 이러한 차이가 계측치 변이에 어떠한 차이를 보일 것인지에 대한 연구가 필요하다고 생각한다.

이에 표준 자세에서 촬영한 기존의 디지털 측방두부규격방사선사진과 MDCT를 표준자세와 머리를 회전시킨 자세로 촬영한 3차원 영상으로 재구성한 측방두부규격방사선사진에서의 계측치를 비교하여 재구성 영상의 유용성과 머리 위치가 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

서울대학교 치과병원 구강해부학교실의 건조두개골을 이용하여 두개저 및 상악골과 하악골 24쌍을 본 연구에 이용하였다. 그러나 2쌍의 건조두개골은 영상획득 과정에서 하악골의 위치가 변위된 상태로 촬영되어 본 연구에서 제외하였다. 상하악 전치가 소실된 경우, 이와 연관된 계측치들을 이용하기 위해, 바륨(Valium) 분말을 혼합한 아크릴 치아를 형성하여 위치시켜 각각 최소한 상악 2개의 중절치와 하악 2개의 중절치가 영상에 나오도록 하였다(Fig. 1). 또한 하악과두와 측두골의 하악와가 서로 분리되어 촬영이 되도록 하기 위해 이 사이에 2mm 두께의 고무인상재를 넣었으며, 하악골을 두개 및 상악골에 고무밴드를 이용하여 고정시켰다. 건조두개골을 정확하게 위치시키기 위해 스티로폼으로 제작한 두개골 고정장치(custom styrofoam head holder)에 고정하고, 이 고정장치를 디지털 측방두부규격방사선사진 촬영 시에는 수평으로 위치시키고 두부고정기(cephalostat)를 이용하여 촬영하였으며, MDCT 촬영 시에는 수직으로 위치시켜 촬영하였다. 이때 디지털 측방두부규격방사선사진은 표준자세로 촬영하였으며, MDCT는 수직으로 위치한 표준자세와 두 가지 회전된 자세(수직축에 대한 10도 좌측 회전과 전후방축을 기준으로 한 10도 우측 회전)로 각각 촬영하였다(Fig. 2). 본 연구에 사용된 디지털 측방두부규격방사선사진은 Asahi CX-90 SP

(Toshiba, Japan)로 10×12 인치의 Fuji IP cassette 3A를 이용하여 촬영하였으며 FCR 5000R을 통하여 IP cassette를 스캔하여 영상을 컴퓨터에 저장하였다. 디지털 측방두부규격방사선사진의 촬영 조건은 방사선원과 두개골의 정중시상면의 거리가 150 cm, 두개골의 정중시상면과 IP cassette의 거리가 15 cm가 되게 하여 확대율을 110%가 되도록 하였다. MDCT는 Somatom Sensation (Siemens, Germany)으로 120 kvp, 50 mA, scan time 2.8 s, matrix 512, thickness 0.75 mm, length 256 mm의 조건으로 촬영하였다. On-Demand® (CyberMed, Korea) 프로그램을 이용, 110%의 확

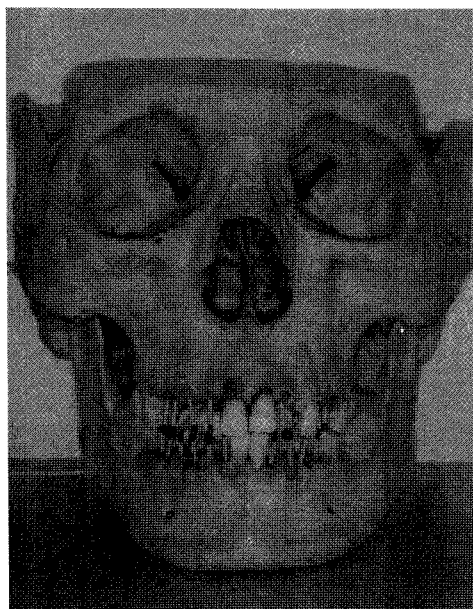


Fig. 1. A sample of human dry skull without cranial vault.

대율을 적용하여, 3가지 자세로 촬영된 3차원 MDCT 영상 정보에서 각각 2차원 측방두부규격방사선사진을 합성하였다. 2가지의 회전된 자세에서 촬영된 CT 영상은 사전 조정 없이 합성된 측방두부규격방사선사진과 술자에 의해 양측 ear rod를 설정하여 잘못된 자세로 인한 상의 왜곡을 수정한 측방두부규격방사선사진, 2가지를 합성하였다.

이렇게 하나의 건조두개골에 대해 얻어진 총 6개의 측방두부규격방사선사진(디지털, CT 합성 표준, CT 합성 10° 수평회전 [10° left rotation], CT 합성 10° 수평회전 수정, CT 합성 10° 수직회전 [10° right tilting], CT 합성 10° 수직회전 수정, Fig. 3)을 두부규격방사선사진 분석 프로그램 (V-Ceph™ Ver 6.0, Cybermed, Korea)을 이용하여 22" LCD 모니터상의 영상에서 직접 계측점을 입력하고 자동으로 계측치를 측정하였다.

17개의 계측점 (Table 1)을 이용하여 임상적으로 중요한 27개의 계측 항목 (Table 2)을 구하였으며, 이 중 16개는 각도 항목이었고 11개는 거리 항목이었다. 계측은 한 명의 교정의사가 4주 간격으로 3회 시행하여 학습효과를 배제하도록 하였다. 이상의 결과를 분석하여, 6가지 각 영상에서 3회 반복 측정시 계측치를 비교하여 재현성을 조사하였고, 디지털 측방두부규격방사선사진을 이용한 계측치의 평균치를 기준으로 각 영상에서 얻은 계측치의 평균치를 비교하여 3차원 MDCT 영상에서 합성된 측방두부규격방사선사진이 기존의 디지털 측방두부규격방사선사진을 대체할 수 있는지와 머리 위치의 오차가 계측치에 어떠한 영향을 미치는지를 관찰하였다. 동일한 영상에서 3회 반복 측정된 측정치의 비교는 반복측정분산분석 (repeated measures ANOVA)과 급내상관계수 (Intraclass correlation coefficient, ICC)를 이용하여 비교하였고, 디지털 측방두부규

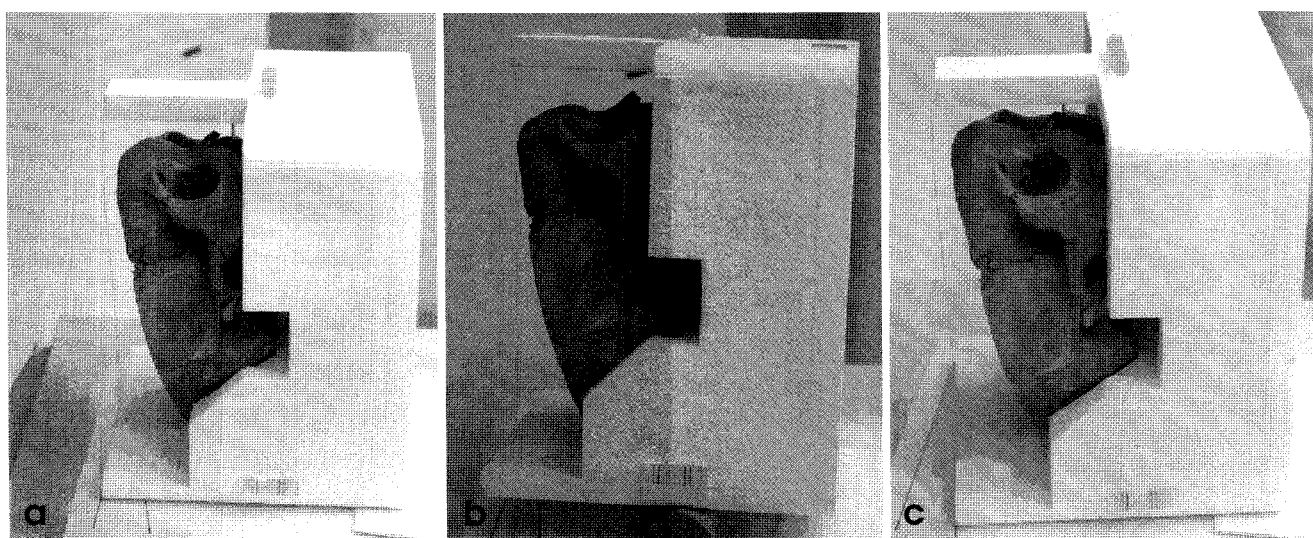
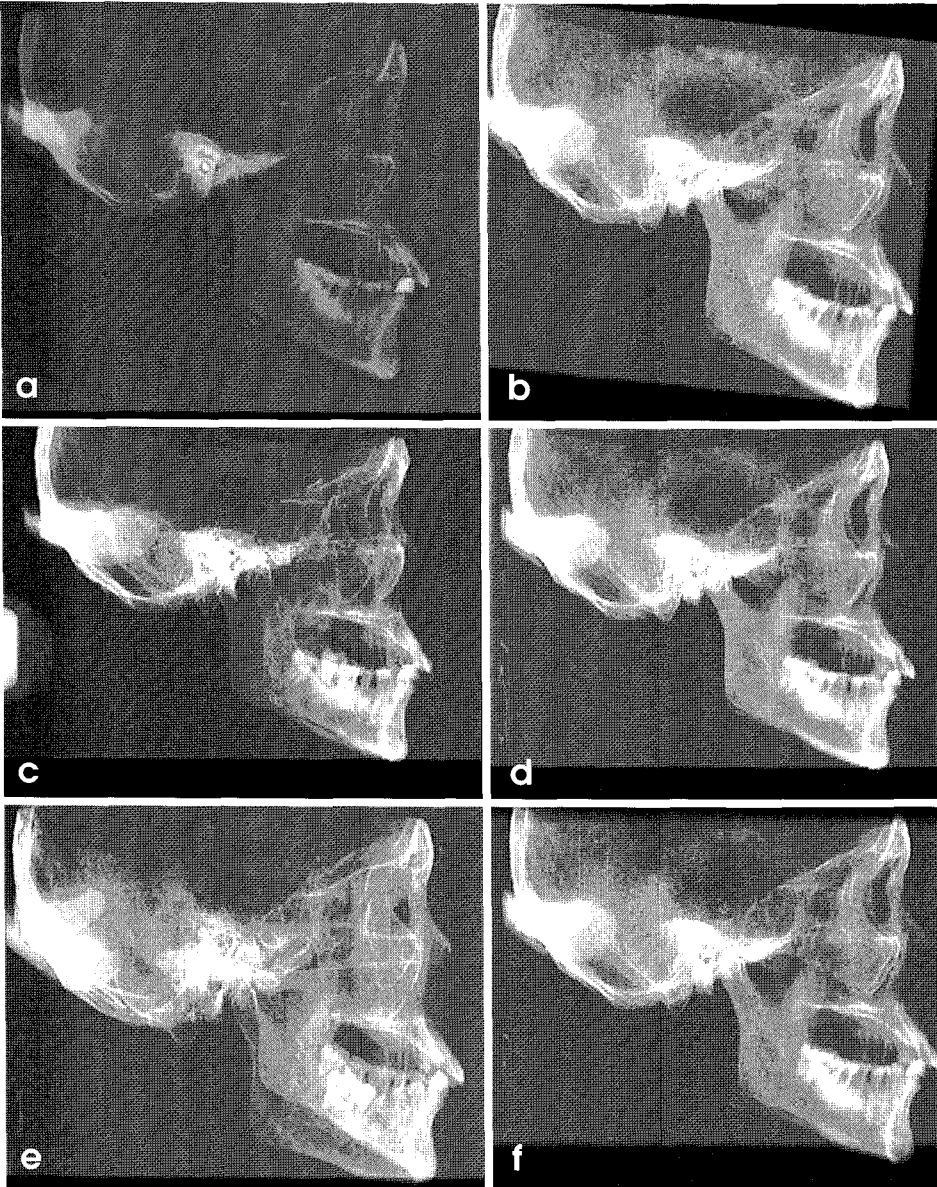


Fig. 2. Samples of skull positioning during MDCT procedures. (a) standard position, (b) 10° left rotation around z-axis(vertical axis), (c) 10° right tilting around y-axis(antero-posterior axis).



**Fig. 3.** Samples of 6 cephalometric radiographs. (a) conventional digital, (b) MDCT-synthesized image at standard position, (c) MDCT-synthesized image at 10° left rotation position and (d) corrected image from (c), (e) MDCT-synthesized image at 10° right tilting position and (f) corrected image from (e).

격방사선사진의 측정치를 기준으로 5가지 CT를 이용하여 합성한 측방두부규격방사선사진의 측정치를 Student t-test를 이용하여 비교하였다.

## 결 과

### 1. 각각의 측방두부규격방사선사진에서 계측치의 재현성 비교(Tables 3-8)

디지털 측방두부규격방사선사진, 표준자세 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진, 수평회전 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진, 수평회전 MDCT에서 수정-합성한 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT에서 수정-

합성한 측방두부규격방사선사진의 계측치의 재현성은 Tables 3-8과 같다.

디지털 측방두부규격방사선사진은 27개 계측치 모두 ICC 값은 매우 높아 높은 재현성을 보였으나 L1 to NB(°)는 반복측정분산분석의 P 값이 .05 미만으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 3회 반복 측정치의 평균 값의 차이는 0.5° 미만이었다(Table 3). MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 5가지 경우에서 모두 27개 계측치 모두 ICC 값이 높아 재현성이 높았으나, 반복측정분산분석의 P 값이 .05 미만인 경우가, 표준자세 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 3개(SNB, Facial angle, Mn plane to FH), 수평회전 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 1개(L1 to NB [mm]), 수직회전 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 1개(UAFH), 수직회전

**Table 1.** Definitions of cephalometric landmarks

Landmark	Definition
Sella (S)	The center of the pituitary fossa of the sphenoid bone determined by inspection
Nasion (N)	The junction of the frontonasal suture at the most posterior point on the curve at the bridge of the nose
Porion (Po)	Anatomical porion, the most superior point of external auditory meatus
Orbitale (Or)	The lowest point on the average of the right and left borders of the bony orbit
Anterior nasal spine (ANS)	The tip of the median sharp bony process of the maxilla at the lower margin of the anterior nasal opening
Posterior nasal spine (PNS)	The most posterior point at the sagittal plane on the bony hard palate
Point A (A)	The most posterior point on the curve of the maxilla between the anterior nasal spine and supradentale
Point B (B)	The point most posterior to a line from infradentale to pogonion on the anterior surface of the symphyseal outline of the mandible
UIA	The apex of the maxillary central incisor
UIE	The incisal tip of the maxillary central incisor
LIA	The apex of the most anterior mandibular central incisor
LIE	The incisal tip of the mandibular central incisor
Condylion (Cd)	The most posterior-superior point on the curvature of the condylar head
Gonion (Go)	The midpoint of the angle of the mandible
Menton (Me)	The most inferior point on the symphyseal outline
Gnathion (Gn)	The most inferior and anterior point on the symphyseal outline
Pogonion (Pog)	The most anterior point on the contour of the bony chin

**Table 2.** Definitions of cephalometric measurements

Variables	Unit	Definition
SNA	Angle	Angle between S-N and N-A
SNB	Angle	Angle between S-N and N-B
Facial angle	Angle	Angle between Po-Or and N-Pog
Facial convexity	Angle	Angle between N-A and A-Pog
A-B plane angle	Angle	Angle between A-B and N-Pog
Mn plane to FH	Angle	Angle between Po-Or and Go-Gn
Y-axis angle	Angle	Angle between Po-Or and S-Gn
Palatal plane to FH	Angle	Angle between Po-Or and ANS-PNS
Occlusal plane to FH	Angle	Angle between Po-Or and OP
Mn plane to SN	Angle	Angle between S-N and Go-Gn
AFH	Length	Distance between N and Me
LAFH	Length	Distance between ANS and Me
UAFH	Length	Distance between N and ANS
U1 to SN	Angle	Angle between S-N and UIA-UIE
U1 to PP	Angle	Angle between ANS-PNS and UIA-UIE
U1 to A-Pog	Length	Distance from A-Pog to UIE
U1 to NA (°)	Angle	Angle between N-A and UIA-UIE
U1 to NA (mm)	Length	Distance from N-A to UIE
L1 to NB (mm)	Length	Distance from N-B to LIE
L1 to NB (°)	Angle	Angle between N-B and LIA-LIE
L1 to Mn plane	Angle	Angle between Go-Gn and LIA-LIE
Interincisal angle	Angle	Angle between UIA-UIE and LIA-LIE
Pog to NB	Length	Distance from N-B to Pog
Midfacial length	Length	Distance between Co and A
Mandibular length	Length	Distance between Co and Gn
Pog-N perpendicular	Length	Pog to N with respect to N-perpendicular
A-N perpendicular	Length	A to N with respect to N-perpendicular

MDCT에서 수정-합성한 측방두부규격방사선사진은 2개 (UAFH, L1 to NB [mm]) 항목에서 나타났다 (Tables 4-7). 그러나 그 평균치의 차이는 모두 0.5° 또는 0.6 mm 이내였다. 수평회전 MDCT에서 수정-합성한 측방두부규격방사선사진은 27개 항목에서 모두 반복측정분산분석의 *P* 값이 .05 이상으로 유의한 차이가 없었다 (Table 8).

## 2. 디지털 측방두부규격방사선사진에 대한 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치 비교 (Table 9)

디지털 측방두부규격방사선사진의 계측치를 기준으로 표준자세 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치를 Student t-test로 비교하였는데, 27개 계측치 모두 유의한 차이가 없었다 ( $P > .05$ ).

## 3. MDCT 촬영 시 두부위치 변화가 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치에 미치는 영향 비교 (Table 10)

디지털 측방두부규격방사선사진의 계측치를 기준으로 10° 수평회전 (10° left rotation) MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 10° 수평회전 MDCT의 머리 위치를 수정한 합성 측방두부규격방사선사진, 10° 수직회전 (10° right tilting) MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 10° 수직회전 MDCT의 머리 위치를 수정한 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치를 각각 Student t-test로 비교하였는데, 27개 계측치 모두 유의한 차이가 없었다 ( $P > .05$ ). 그러나 *P* 값이 .3 이하인 항목을 살펴보면, 10° 수평회전 (10° left rotation) MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 AFH, UAFH, midfacial length의 3개 항목, 10° 수직회전 (10° right tilting)

**Table 3.** Mean and standard deviation of repeated measurements of digital cephalometric radiographs

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.19	3.21	82.01	3.27	82.19	3.18	.194	.996
SNB	77.61	3.66	77.51	3.50	77.69	3.71	.252	.997
Facial angle	89.19	3.04	89.32	3.00	89.26	2.95	.128	.998
Facial convexity	8.26	7.44	8.23	7.11	7.99	7.36	.349	.997
A-B plane angle	-7.99	4.54	-7.79	4.54	-7.91	4.63	.593	.994
Mn plane to FH	23.92	5.09	23.75	5.19	23.78	5.23	.265	.999
Y-axis angle	61.90	3.06	61.81	3.07	61.82	3.03	.543	.997
Palatal plane to FH	-0.78	3.00	-0.87	2.94	-0.70	2.90	.140	.994
Occlusal plane to FH	6.58	3.74	6.95	3.69	6.79	3.25	.278	.977
Mn plane to SN	34.74	6.32	34.84	6.39	34.58	6.52	.084	.999
AFH	132.25	5.78	132.34	6.00	132.31	5.91	.794	.998
LAFH	74.66	4.79	74.78	4.92	74.69	4.88	.581	.998
UAFH	58.61	3.17	58.60	3.13	58.65	3.18	.958	.994
U1 to SN	96.27	10.55	96.42	10.20	96.54	10.09	.372	.999
U1 to PP	106.29	11.09	106.60	10.68	106.61	10.46	.151	.999
U1 to A-Pog	6.50	2.55	6.59	2.74	6.45	2.52	.318	.996
U1 to NA (°)	14.08	11.78	14.41	11.50	14.35	11.19	.108	.999
U1 to NA (mm)	3.77	3.18	4.04	3.04	3.78	2.96	.057	.995
L1 to NB (mm)	4.49	3.12	4.45	3.06	4.36	3.12	.297	.998
L1 to NB (°)	16.21	10.40	16.01	10.56	15.75	10.52	.024	.998
L1 to Mn plane	-6.12	11.16	-6.31	11.19	-6.49	11.37	.129	.998
Interincisal angle	145.14	15.46	145.08	15.22	145.40	15.19	.601	.999
Pog to NB	1.68	2.18	1.60	2.20	1.70	2.32	.577	.994
Midfacial length	92.94	4.32	92.73	4.48	92.55	4.32	.158	.993
Mandibular length	123.31	5.89	123.42	6.11	123.19	6.22	.308	.998
Pog-N perpend	-1.66	6.64	-1.41	6.54	-1.53	6.46	.177	.998
A-N perpend	3.63	3.48	3.72	3.57	3.57	3.27	.479	.995

\*By repeated measures ANOVA; <sup>†</sup> Intraclass correlation coefficient

**Table 4.** Mean and standard deviation of repeated measurements of standard MDCT synthesized cephalometry

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.28	3.36	81.96	3.23	82.27	3.21	.109	.994
SNB	77.66	3.44	77.33	3.51	77.62	3.36	.034	.993
Facial angle	89.23	2.76	89.32	2.90	89.04	2.95	.035	.994
Facial convexity	8.44	7.31	8.13	7.13	8.54	7.23	.111	.997
A-B plane angle	-7.98	4.52	-7.81	4.45	-8.10	4.37	.076	.997
Mn plane to FH	23.47	5.11	23.28	5.23	23.57	5.18	.024	.998
Y-axis angle	61.66	2.93	61.53	2.95	61.86	3.05	.053	.994
Palatal plane to FH	-1.05	2.93	-1.26	2.91	-0.86	2.76	.101	.985
Occlusal plane to FH	6.62	3.40	6.73	3.35	6.90	3.42	.304	.991
Mn plane to SN	34.41	6.18	34.51	6.40	34.35	6.30	.641	.998
AFH	130.68	5.72	130.75	5.82	130.90	5.80	.341	.998
LAFH	73.87	4.79	73.93	4.92	74.00	4.80	.649	.996
UAFH	57.93	2.75	57.96	2.72	57.93	2.98	.924	.992
U1 to SN	96.12	10.51	96.29	10.23	96.33	9.99	.796	.997
U1 to PP	105.92	11.18	106.22	10.70	106.15	10.66	.770	.995
U1 to A-Pog	6.82	2.72	7.02	2.79	6.82	2.63	.091	.995
U1 to NA (°)	13.90	12.00	14.43	11.46	14.08	11.38	.302	.997
U1 to NA (mm)	4.21	3.20	4.27	3.21	4.07	3.16	.450	.991
L1 to NB (mm)	4.60	3.11	4.72	3.14	4.53	3.03	.274	.985
L1 to NB (°)	16.13	10.11	15.95	10.17	16.02	10.27	.851	.996
L1 to Mn plane	-6.02	11.67	-5.80	11.37	-5.89	11.41	.799	.997
Interincisal angle	145.52	15.08	145.10	14.92	145.28	14.87	.462	.998
Pog to NB	1.27	2.79	1.67	2.03	1.61	2.31	.420	.963
Midfacial length	93.21	4.42	92.97	4.19	92.64	4.32	.254	.982
Mandibular length	122.42	5.65	122.59	5.85	122.25	5.66	.198	.996
Pog-N perpend	-1.43	5.87	-1.23	6.24	-1.90	6.42	.063	.994
A-N perpend	3.93	3.47	3.68	3.52	3.75	3.36	.339	.990

\*By repeated measures ANOVA; <sup>†</sup> Intraclass correlation coefficient

**Table 5.** Mean and standard deviation of repeated measurements of MDCT-synthesized cephalometry at 10° left rotation position

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.12	3.17	81.90	3.20	82.20	2.93	.384	.978
SNB	77.45	3.73	77.73	3.25	77.88	3.18	.380	.980
Facial angle	89.66	3.07	89.50	2.94	89.40	2.63	.743	.967
Facial convexity	8.34	8.03	7.64	7.06	8.04	6.56	.308	.981
A-B plane angle	-7.83	5.00	-7.00	4.24	-7.39	4.02	.113	.973
Mn plane to FH	23.38	5.48	23.94	5.57	23.64	5.22	.173	.993
Y-axis angle	61.38	3.19	61.56	3.06	61.65	2.88	.671	.975
Palatal plane to FH	-1.49	2.79	-1.55	2.66	-1.26	2.89	.639	.950
Occlusal plane to FH	7.16	4.46	6.53	4.87	5.89	2.28	.164	.863
Mn plane to SN	34.84	6.35	35.13	6.43	34.64	6.24	.059	.995
AFH	130.24	5.87	130.03	5.77	130.30	5.64	.246	.993
LAFH	73.56	4.61	73.69	4.71	73.47	4.55	.592	.993
UAFH	57.71	2.85	57.37	2.75	57.70	3.14	.144	.972
U1 to SN	96.67	10.34	96.53	10.22	96.61	9.51	.942	.992
U1 to PP	106.59	10.81	106.12	10.77	106.31	10.12	.593	.992
U1 to A-Pog	6.98	2.50	7.06	2.60	6.88	2.41	.583	.975
U1 to NA (°)	14.55	11.49	14.63	11.29	14.41	10.68	.853	.994
U1 to NA (mm)	4.25	3.32	4.26	3.12	3.98	2.64	.509	.974
L1 to NB (mm)	4.90	3.32	4.50	3.11	4.37	2.97	.021	.990
L1 to NB (°)	16.31	9.45	16.44	9.73	16.53	9.59	.761	.996
L1 to Mn plane	-6.00	10.39	-6.37	10.67	-5.95	10.37	.317	.997
Interincisal angle	145.63	14.94	144.89	14.32	143.62	13.64	.114	.987
Pog to NB	1.72	2.13	1.35	2.62	1.23	2.55	.112	.980
Midfacial length	90.89	3.56	91.24	4.12	90.73	3.77	.476	.949
Mandibular length	121.76	5.84	122.22	5.82	121.78	5.58	.089	.993
Pog-N perpend	-0.53	6.47	-0.90	6.26	-1.19	5.67	.633	.970
A-N perpend	4.17	3.61	3.60	3.20	3.73	2.68	.216	.948

\*By repeated measures ANOVA; †Intraclass correlation coefficient

**Table 6.** Mean and standard deviation of repeated measurements of corrected MDCT-synthesized cephalometry at 10° left rotation position

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.02	3.33	81.77	2.95	82.10	3.45	.144	.992
SNB	77.47	3.70	77.36	3.46	77.47	3.69	.600	.996
Facial angle	89.21	2.87	89.14	3.01	89.25	3.05	.746	.994
Facial convexity	8.21	7.18	7.87	6.94	8.30	7.75	.344	.996
A-B plane angle	-7.79	4.53	-7.40	4.65	-7.95	4.86	.058	.993
Mn plane to FH	23.35	5.22	23.39	5.19	23.64	5.23	.074	.997
Y-axis angle	61.67	3.06	61.66	3.04	61.67	3.20	.993	.996
Palatal plane to FH	-1.08	2.68	-0.97	2.63	-0.96	2.55	.337	.989
Occlusal plane to FH	6.65	3.98	7.38	4.31	7.21	4.02	.147	.963
Mn plane to SN	34.34	6.60	34.45	6.50	34.66	6.41	.083	.998
AFH	130.72	5.89	130.94	6.24	130.67	5.93	.356	.996
LAFH	73.96	4.72	74.05	5.03	74.06	5.00	.818	.996
UAFH	57.78	3.02	57.95	2.96	57.69	2.77	.079	.991
U1 to SN	96.40	10.29	96.12	10.03	96.25	10.46	.682	.997
U1 to PP	106.27	10.86	106.18	10.65	106.26	10.98	.962	.996
U1 to A-Pog	6.92	2.76	6.98	2.65	6.90	2.75	.740	.996
U1 to NA (°)	14.37	11.61	14.35	11.19	14.14	12.06	.763	.996
U1 to NA (mm)	4.29	3.17	4.08	3.17	4.32	3.27	.400	.991
L1 to NB (mm)	4.74	3.23	4.54	3.17	4.83	3.19	.083	.995
L1 to NB (°)	15.39	10.02	15.85	9.86	15.71	10.57	.477	.993
L1 to Mn plane	-6.39	10.70	-5.93	10.88	-6.37	11.46	.701	.993
Interincisal angle	145.69	15.63	145.39	14.57	145.52	16.02	.685	.996
Pog to NB	1.66	1.93	1.62	2.01	1.73	1.99	.627	.983
Midfacial length	92.91	3.98	92.55	3.95	92.71	4.07	.303	.986
Mandibular length	122.56	5.86	122.63	5.91	122.52	5.94	.910	.995
Pog-N perpend	-1.57	6.13	-1.68	6.42	-1.46	6.44	.773	.994
A-N perpend	3.59	3.32	3.34	3.27	3.70	3.39	.048	.995

\*By repeated measures ANOVA; †Intraclass correlation coefficient

**Table 7.** Mean and standard deviation of repeated measurements of MDCT-synthesized cephalometry at 10° right tilting position

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.52	3.55	82.29	3.46	82.34	3.40	.854	.953
SNB	77.60	3.92	77.62	3.86	77.60	3.54	.995	.978
Facial angle	88.93	3.04	89.28	3.19	88.88	2.95	.380	.972
Facial convexity	9.07	7.36	8.49	7.46	8.54	7.48	.298	.987
A-B plane angle	-8.41	4.61	-7.87	4.70	-8.32	4.79	.230	.984
Mn plane to FH	22.95	5.20	23.03	5.16	23.24	4.92	.256	.995
Y-axis angle	61.61	3.30	61.20	3.30	61.55	3.12	.274	.983
Palatal plane to FH	-0.59	2.81	-0.57	2.62	-0.85	2.76	.539	.964
Occlusal plane to FH	6.37	4.15	6.75	3.33	6.37	3.95	.788	.896
Mn plane to SN	33.54	6.63	34.00	6.56	33.79	6.09	.176	.994
AFH	129.75	6.02	130.06	6.15	130.08	6.04	.452	.995
LAFH	73.39	4.96	73.25	5.17	73.56	4.94	.352	.995
UAFH	57.43	3.06	57.96	3.09	57.44	3.33	.019	.977
U1 to SN	96.28	10.69	95.52	9.56	96.18	10.05	.623	.983
U1 to PP	106.23	11.54	105.86	9.94	105.82	10.83	.762	.980
U1 to A-Pog	6.77	2.73	6.64	2.74	6.74	2.57	.890	.974
U1 to NA (°)	13.76	12.09	13.23	10.96	13.84	11.28	.850	.974
U1 to NA (mm)	4.13	3.11	3.71	3.26	3.91	3.17	.438	.959
L1 to NB (mm)	4.76	3.18	4.57	3.08	4.57	3.15	.159	.995
L1 to NB (°)	16.80	10.08	16.57	9.52	16.41	10.13	.751	.988
L1 to Mn plane	-4.29	11.02	-4.98	10.49	-4.92	11.34	.492	.988
Interincisal angle	144.52	14.99	145.53	14.17	145.01	15.04	.599	.983
Pog to NB	1.64	2.03	1.57	2.01	1.68	2.13	.817	.983
Midfacial length	92.61	3.88	92.65	3.95	92.05	3.86	.243	.968
Mandibular length	121.11	5.81	122.08	6.07	121.52	5.62	.124	.985
Pog-N perpend	-2.16	6.39	-1.42	6.69	-2.29	6.32	.349	.972
A-N perpend	3.69	3.07	3.80	3.20	3.40	3.27	.544	.935

\*By repeated measures ANOVA; † Intraclass correlation coefficient

**Table 8.** Mean and standard deviation of repeated measurements of corrected MDCT-synthesized cephalometry at 10° right tilting position

	1		2		3		P*	ICC <sup>†</sup>
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
SNA	82.08	3.44	82.29	3.46	82.26	3.20	.614	.962
SNB	77.48	3.68	77.62	3.86	77.57	3.48	.837	.977
Facial angle	89.29	3.04	89.28	3.19	89.07	3.04	.123	.979
Facial convexity	8.23	7.68	8.49	7.46	8.72	7.33	.348	.991
A-B plane angle	-7.85	4.70	-7.87	4.70	-8.24	4.60	.413	.984
Mn plane to FH	23.57	5.16	23.38	4.90	23.73	5.09	.072	.997
Y-axis angle	61.63	3.18	61.52	3.07	61.78	3.09	.141	.995
Palatal plane to FH	-0.94	2.58	-0.63	2.69	-0.71	2.84	.299	.978
Occlusal plane to FH	7.28	3.97	6.75	3.33	6.69	3.42	.372	.874
Mn plane to SN	34.61	6.31	34.42	6.40	34.58	6.38	.174	.998
AFH	130.83	5.80	130.79	6.05	131.00	5.98	.232	.998
LAFH	74.04	4.96	73.79	5.08	73.90	4.97	.449	.996
UAFH	57.77	2.74	58.13	2.88	58.14	3.08	.046	.989
U1 to SN	96.21	10.48	95.52	9.56	96.20	10.23	.641	.986
U1 to PP	106.24	11.00	105.86	9.94	106.29	10.59	.847	.983
U1 to A-Pog	6.92	2.79	6.64	2.74	6.85	2.59	.496	.974
U1 to NA (°)	14.13	12.07	13.23	10.96	13.94	11.44	.720	.978
U1 to NA (mm)	4.35	3.27	3.97	3.15	3.97	3.15	.074	.988
L1 to NB (mm)	4.72	3.20	4.64	3.13	4.50	3.06	.045	.998
L1 to NB (°)	16.23	10.21	16.57	9.52	16.40	10.55	.599	.995
L1 to Mn plane	-5.87	11.16	-5.63	10.76	-5.70	11.37	.654	.997
Interincisal angle	145.04	15.14	145.53	14.17	144.97	15.06	.884	.985
Pog to NB	1.72	1.98	1.57	2.01	1.48	2.41	.379	.980
Midfacial length	92.63	4.10	92.73	3.92	92.34	3.87	.541	.973
Mandibular length	122.46	5.98	122.22	5.98	122.14	5.64	.456	.988
Pog-N perpend	-1.39	6.43	-1.42	6.69	-1.87	6.50	.115	.979
A-N perpend	3.70	3.39	3.80	3.20	3.71	3.43	.966	.962

\*By repeated measures ANOVA; † Intraclass correlation coefficient



**Table 9.** Comparison of cephalometric measurements between digital cephalometry and standard MDCT-synthesized cephalometry

	Digital		Standard MDCT-synthesized		P
	Mean	SD	Mean	SD	
SNA	82.13	3.21	82.14	3.25	.995
SNB	77.60	3.62	77.54	3.42	.950
Facial angle	89.25	2.99	89.20	2.85	.949
Facial convexity	8.16	7.29	8.37	7.21	.924
A-B plane angle	-7.90	4.55	-7.96	4.44	.962
Mn plane to FH	23.82	5.16	23.44	5.16	.808
Y-axis angle	61.84	3.04	61.67	2.96	.848
Palatal plane to FH	-0.78	2.93	-1.06	2.83	.754
Occlusal plane to FH	6.77	3.49	6.75	3.36	.981
Mn plane to SN	34.72	6.40	34.44	6.25	.882
AFH	132.30	5.89	130.77	5.75	.389
LAFH	74.71	4.86	73.93	4.81	.598
UAFH	58.62	3.15	57.93	2.79	.448
U1 to SN	96.41	10.27	96.27	10.18	.965
U1 to PP	106.50	10.73	106.12	10.78	.906
U1 to A-Pog	6.51	2.60	6.89	2.70	.641
U1 to NA (°)	14.28	11.48	14.14	11.59	.967
U1 to NA (mm)	3.86	3.05	4.18	3.16	.736
L1 to NB (mm)	4.43	3.09	4.69	3.13	.786
L1 to NB (°)	15.99	10.47	15.99	10.15	>.999
L1 to Mn plane	-6.31	11.22	-5.92	11.42	.909
Interincisal angle	145.21	15.27	145.27	14.93	.988
Pog to NB	1.66	2.22	1.60	2.12	.931
Midfacial length	92.74	4.35	92.86	4.17	.923
Mandibular length	123.31	6.06	122.42	5.69	.620
Pog-N perpend	-1.53	6.53	-1.52	6.14	.994
A-N perpend	3.64	3.43	3.71	3.41	.946

P: Student t-test between digital cephalometry and standard MDCT-synthesized cephalometry

MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진은 AFH, UAFH의 2개 항목이 있었고, 수평회전 MDCT에서 수정-합성한 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT에서 수정-합성한 측방두부규격방사선사진에서는 한 개의 항목도 없었다.

## 고 찰

1931년 독일의 Hofrath<sup>8</sup>와 미국의 Broadbent<sup>9</sup>에 의해 측방두부규격방사선사진이 도입된 이후, 임상치과교정학에서는 두개안면부위의 성장 연구, 부정교합의 진단 및 치료 계획의 수립, 치료 결과의 평가, 성장 예측 등을 위한 도구로써 널리 사용되어 왔다. 측방두부규격방사선사진을 이용한 분석은 주로 여러 가지 계측점을 이용하여 각도와 거리를 측정함으로써 이루어지며, 이러한 방법들은 일련의 각도와 거리 계측치에 대한 평균치와 정상범주가 제시되어 흔히 '분석법'이라고 명명되는데, 측방두부규격방사선사진을 임상교정에 이용해 온 70여 년의 기간 동안 광범위

한 정보가 축적되어 이를 분석에 이용하여 왔다. 2차원 영상으로 진단을 해왔던 환경에서 3차원의 영상이 임상치과 교정 영역에 쉽게 적용될 수 있는 시대가 되면서, 3D CT를 이용한 새로운 측방두부규격방사선사진의 분석 방법들이 소개되고 있다. 그러나, 아직까지는 어떻게 높은 재현성을 갖도록 분석할 것인가를 소개하거나,<sup>10-12</sup> 비대칭에 대한 체계적 분석 방법들을 소개하는 데<sup>13-16</sup>에 그치고 있다.

비록 3차원 CT 영상이 해부학적 구조물의 확대와 왜곡이 없는 영상을 제공하여 두개안면구조물의 진단에 유용하게 사용할 수 있지만, 3차원 영상에서 직접 계측하여 분석하는데 기준이 되는 정상치에 대한 축적된 정보가 없기 때문에, 교정적 진단을 위해서는 CT를 촬영한 환자에서도 측방두부규격방사선사진, 전후방두부규격방사선사진, 파노라마방사선사진과 같은 영상을 위해 추가적인 방사선 노출이 필요하다. Cevidanes 등<sup>17,18</sup>은 CBCT를 이용하여 이들 사진을 합성할 수 있어 기존의 영상과 비교할 수 있다고 하였다.

Greiner 등<sup>1</sup>은 MDCT 영상정보를 이용하여 기존의 측방두부규격방사선사진을 합성하여 교정적으로 이용되는 연조직, 경조직, 치아의 계측점 61개에 대한 좌표 값을 디지털 측방두부규격방사선사진과 비교하였다. 두 영상에서 계측점의 좌표 값은 관찰자간, 관찰자내 신뢰도가 높았고, 두 영상 사이에서도 계측점 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

Kumar 등<sup>3,4</sup>은 dental CBCT를 이용한 연구에서, 평행한 방사선조사선을 이용한 orthogonal projection과, 디지털 측방두부규격방사선사진과 유사하게 방사선원에서 퍼져나가는 방식으로 합성한 perspective projection, 두 가지 합성 영상을 평가하였다. 건조두개골을 대상으로 한 연구<sup>3</sup>에서는 mandibular unit length (Co-Gn)를 제외한 13개의 선 및 각도 계측치에서 유의한 차이가 없었고, 환자를 대상으로 한 연구<sup>4</sup>에서는 FMA를 제외한 16개의 선 및 각도 계측치에서 유의한 차이가 없었다고 하였다. 그리고 비록 mandibular unit length나 FMA의 계측치의 차이가 무시하지 못할 정도의 수치이기 하지만, CT 영상을 이용한 측방두부규격방사선사진 합성 시 transporionic axis를 재배열함으로써 머리 위치를 수정할 수 있어 기존의 측방두부규격방사선사진에서 두부고정기의 위치나 환자의 잘못된 위치로 인한 머리 회전과 같은 문제를 제거할 수 있는 장점을 높이 평가하였다.

Moshiri 등<sup>5</sup>은 dental CBCT 정보를 이용하여 측방두부규격방사선사진을 합성하는 3가지 방법들을 소개하고 거리 계측의 정확성을 비교하였다. Dental CBCT에서 얻은 측방두부규격방사선사진은 5개의 시상중심평면 상의 계측치 모두와 4개의 양측성 계측치 중 1개 또는 2개의 계측치에서 유의한 차이가 없었던 반면, 디지털 측방두부규격방사선사진은 실제 계측치보다 유의하게 큰 경향을 나타내었

Table 10. Comparison of cephalometric measurements between digital cephalometry and MDCT-synthesized cephalometry at rotated position

	Digital			10° left rotation			10° left rotation-corrected			10° right tilting			10° right tilting-corrected		
	Mean	SD		Mean	SD	P <sub>1</sub>	Mean	SD	P <sub>2</sub>	Mean	SD	P <sub>3</sub>	Mean	SD	P <sub>4</sub>
SNA	82.13	3.21		82.07	3.04	.952	81.97	3.22	.866	82.38	3.32	.799	82.10	3.31	.976
SNB	77.60	3.62		77.70	3.32	.931	77.43	3.61	.876	77.61	3.70	.999	77.45	3.57	.888
Facial angle	89.25	2.99		89.52	2.79	.762	89.20	2.96	.953	89.03	2.98	.804	89.16	3.01	.917
Facial convexity	8.16	7.29		8.01	7.11	.945	8.12	7.27	.987	8.70	7.34	.809	8.44	7.37	.901
A-B plane angle	-7.90	4.55		-7.38	4.30	.699	-7.71	4.65	.893	-8.20	4.63	.829	-8.01	4.57	.939
Mn plane to FH	23.82	5.16		23.66	5.39	.920	23.46	5.20	.820	23.07	5.07	.630	23.56	5.04	.866
Y-axis angle	61.84	3.04		61.53	2.97	.734	61.67	3.09	.849	61.45	3.19	.678	61.65	3.10	.832
Palatal plane to FH	-0.78	2.93		-1.43	2.65	.447	-1.00	2.59	.795	-0.67	2.64	.895	-0.76	2.64	.978
Occlusal plane to FH	6.77	3.49		6.53	3.57	.819	7.08	3.96	.787	6.50	3.48	.795	6.84	3.16	.945
Mn plane to SN	34.72	6.40		34.87	6.31	.937	34.48	6.49	.903	33.77	6.39	.626	34.54	6.35	.924
AFH	132.30	5.89		130.19	5.72	.235	130.78	6.00	.400	129.96	6.04	.201	130.87	5.93	.427
LAFH	74.71	4.86		73.57	4.59	.430	74.02	4.90	.644	73.40	5.00	.383	73.91	4.99	.593
UAFH	58.62	3.15		57.60	2.84	.264	57.81	2.89	.378	57.61	3.09	.290	58.01	2.87	.508
U1 to SN	96.41	10.27		96.60	9.95	.950	96.25	10.23	.960	95.99	9.94	.892	96.06	10.20	.910
U1 to PP	106.50	10.73		106.34	10.48	.959	106.23	10.79	.935	105.97	10.58	.869	106.23	10.63	.934
U1 to A-Pog	6.51	2.60		6.97	2.45	.548	6.93	2.71	.600	6.72	2.61	.794	6.89	2.64	.632
U1 to NA (°)	14.28	11.48		14.53	11.09	.941	14.29	11.58	.998	13.61	11.17	.846	13.96	11.54	.926
U1 to NA (mm)	3.86	3.05		4.16	2.96	.745	4.23	3.18	.699	3.92	3.06	.954	4.10	3.15	.806
L1 to NB (mm)	4.43	3.09		4.60	3.10	.861	4.70	3.18	.774	4.63	3.12	.833	4.62	3.12	.843
L1 to NB (°)	15.99	10.47		16.43	9.55	.885	15.65	10.08	.912	16.59	9.80	.845	16.18	10.15	.951
L1 to Mn plane	-6.31	11.22		-6.10	10.45	.951	-6.23	10.94	.981	-4.73	10.82	.638	-5.73	11.06	.865
Interincisal angle	145.21	15.27		144.66	14.22	.904	145.53	15.36	.944	145.02	14.49	.967	145.21	14.92	.999
Pog to NB	1.66	2.22		1.42	2.39	.730	1.67	1.94	.985	1.63	2.02	.967	1.62	2.12	.958
Midfacial length	92.74	4.35		90.95	3.65	.147	92.72	3.95	.991	92.44	3.78	.807	92.51	3.86	.857
Mandibular length	123.31	6.06		121.92	5.71	.440	122.57	5.88	.684	121.57	5.75	.335	122.25	5.79	.557
Pog-N perpend	-1.53	6.53		-0.87	5.96	.728	-1.57	6.30	.986	-1.96	6.30	.827	-1.67	6.38	.945
A-N perpend	3.64	3.43		3.83	3.03	.847	3.54	3.31	.925	3.63	2.99	.990	3.66	3.28	.986

P<sub>1</sub>: Student t-test between digital and MDCT-synthesized cephalometry at 10° left rotation position, P<sub>2</sub>: Student t-test between digital and corrected MDCT-synthesized cephalometry at 10° left rotation position, P<sub>3</sub>: Student t-test between digital and MDCT-synthesized cephalometry at 10° right tilting position, P<sub>4</sub>: digital and corrected MDCT-synthesized cephalometry at 10° right tilting position

고 확대율은 4.6%에서 9.1%이었다. 이 연구에서 이용한 합성방식은 확대율이 없이 100%로 합성하는 것이었고, 확대율이 비교적 영향을 덜 미치는 각도계측치가 아닌 보다 민감한 거리 계측치를 비교하였기 때문에 내재적 확대율이 있는 디지털 측방두부규격방사선사진에서 유의하게 큰 경향을 나타낸 것으로 생각된다.

Chidiac 등<sup>2</sup>은 fan-beam CT의 scout image를 측방두부규격방사선사진으로 대체할 수 있는가에 대하여 연구하였는데, 측방두부규격방사선사진과 fan-beam CT의 scout image는 7개의 각도계측에서 모두 유의한 차이가 없었지만 거리계측에서는 수직적 계측치는 CT의 scout image가, 수평적 계측치에서는 측방두부규격방사선사진이, 더 정확하다고 하였다.

본 연구에서는 MDCT를 이용하여 3차원 영상을 얻고 이를 OnDemand<sup>®</sup>(CyberMed, Korea) 프로그램을 통해 측방두부규격방사선사진을 재구성하였는데, 기존의 디지털 측방두부규격방사선사진의 확대율을 고려하여 110%의 확대율로 설정하였다. OnDemand<sup>®</sup> 프로그램은 측방두부규격방사선사진을 재구성할 때 평행한 방사선조사선을 가정하여 재구성하므로 좌우 구조물이 서로 다른 비율로 확대되지 않는다. 반면 디지털 측방두부규격방사선사진은 방사선원-물체의 거리를 충분히 길게 하여 좌우 구조물의 확대율의 차이를 최소화하도록 하고 있지만 평행한 방사선조사선은 아니기 때문에 확대율의 차이가 어느 정도는 있게 된다. 그러나 디지털 측방두부규격방사선사진의 계측치와 표준 자세 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진의 계측치는 유의한 차이가 없었다(Table 9). 이는 orthogonal projection, perspective projection 어느 방법을 이용하여 측방두부규격방사선사진을 합성하더라도 계측치 변이에 특정 경향성이 없다는 Kumar 등<sup>3,4</sup>의 결과와 유사하였다.

측방두부규격방사선사진의 계측치의 측정과 연관된 오차는 방사선사진 촬영과 연관된 오차(errors of acquisition), 기준점 식별과 연관된 오차(errors of landmark identification), 계측 항목을 계측하는 기구나 방법과 연관된 오차(errors of technical measurement) 등으로 나눌 수 있다.<sup>19</sup> 일반적으로 측방두부규격방사선사진은 촬영조건이 규격화되어 환자의 재위치나 촬영 술식에 의한 오차는 작으며, 주된 요인은 기준점 식별과 연관된 오차라고 보고되고 있다.<sup>20-23</sup>

그러나 측방두부규격방사선사진의 촬영 조건과 연관된 오차는 두부고정기(cephalostat)를 사용하였다 하더라도 머리 위치(head position)의 오차에 의해 발생할 수 있다. 방사선사진 촬영과 연관된 오차로 확대(magnification)와 왜곡(distortion)을 들 수 있는데, 많은 연구들은 충분히 먼 초점-필름 간 거리를 갖는 일정한 확대율의 조건하에서 촬영함으로써 이를 최소화 할 수 있다고 하였다.<sup>24,25</sup> 그러나 Major 등<sup>26,27</sup>은 각 계측점은 방사선원으로부터 같은 거리

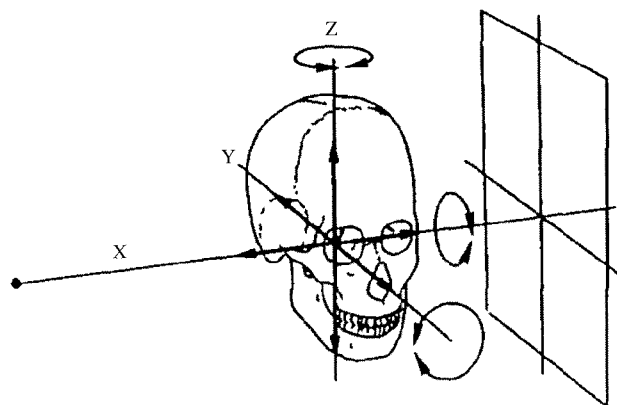


Fig. 4. Directions of possible malalignments during positioning.

에 있지 않으므로 확대율이 서로 달라 왜곡을 유발하고 결과적으로 계측점들 서로간의 관계에 의해 변화가 생길 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 각각 y-축과 z-축에 대해 머리를 회전하여 MDCT를 촬영(Fig. 4)하였는데, 측방두부규격방사선사진 촬영 시 x-축으로의 회전은 계측점들의 위치만 변화시킬 뿐이고 상대적인 거리를 변화시키지는 않기 때문이다.<sup>25</sup>

Ahlqvist 등은 computer model을 이용하여 측방두부규격방사선사진에서 y-축과 z-축에 대한 회전이 선 계측<sup>25</sup>과 각도 계측치<sup>26</sup>에 미치는 영향을 연구하였다. 선 계측치에 대한 연구에서 머리의  $\pm 5^\circ$  회전은 1% 미만의 오차를 발생시키며 회전이 증가되면 오차도 증가하지만 환자를 주의깊게 위치시키면 이러한 오차는 없앨 수 있으므로, 조사 방향의 오차는 선 계측에서 주요한 문제를 발생하지 않는다고 하였다. 또한 각도 계측치에 대한 연구에서는 머리의  $\pm 5^\circ$  회전은  $\pm 1^\circ$  미만의 오차를 발생시키고 대부분  $\pm 0.5^\circ$ 의 오차를 넘지 않아, 두부방사선계측장치의 약간의 부정확성은 전체적인 투사 오차에는 큰 영향을 주지 않는다고 하였다.

2회 방사선 촬영 후에 1회 투사도를 작성한 경우와 1회 방사선 촬영 후에 2회 투사도를 작성하여 오차를 비교한 몇몇 임상적인 연구의 결과는 다양하였다. Mitgard 등<sup>29</sup>은 임상연구에서 방사선사진을 반복촬영하여 오차를 조사하였는데 한 장의 사진에서 2회 투사하여 측정된 오차와 크게 다르지 않았다고 하였다. 그러나, Hatton과 Grainger<sup>30</sup>은 2회 촬영된 방사선사진에서, 비교적 머리 위치에 민감하다고 생각되는 N-Bolton 계측치에 대해 각각 2회 계측하였는데, 두 장의 사진에서 계측한 오차는 동일한 사진에서 2회 계측한 오차보다 2배나 컸다고 하였다. 또한 Cooke과 Wei<sup>31</sup>도 머리 위치의 오차에 의해 계측치의 오차가 발생한다고 하였는데, 2회 촬영한 영상에서의 오차가 동일한 영상에서 2회 계측한 오차보다 컸으며, FH 평면, 기능적 교합평면, 전치의 장축에서 매우 재현성이 불량하다고 하였

다.

Houston 등<sup>22</sup>은 계측점 식별에서 발생하는 오차는 관찰자의 숙련도와 주의를 통해 감소시킬 수 있고 무시할 만하므로 머리의 위치가 더욱 중요할 것이라고 하였다. 동일한 환자에서 두부고정기를 이용하여 촬영한 사진과 두부고정기를 사용하지 않고 촬영한 사진을 비교하였는데, 예측과는 달리 두부고정기 사용 유무에 따른 방사선계측치의 오차는 무시할 만큼 작았고 오히려 동일 사진에서 반복 측정 시 오차가 커서 계측점 식별과 관련된 오차가 더 컸음을 보고하였다.

Shaw<sup>32</sup>는 머리를 경사(tilting, y-축), 회전(rotation, z-축)시켜 marker의 위치변화를 연구하였는데, 시상중심평면에 위치하는 marker는 10°의 경사 또는 회전에도 변화가 작아서 무시할 수 있지만, 시상중심에서 떨어져 위치된 marker는 작은 각도 변화(5° 정도)에도 오차가 생기기 쉽다고 하였다. 그러나 양측성 구조물의 marker 위치를 평균으로 측정하면 그 오차는 작아져서 0.5 mm 이내로 오차가 감소한다고 하였다(Table 11). Gron<sup>33</sup>은 5°의 머리 회전이 거리 계측에서 0.8%의 작은 차이를 나타낸다고 하였다.

본 연구에서는 10°의 회전된 머리 위치를 이용하였다. 연구에 포함된 27개의 계측치중, 3개 또는 4개의 계측점이 모두 시상중심평면에 있는 계측치는 SNA, SNB, Facial convexity, A-B plane angle, AFH, LAFH, UAFH, U1 to SN, U1 to PP, U1 to A-Pog, U1 to NA(°), U1 to NA(mm), L1 to NB(mm), L1 to NB(°), Interincisal angle, Pog to NB 등 총 16개, 하나의 선은 양측성, 다른 하나의 선은 중심성인 계측치는 Facial angle, Y-axis angle, Palatal plane to FH, Occlusal plane to FH, Mn plane to SN, L1 to Mn plane, Midfacial length, Mn length, Pog-N perpendicular, A-N perpendicular 등 총 10개, 두 개의 선 모두 양측성인 계측치는 Mn plane to FH 1개였다. 그러나 모든 계측치가 10° 회전 또는 경사된 위치에서 계측치의 변이가 유의하게 나타나지 않았고, P 값이 .3 미만인 계측치는 10° 수평회전(10° left rotation) MDCT 합성 측방두부규격방사선사진은 AFH, UAFH, midfacial length의 3개 항목, 10° 수직회전(10° right tilting) MDCT 합성 측방두부규격방사선사진은 AFH, UAFH의 2개 항목이었다. 이들 계측치중 AFH(Na-Me), UAFH(Na-ANS)는 시상중심평면에 계측점이 위치한 항목이고, midfacial length(Co-A)는 양측성-중심성 계측항목이었다. 본 연구에서는 양측성 계측치인 Mn plane to FH는 P 값이 매우 높아 유의한 차이가 없었는데, Shaw의 연구와 같이 10° 변화에 의해 계측점 자체의 위치는 크게 변해도 양측성 계측점의 경우 두 점의 평균 위치를 계측점으로 하기 때문에 변이가 감소되어 오차가 상쇄되었을 것으로 생각된다.

회전축과 회전방향에 따라 오차 발생의 크기와 양상을 보고한 연구들<sup>6,7,34,35</sup>에서, 전후방축(y-축)에 대한 회전은

계측점들에 수직적으로 영향을 주고 수평적으로는 영향을 주지 않는다고 하였다. 또한 양측성 구조물은 동일하게 움직이고 계측점 간의 수직거리는 회전축으로부터 계측점의 거리에 따라 변화한다고 하였다. 동일하게 수직축(z-축)에 대한 회전은 수평계측치에 영향을 미치고 수직계측치에는 영향을 미치지 않는다고 하였다. 따라서 비대칭과 같이 계측점이 시상중심평면으로부터 동일한 거리에 있지 않으면 이 축에 대한 회전은 계측치에 중대한 오차를 가져오므로 머리 회전이 없도록 주의 깊게 촬영되어야 한다고 하였다.

본 연구에서는 머리의 z-축에 대한 수평회전(rotation)과 y축에 대한 수직회전(tilting)을 양 방향으로 하지 않고 한 방향으로만 하였는데, 이는 양 방향으로 회전시켜 연구한 Malkoc 등<sup>6</sup>이나 Yoon 등<sup>7</sup>의 방법과 달랐다. 이들은 Ahlqvist 등<sup>25,28</sup>의 결과와 달리 디지털 측방두부규격방사선사진을 이용하여 회전 방향이 오차 발생의 크기에 영향을 준다고 하였는데, 본 연구에서는 MDCT를 이용하여 확대와 왜곡이 없는 1:1의 영상(virtual image)를 얻고 이로부터 평행한 방사선조사선을 이용하여 균일한 110% 확대율이 적용된 측방두부규격방사선사진을 합성하였으므로, 좌우의 회전방향이 오차의 크기에 영향을 주지 않기 때문이었다.

Malkoc 등<sup>6</sup>은 1개의 두개골을 대상으로, 수직축인 z-축을 회전축으로 하여 2도 간격으로 ±14 사이로 회전시키면서 측방두부규격방사선사진을 촬영하여 투사의 오차를 연구하였는데, SNA, SNB, LFH, Total facial height 등과 같은 수직적 계측치는 상대적으로 변이가 적지만 수평적 계측치인 S-N, Go-Me, Go-Gn/S-N, ANS-PNS/Go-Gn에서 머리 회전의 방향이 필름 쪽인지 방사선원 쪽인지에 따라 큰 오차를 보인다고 하였다. Yoon 등<sup>7</sup>의 연구에서 10° 회전의 결과를 살펴보면, SNA, SNB, saddle angle은 유의한 차이가 없었고, 회전 방향에 상관없이 모든 회전각에서 0.5% 이내의 차이를 보였다. articular angle, gonial angle, AB to mandibular plane angle에서 더 큰 차이를 보였지만 1% 이내였다. 그러나 거리 계측에서는 수평 거리 계측치인 N-S, Go-Me은 통계적으로 유의한 차이가 있었고 수직 거리 계측치인 N-Me과 S-Go은 통계적으로 유의한 차이 없었고 각각 1% 미만과 0.5% 미만의 차이를 보였다고 하였다(Table 11).

Z-축에 대한 10° 수평회전(left rotation)의 경우 Malkoc 등<sup>6</sup>의 결과에서는 S-N은 -1.5 mm 감소(반대 방향인 경우 +0.5 mm), Go-Me은 +7.5 mm 증가(반대 방향, -9.5 mm), Go-Gn/S-N은 -2° 감소(반대 방향, +3°), ANS-PNS/Go-Gn은 -1° 감소(반대 방향, +6°) 등의 변화를 보이는데(Table 11), 본 연구에서 같은 항목인 Go-Gn/S-N은 유의한 차이가 없었다(P=.937). 즉 필름 방향으로 회전인가 방사선원 방향으로 회전인가가 확대율의 좌우 차이에 미치는 영향이 없으므로 그 중간점을 계측점으로 설정함으로써 오차 발생이 줄어들었을 것으로 생각한다.

Table 11. Data reviews of previous study

		+10° (toward focal spot)	0°	-10° (toward film)	10° to right	10° to left
Shaw <sup>32</sup>	Nasion marker	-0.1	0	-0.6	-0.3	+0.2
	Ant. Max. marker	-0.1	0	-0.6	-0.3	-0.9
	Ant. Man. marker	-0.2	0	-0.3	-0.3	-0.9
	Rt. canine marker	-2.0	0	+1.3	+1.8	-3.1
	Lt. canine marker	+2.0	0	-2.3	-2.6	+2.2
	Rt. molar marker	-4.4	0	+4.0	+4.1	-6.3
	Lt. molar marker	+4.1	0	-4.2	-4.6	+5.1
	Mean canine markers	0	0	-0.5	-0.4	-0.45
	Mean molar markers	-0.15	0	-0.1	-0.25	-0.6
Malkoc et al. <sup>6</sup>	SNA (°)	85.0	85.0	85.0		
	SNB (°)	89.0	89.0	89.0		
	Go-Gn/S-N (°)	22.0	24.0	27.0		
	ANS-PNA/Go-Gn (°)	18.0	19.0	25.0		
	S-N (mm)	62.0	64.5	65.0		
	Go-Me (mm)	85.0	77.5	68.0		
	ANS-Me (mm)	66.1	65.0	63.8		
	N-Me (mm)	114.2	112.7	111.1		
Yoon et al. <sup>7</sup>	N-S (mm)	70.89***	71.27	69.23***		
	Go-Me (mm)	77.45*	77.13	74.61***		
	N-Me (mm)	119.79***	118.58	117.44***		
	S-Go (mm)	86.02	85.86	85.73		
	SNA (°)	80.89	80.86	80.61		
	SNB (°)	81.21	81.30	81.08		
	N-S-Ar (°)	133.33	133.21	132.88		
	S-Ar-Go (°)	136.44**	135.40	136.27*		
	Ar-Go-Me (°)	117.01	116.59	116.51		
AB/Go-Me (°)	75.53*	75.92	76.08			

\*P&lt;0.05; \*\*P&lt;0.01; \*\*\*P&lt;0.001

머리의 수평회전이 계측치에 미치는 영향에 대한 두 논문  
의 결과를 요약하면 각도 계측치는 상대적으로 덜 영향을  
받고, 거리 계측치는 더 영향을 받으며, 거리 계측치 중  
에서도 수평적 거리 계측치가 더 많이 변화한다는 것이다.  
본 연구에서 수평적 거리 계측치는 U1 to NA (mm), L1 to  
NB (mm), Pog to NB, Midfacial length, Mn length, Pog-N  
perpendicular, A-N perpendicular 등 총 7개였는데 이들 모  
두 디지털 측방두부규격방사선사진에 비해 수평회전자세  
의 MDCT에서 합성한 측방두부규격방사선사진에서 계측  
치에 유의한 차이는 없었으나, midfacial length에서 차이가  
있을 가능성이 컸다. 그러나 통계적으로 유의하지는 않지  
만 차이가 있을 가능성이 크다고 나온 AFH와 UAFH는  
중심성 구조물의 거리이고 수직적 거리 계측치이기 때문  
에, 이들이 오차가 나올 가능성이 비교적 크다고 나온 결  
과는 머리 위치의 변화에 기인한 것이라기보다는 머리의  
수평회전에 의해 이들에 이용된 계측점 (Na, ANS, Me)의  
계측점 식별의 오차에서 기인된 것으로 생각된다.

한편, 전후방축(y-축)에 대한 회전은 계측점들에 수직적  
으로 영향을 주고 수평적으로는 영향을 주지 않는다고 하  
였는데 본 연구에서도 수직회전(tilting)된 MDCT에서 합

성한 측방두부규격방사선사진의 계측치는 모두 통계적으  
로 유의한 차이는 없었지만, AFH와 UAFH에서 차이가 있  
을 가능성이 비교적 크게 나타났다. 27개의 계측치 중 수  
직적 거리 계측치는 AFH, LAFH, UAFH 등 총 3개로 이  
중에서 2개가 차이가 있을 가능성이 크다고 나온 것은 이  
전의 연구와 유사한 결과로 생각된다.

또한 수평 또는 수직회전 자세의 MDCT에서 합성한 측  
방두부규격방사선사진에서 계측치의 오차가 나올 가능성  
이 있었던 항목들이 양측 ear rod를 축으로 머리 회전을  
수정하여 합성된 측방두부규격방사선사진에서 모두 그 가  
능성이 작아진 점을 볼 때, MDCT 촬영 시 머리 위치의 변  
이로 인해 계측치에 오차가 발생하는 것을 피하기 위해  
측방두부규격방사선사진 합성 시 방사선조사축을 재배열  
해 주는 것이 유리하다고 생각된다. Kumar 등은 이와 같이  
CT 영상을 이용한 측방두부규격방사선사진 합성 시 trans-  
porionic axis를 재배열함으로써 머리 위치를 수정할 수 있  
어 기존의 측방두부규격방사선사진에서 두부고정기의 위  
치나 환자의 잘못된 위치로 인한 머리 회전과 같은 문제  
를 제거할 수 있는 장점을 높이 평가하였다.<sup>4</sup> 하지만, 이는  
상대적으로 방사선조사량이나 비용이 낮은 dental CBCT의

경우 큰 장점이 될 수 있지만 방사선조사량이 2차원 디지털영상보다 높고 촬영의 용이함과 접근성, 경제성이 낮은 MDCT에서 이러한 문제를 능가하는 장점이라고 보기에는 한계가 있다. 따라서 dental CBCT를 이용한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

## 결론

본 연구는 디지털 측방두부규격방사선사진과, 표준자세의 MDCT 영상정보로 합성한 측방두부규격방사선사진, 10° 수평회전(left rotation) 자세의 MDCT로 합성한 측방두부규격방사선사진, 이를 양측 ear rod로 수정하여 합성한 측방두부규격방사선사진, 10° 수직회전(right tilting) 자세의 MDCT로 합성한 측방두부규격방사선사진, 이를 양측 ear rod로 수정하여 합성한 측방두부규격방사선사진 등 총 6가지 영상에서 각각 3회 계측치를 측정하였으며 재현성을 비교하였다. 또한 디지털 측방두부규격방사선사진의 계측치를 기준으로 다른 5가지 경우의 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치를 비교하여, MDCT 합성 측방두부규격방사선사진이 기존의 디지털 측방두부규격방사선사진을 대체할 수 있는지와, 머리위치가 계측치에 영향을 미치는지, 머리위치의 오차를 영상 합성 시 수정하는 것이 계측치의 정확성을 높이는지에 대해 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 디지털 측방두부규격방사선사진, 표준자세 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 수평회전 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 수평회전 MDCT 수정-합성 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT 수정-합성 측방두부규격방사선사진 모두 3회 계측 시 재현성이 높았다.
2. 디지털 측방두부규격방사선사진과 표준자세 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진의 계측치는 27개 계측치 모두 유의한 차이가 없었다( $P > .05$ ).
3. 수평회전 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 수평회전 MDCT 수정-합성 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT 합성 측방두부규격방사선사진, 수직회전 MDCT 수정-합성 측방두부규격방사선사진 모두 디지털 측방두부규격방사선사진의 계측치와 유의한 차이가 없었으나( $P > .05$ ), 수정 후 영상이 수정 전 영상보다 차이가 더 적은 경향을 보였다.

## 참고 문헌

1. Greiner M, Greiner A, Hirschfelder U. Variance of landmarks in digital evaluations: comparison between CT-based and conventional digital lateral cephalometric radiographs. *J Orofac Orthop* 2007; 68 :

- 290-8.
2. Chidiac JJ, Shofer FS, Al-Kutoub A, Laster LL, Ghafari J. Comparison of CT scanograms and cephalometric radiographs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2002; 5 : 104-13.
3. Kumar V, Ludlow JB, Mol A, Cevidanes LH. Comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36 : 263-9.
4. Kumar V, Ludlow J, Cevidanes LH, Mol A. In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Angle Orthod* 2008; 78 : 873-9.
5. 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.
6. Malkoc S, Sari Z, Usumez S, Koyuturk AE. The effect of head rotation on cephalometric radiographs. *Eur J Orthod* 2005; 27 : 315-21.
7. Yoon YJ, Kim KS, Hwang MS, Kim HJ, Choi EH, Kim KW. Effect of head rotation on lateral cephalometric radiographs. *Angle Orthod* 2001; 71 : 396-403.
8. Hofrath H. Die bedeutung der roentgenfern und abstandsaufnahme für die diagnostik der kieferanomalien. *Fortschr Orthodont* 1931; 1 : 232-48. (cited from 1)
9. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontics. *Angle Orthod* 1931; 1 : 45-66.
10. Olszewski R, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reyhler H. Three-dimensional computed tomography cephalometric craniofacial analysis: experimental validation in vitro. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007; 36 : 828-33.
11. Kamiishi H, Miyasato Y, Kosaka M. Development of the 3D-cephalogram: A technical note. *J Craniomaxillofac Surg* 2007; 35 : 258-60.
12. Olszewski R, Cosnard G, Macq B, Mahy P, Reyhler H. 3D CT-based cephalometric analysis: 3D cephalometric theoretical concept and software. *Neuroradiology* 2006; 48 : 853-62.
13. Park SH, Yu HS, Kim KD, Lee KJ, Baik HS. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129 : 600.e23-34.
14. Maeda M, Katsumata A, Ariji Y, Muramatsu A, Yoshida K, Goto S, et al. 3D-CT evaluation of facial asymmetry in patients with maxillofacial deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102 : 382-90.
15. Hwang HS, Hwang CH, Lee KH, Kang BC. Maxillofacial 3-dimensional image analysis for the diagnosis of facial asymmetry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130 : 779-85.
16. Yoon SJ, Lim HJ, Kang BC, Hwang HS. Three dimensional CT analysis of facial asymmetry. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 45-51.
17. Cevidanes LH, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129 : 611-8.
18. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol* 2005; 34 : 369-75.
19. Ongkosuwito EM, Katsaros C, van't Hof MA, Bodegom JC, Kuijpers-Jagtman AM. The reproducibility of cephalometric measurements: a comparison of analogue and digital methods. *Eur J Orthod* 2002; 24 : 655-65.
20. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *Am J Orthod* 1971; 60 : 111-27.
21. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 2.

- Conventional angular and linear measures. *Am J Orthod* 1971; 60 : 505-17.
22. Huston WJ. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983; 83 : 382-90.
  23. Houston WJ, Maher RE, McElroy D, Sherriff M. Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *Eur J Orthod* 1986; 8 : 149-51.
  24. Franklin JB. Certain factors of aberration to be considered in clinical reontgenographic cephalometry. *Am J Orthod* 1952; 38 : 351-68.
  25. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on cephalometric length measurements. *Eur J Orthod* 1986; 8 : 141-8.
  26. Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE. Landmark identification error in posterior anterior cephalometrics. *Angle Orthod* 1994; 64 : 447-54.
  27. Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE. Effect of head orientation on posterior anterior cephalometric landmark identification. *Angle Orthod* 1996; 66 : 51-60.
  28. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on angular measurements in cephalometry. *Eur J Orthod* 1988; 10 : 353-61.
  29. Midtgard J, Bjork G, Linder-Aronsson S. Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. *Angle Orthod* 1974; 44 : 56-62.
  30. Hatton ME, Grainger RM. Reliability of measurements from cephalograms at the Burlington orthodontic research centre. *J Dent Res* 1958; 37 : 853-9.
  31. Cooke MS, Wei SH. Cephalometric errors: a comparison between repeat measurements and retaken radiographs. *Aust Dent J* 1991; 36 : 38-43.
  32. Shaw WC. Problems of accuracy and reliability in cephalometric studies with implants in infants with cleft lip & palate. *Br J Orthod* 1977; 4 : 93-100.
  33. Gron P. A geometrical evaluation of image size in dental radiograph. *J Dent Res* 1960; 39 : 289-301.
  34. Eliasson S, Welander U, Ahlqvist J. The cephalometric projection. I: general considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 1982; 11 : 117-22.
  35. Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The cephalometric projection. II: principles of image distortion in cephalography. *Dentomaxillofac Radiol* 1983; 12 : 101-8.