

콘빔시티 촬영 프로토콜에 따른 DICOM 파일의 STL 변환 디지털 모델의 정확도 비교

나지연¹, 차정열², 우창우³, 김영현¹, 이정희¹, 황재준¹, 정호걸¹, 한상선¹

¹연세대학교 치과대학 영상치의학과, ²연세대학교 치과대학 치과교정과,

³연세대학교 치과대학병원 중앙기공실

ABSTRACT

Comparative Accuracy of STL Conversion Digital Model of DICOM Files according to CBCT Scanning Protocols

Ji Yeon Na¹, Jung-Yul Cha², Chang-Woo Woo³, Young Hyun Kim¹, Jeong-Hee Lee¹,
Jae Joon Hwang¹, Ho-Gul Jeong¹, Sang-Sun Han¹

¹Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Yonsei University, College of Dentistry, Seoul, Korea

²Department of Orthodontics, Yonsei University, College of Dentistry, Seoul, Korea

³Central Dental Laboratory, Dental Hospital of Yonsei University, Seoul, Korea

Objectives: The purpose of this study is to evaluate the accuracy of the digital models from Cone beam computed tomography (CBCT) scans of orthodontic diagnostic models by comparing the Digital Imaging & Communication in Medicine (DICOM) file to Stereolithography (STL) conversion data obtained by various voxel sized CBCT machines with the digital model obtained by a 3D optical extraoral scanner.

Materials and Methods: Three orthodontic diagnostic models were scanned with a 3D optical scanner and stored as STL file data. The three models were scanned with the 5 modes which were Object scan (100 μm), 300, 400 μm of RAYSCAN α^+ and 300, 390 μm of Alphard 3030. The DICOM files were converted to STL file data. For each orthodontic model, two digital models obtained by CBCT and optical scanner were paired, and GOM inspect software was used to superimpose and obtain the deviation between two digital models. One way ANOVA test was performed to determine whether there is a statistical difference in the mean value of deviations between digital models by the 5 protocols.

Results: In three diagnostic models, the mean values of the deviations between the digital model of the Object scan (100 μm) and the digital model of 3D optical scanner were the smallest in comparison with other image protocols and there was a statistically significant difference ($p < 0.001$). The mean values of the deviations were in the range of 0.0967 ~ 0.1022 mm. On the other hand, deviations of STL data from 400 μm of RAYSCAN α^+ showed the largest mean value from 0.4007 to 0.4534 mm.

Conclusions: The STL file data of the Object scan (100 μm) of RAYSCAN α^+ is more accurate than those of large voxel sized protocols of CBCT. It shows the availability as an orthodontic digital model.

Key words : Digital model, CBCT scanning, STL conversion, Accuracy

Correspondence : Prof. Sang-Sun Han
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Yonsei University, College of
Dentistry, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, Korea
Tel: +82-2-2228-3122, fax: +82-2-363-5232
E-mail: sshan@yuhs.ac
Received: February 24, 2017; Revised: April 18, 2017; Accepted: April 20, 2017

서 론

환자의 구강 내 정보를 재현하기 위한 치과 모형의 전통적인 제작방식은 인상채득 후 수작업으로 석고 모형을 만드는 것이다. 그러나 석고 모형은 많은 저장 공간이 필요하며 파손 및 분실의 가능성이 크고, 변형 시 복구가 불가능하다는 단점이 있다. 한편 최근 치과영역의 디지털화가 이루어지면서 전통적인 방법이 아닌 디지털 모델에 대한 필요성이 대두되었다¹. 구내 스캐너를 이용한 구강 내 디지털 인상채득, 구외 스캐너와 Computer-aided design/Computer-aided manufacture (CAD/CAM) 시스템을 이용한 보철물 제작뿐 아니라 교정치료를 위한 계측치 분석, 교정치료 목적의 set-up과 교정장치 제작, 악교정 수술에 필요한 수술용 템플릿, computer guided 임플란트 식립 시뮬레이션과 implant guide surgery의 임플란트 수술용 가이드 제작에 이르기까지 최근 치과치료 전반에서 디지털 모델을 이용한 치료 술식의 사용분야가 폭넓게 확대되고 있는 추세이다²⁻⁵.

CAD/CAM에 사용되는 디지털 데이터를 획득하는 방법에는 직접법과 간접법이 있다⁶. 직접법에는 구내 스캐너를 이용하는 방법이 있으나 스캐너의 헤드가 무겁고 크기가 커서 구강이 협소한 환자나 어린이에게서 조작이 어렵다는 단점이 있다. 숙련되지 않은 경우 스캐너를 적절하게 위치시키기 어려워 영상이 획득되지 않는 부분이 생기기 쉽고, 이를 극복하기 위해 동일 부위를 반복 스캔 시 영상의 왜곡이 발생할 수 있다⁷. 또 다른 직접법에는 Cone Beam Computed Tomography (CBCT) 촬영 데이터를 STL 형식으로 변환하여 디지털 모델을 제작하는 방법이 있다. 현재 디지털 모델을 얻는 가장 보편적인 방법은 인상체에서 얻은 석고 모형을 3D 광학 스캐너로 스캔하는 것이다. 그러나 광학 스캐너는 빛의 조사각도나 스캔되는 피사체의 contour에 영향을 받기 때문에 주의를 필요로 하며^{8,9} 임상에서 받아들여질 만한 정확도의 디지털 모델을 얻으려면 고가의 광학 스캐너의 구비가 필수적이다.

최근에는 디지털 모델을 얻는 간접법으로 CBCT 촬영영상의 STL 변환에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{10,11}. CBCT 스캔에 기반을 둔 디지털 모델은 고가의 광학 스캐너의 구비 없이 빠른 시간 내에 데이터 획득이 가능하다는 장점이 있어 교정용 디지털 모델 제작에 이용가능성이 제시되고 있다. Olivier de Waard 등은 Ortho-proof사의 CBCT와 software를 이용하여 석고 모형이나

인상체를 스캔하고 CBCT data를 STL 파일로 변환하여 디지털 모델을 제작하는 방법을 소개한 바 있다¹². 그러나 지금까지 진행된 CBCT 스캔에 관한 연구는 1개의 해상도를 대상으로 했다는 한계점이 있었다. 이에 본 연구에서는 CBCT 스캔의 방법이 해상도나 장비에 따라 차이가 있는지 확인해보고자 한다.

이 연구의 목적은 3개의 교정 진단용 석고 모형을 이용하여 CBCT 스캔 후 얻은 DICOM 파일의 STL 변환 데이터와 3D 구외 광학 스캐닝으로 얻은 STL 데이터의 표면정확도 차이를 평가하고 다양한 촬영 프로토콜로 촬영한 데이터의 비교를 통해 프로토콜에 따른 STL 변환값의 정확도 차이를 검증해보고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

연세대학교 치과대학병원 치과교정과에 2015년 7월에서 9월 사이 교정치료를 시작할 목적으로 내원한 환자들의 진단모형 중 지대치 및 결손치가 없고 총생이 심하지 않은 3개의 성인 하악 교정 진단용 석고 모형을 난수표를 이용하여 무작위로 선출하였다(Fig 1).

2. 촬영 프로토콜에 따른 CBCT 스캐닝 후 STL 변환 data 획득

CBCT 촬영장치 RAYSCAN α⁺ (Ray Co., Ltd., Gyeonggi-



Figure 1. The orthodontic diagnostic stone model.

Do, Korea)의 턱받이 위에 석고 모형을 고정한 후 object scan 모드를 이용하여 촬영하였다. 촬영 조건은 90 kVp, 6 mA, voxel size 100 μ m, field of view (FOV) 90 \times 50 mm², 스캔 시간은 14 sec으로 숙련된 촬영자에 의해 시행되었

다(Fig 2). DICOM 파일 형식으로 획득된 촬영 데이터를 Raydent converter 소프트웨어(Ray Co., Ltd., Gyeonggi-Do, Korea)에 전송하여 STL 파일 형식으로 변환하였다.

추가로 RAYSCAN α^+ 와 Alphard 3030 (Asahi Roentgen



Figure 2. CBCT scanning.

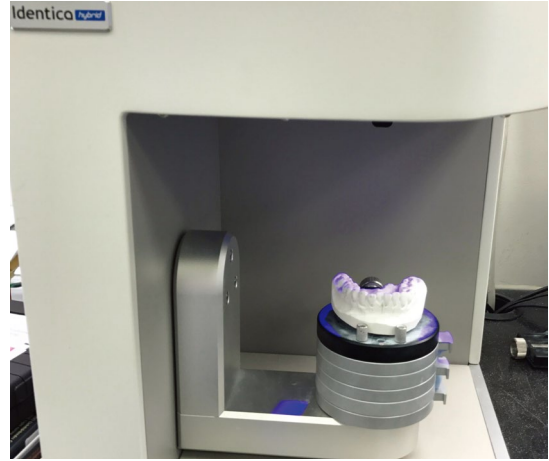


Figure 3. Scanning with optical extraoral scanner (Identica Hybrid, Medit, Seoul, Korea).

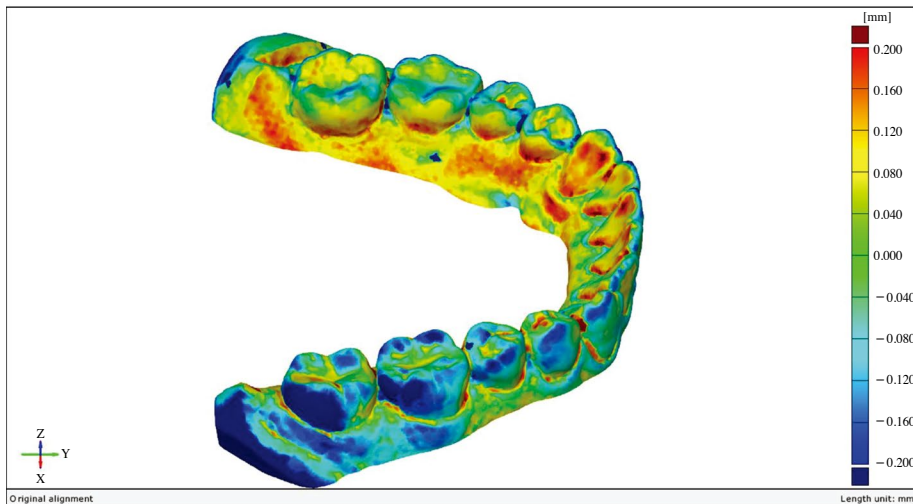


Figure 4. Three-dimensional deviations between test and reference STL file. Generated following prealignment by Gom inspect softwa re. Color-coded scale shows discrepancy of superimposition (mm).

Table 1. Detailed conditions according to CBCT scanning protocols

Scanning protocol	CBCT device	Mode	Voltage (kV)	Current (mA)	Exposure time (s)	FOV (mm ²)	Voxel size (μ m)
Object scan (100 μ m)	RAYSCAN α^+	Object scan	90	6	14	90 \times 50	100
RAYSCAN α^+ 300 μ m	RAYSCAN α^+	Jaw Fast	90	4	4.9	80 \times 100	300
RAYSCAN α^+ 400 μ m	RAYSCAN α^+	Sinus	90	6	14	140 \times 100	400
Alphard 3030 300 μ m	Alphard 3030	P	80	8	17	154 \times 154	300
Alphard 3030 400 μ m	Alphard 3030	C	80	10	17	200 \times 200	390

Ind., Co., Ltd., Kyoto, Japan)의 voxel size 300 μ m, 400 μ m의 조건으로 3개의 석고모형을 각각 촬영하였다. DICOM 파일로 획득된 촬영 데이터는 Mimics 소프트웨어(version 17.0; Materialise, Leuven, Belgium)를 이용하여 STL 파일 형식으로 변환되었다. 본 연구에서 사용된 촬영 프로토콜에 따른 세부 촬영조건은 Table 1과 같다.

3. 3D 구외광학 스캐닝 STL data 획득

CBCT로 석고 모형을 촬영한 같은 날짜에 각각의 석고 모형을 3D 광학 구외 스캐너 (Identica Hybrid, Medit, Seoul, Korea)를 이용하여 디지털 모델을 얻었다(Fig 3). 제조사가 제공하는 지침에 따라 스캔하였고 얻어진 데

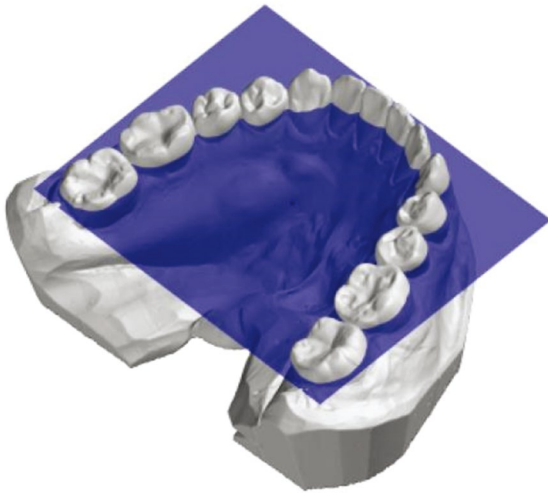


Figure 5. Reference plane for analysis.

이터는 STL 파일 형식으로 저장되었다.

4. 데이터 분석

분석 소프트웨어는 GOM inspect (GOM GmbH, Braunschweig, Germany)를 이용하였다. 각 석고 모형에 대하여 CBCT와 구외 광학 스캐너를 이용하여 만든 디지털 모델을 한 쌍으로 하여 구외 광학 스캐너에서 얻은 디지털 모델을 기준으로 자동화된 prealignment의 방식으로 중첩하였다. 그리고 두 개의 디지털 모델간의 차이 값을 각각의 촬영 프로토콜에서 분석하였다. 석고 모형별로 양쪽 제1대구치의 최대풍용부를 지나면서 교합평면에 평행한 가상의 단면(Fig 5)에서 5.8 mm간격으로 분석점을 설정하고, 구외 광학 스캐닝 모델을 기준으로 각 분석점에서의 차이 값을 표면정확도로 정의하였다(Fig 6).

5. 통계 분석

CBCT 스캐닝 후 STL 변환 data와 구외 광학 스캐닝 STL data로 얻은 디지털 모델 간의 차이 값을 구하였고 차이 값의 평균, 표준편차, 최소값, 최대값 등의 기술적 통계량을 제시하였다. 또한 서로 다른 촬영 프로토콜을 통해 얻은 디지털 모델의 차이 값의 평균에 통계학적인 차이가 있는지 확인하기 위하여 One way ANOVA test를 실시하였다. 모든 통계 처리와 분석은 SPSS (version 23.0; IBM, Armonk, NY) 통계처리 프로그램을 사용하여 시행하였으며, 통계적 유의성 판정을 위한 유의수준은 0.05으로 설정하였다.

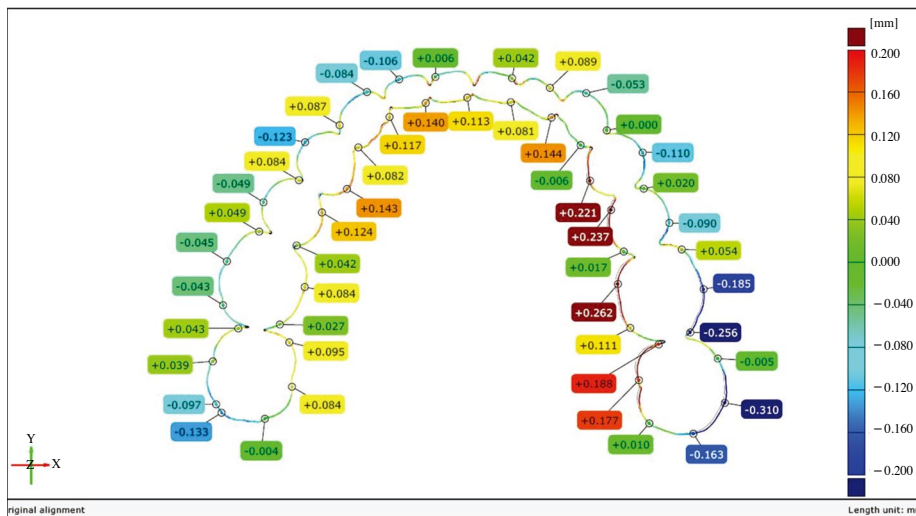


Figure 6. The deviation at each point is evaluated as the surface accuracy based on the optical scanning model.

Table 2. Comparison of deviations in the digital models according to CBCT scanning protocols (Unit : mm)

Scanning protocol	Mean±SD	Model A			Mean±SD	Model B			Mean±SD	Model C		
		Min	Max	p-value		Min	Max	p-value		Min	Max	p-value
Object scan (100 μm)	0.0967 ± 0.0740 ^a	0.001	0.363		0.1022 ± 0.0113 ^a	0.004	0.310		0.1017 ± 0.0850 ^a	0.004	0.311	
RAYSCAN α ⁺ 300 μm	0.3299 ± 0.1897 ^b	0.047	1.000		0.3307 ± 0.0157 ^{bc}	0.115	0.581		0.3587 ± 0.1379 ^b	0.043	0.830	
RAYSCAN α ⁺ 400 μm	0.4007 ± 0.2570 ^b	0.025	1.238	<0.001	0.4087 ± 0.0231 ^c	0.060	0.699	<0.001	0.4534 ± 0.1898 ^b	0.136	1.192	<0.001
Alphard 3030 300 μm	0.2871 ± 0.1862 ^b	0.036	1.101		0.2748 ± 0.0188 ^b	0.071	0.522		0.3423 ± 0.1745 ^b	0.128	0.923	
Alphard 3030 400 μm	0.3696 ± 0.4336 ^b	0.006	2.389		0.3756 ± 0.0388 ^c	0.001	1.280		0.3556 ± 0.2093 ^b	0.016	1.033	

Values presented mean ± SD
p-value by one-way ANOVA, abc denoted by Bonferroni's test post-hoc analysis

결 과

소프트웨어를 이용하여 3개의 석고 모형의 구외 광학 스캐너를 이용하여 얻은 STL 데이터를 기준으로 CBCT 스캔의 STL 데이터를 한 쌍으로 중첩하고 분석한 차이 값을 색으로 나타냈다(Fig 4). 중첩 후 디지털 모델의 양쪽 제1대구치의 최대풍용부를 지나면서 교합평면에 평행한 단면을 차이 값을 분석하는 기준 단면으로 설정하였다(Fig 5). 이 기준 단면에서 5.8mm의 일정한 간격으로 분석점을 설정하였고, 5가지의 촬영 프로토콜 중 어느 하나에서라도 차이 값이 측정되지 않는 점은 분석에서 제외하였다(Fig 6). 모든 분석점에서 차이 값은 절대값으로 환산되었다. 각 모델에서 얻어진 차이 값의 평균, 표준편차, 최소값, 최대값은 Table 2와 같다. 측정된 최대값은 0.310~2.389 mm 사이에 존재하였고, 0.001~0.136 mm 사이의 최소값을 보였다. 또한 평균값은 0.0967~0.4534 mm의 범위로 나타났다.

Object scan (100 μm)의 디지털 모델과 구외 광학 스캐닝 디지털 모델 사이의 차이 값의 평균은 다른 프로토콜에서 얻은 차이 값과 비교하여 0.0967~0.1022 mm로 가장 작았으며 ANOVA 분석결과 3개의 교정용 석고 모형 모두에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<0.001). 반면 RAYSCAN α⁺ 400 μm 프로토콜의 차이 값의 평균은 0.4007~0.4534 mm로 가장 크게 나타났다.

400 μm와 300 μm 각각에서 Alphard 3030의 촬영장치를 이용하여 촬영한 경우의 평균이 RAYSCAN α⁺ 촬영장치에서 보다 작게 나타났다. 그러나 같은 장비로 촬영한 결과에서 400 μm에서 300 μm로 voxel size가 작아질수록 3개의 석고 모형 모두에서 평균과 표준편차가 감소하는 경향을 보였다.

고 찰

3D 디지털 모델은 저장 공간과 파손 및 분실의 가능성을 줄일 수 있다는 점 외에도 필요한 모형을 빠르고 쉽게 찾을 수 있고, 임상에서 바로 3차원적 접근이 가능하다는 장점이 있다. 또한 가상적 모형을 만들면 비교 및 설명이 쉽고, 협진 시 모형을 전달할 별도의 운송수단 없이 전자우편 등을 이용한 전송이 가능하다^{13,14}. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 디지털 모델의 해상도나 재현성이 떨어진다면 보편적으로 사용되기 어려울 것이다. 따라서 일반진료실에서 환자의 구강을 재현성있게 구현하는 디지털 모델을 얻기 위해서는 해상도 높은 고성능의 광학 스캐너를 구비해야 하며 이를 위해서는 추가적으로 높은 비용이 요구되는 실정이다.

최근 치과 내 임플란트 치료가 보편화 됨에 따라 일반 진료실의 CBCT 활용이 증대되었다¹⁵. 이러한 시점에서 CBCT 스캔으로 얻은 디지털 모델을 3D 광학 스캐너로부터 얻은 디지털 모델을 기준으로 비교하는 것은 고가의 스캐너 장비 없이도 임상적으로 활용 가능한 디지털 모델의 제작 가능성을 확인해 볼 수 있다는 의의를 갖는다. 그러나 Frits A. Rangel 등은 CBCT 스캔 데이터와 석고모형의 스캔 데이터 간의 평균 차이가 0.6 mm였다고 보고했다¹⁶. 또한 Kang 등은 CT를 통해 얻은 디지털 모델은 voxel의 크기, slice 두께에 따른 오차 발생으로 부정확할 수 있다고 했다^{10,17}. 이와 반대로 Wesemann 등은 교정용 모형을 CBCT 스캔하는 것이 임상적으로 받아들여질 만한 정확도를 갖는다고 보고하였다¹¹. 이러한 상반된 연구는 서로 다른 해상도의 CBCT 스캔 데이터를 이용하여 연구함으로써 발생한 것으로 생각된다. 아직까지 디지털 모델을 위한 CBCT 스캔의 해상도에 따른 정확도의 차이

에 대한 연구는 발표된 바가 없다.

본 연구에서는 서로 다른 해상도 및 장비로 같은 석고 모형을 CBCT 스캔하여 비교해 본 결과 CBCT의 voxel size가 작을수록 변환된 디지털 모델의 표면정확도가 개선되었다. 특히 100 µm로 가장 해상도가 높았던 object scan으로 얻은 디지털 모델에서 평가된 표면정확도가 다른 4가지의 프로토콜보다 우수하였으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 개선된 해상도 외에도 DICOM 파일을 STL 파일로 변환시 표면 데이터에서 노이즈를 제거하고, 인공음영에 해당하는 불분명한 작은 입자들을 제거하는 알고리즘이 적용된 converter를 이용하였기 때문으로 생각된다.

Kazuo Hayashi 등은 교정용 진단 모델에서 임상적 목적에 부합하려면 정확도가 0.1 mm 이내이어야 한다고 보고한 바 있다¹⁸. 본 연구에서 object scan으로 촬영하여 얻은 차이 값의 평균은 0.0967~0.1022 mm로 가장 작았으며 0.1 mm에 근접하였다. 이러한 결과는 교정용 디지털 모델로서의 활용 가능성을 보여준다고 생각된다.

결론

CBCT의 해상도가 높을수록 STL로 변환된 디지털 모델의 표면정확도가 개선되었다. CBCT의 해상도와 STL 변환 소프트웨어의 개발이 이루어질수록 표면정확도는 더욱 개선될 것으로 예상된다.

Acknowledgement

The material is based upon work supported the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) under Advanced Technology Center Program. No.10062362, ‘The development of dental and medical prosthetics modeling, rapid fabrication and integrated trading system based and converged on CBCT image, using Cloud networking’

참고 문헌

1. De Luca Canto G, Pachêco-Pereira C, Lagravere M, Flores-Mir C, Major P. Intra-arch dimensional measurement validity of laser-

scanned digital dental models compared with the original plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2015; 18(2):65-76.

2. Swennen GR, Mollemans W, De Clercq C, Abeloos J, Lamoral P, Lippens F, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 2009;20(2):297-307.

3. Sousa MVS, Vasconcelos EC, Janson G, Garib D, Pinzan A. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142(2):269-73.

4. Hassan WNW, Othman SA, Chan CS, Ahmad R, Ali SNA, Rohim AA. Assessing agreement in measurements of orthodontic study models: Digital caliper on plaster models vs 3-dimensional software on models scanned by structured-light scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;150(5):886-95.

5. 김종은, 김남훈, 박지현, 심준성. 임플란트 가이드 수술을 위한 Planning 방식에 대한 고찰. *대한치과의사협회지* 2016;54(2):108-22.

6. Kim J-H, Kim K-B. Evaluation of dimensional stability of digital dental model fabricated by impression scanning method. *J Dent Hyg Sci* 2014;14(1):15-21.

7. 김려운, 장근원, 허유리, 손미경. 치과 디지털 인상의 이해와 적용. *대한치과재료학회지* 2014;41(4):253-61.

8. Vogel AB, Kilic F, Schmidt F, Rübél S, Lapatki BG. Optical 3D scans for orthodontic diagnostics performed on full-arch impressions. *J Orofac Orthop* 2015;76(6):493-507.

9. Anh J-w, Park J-M, Chun Y-S, Kim M, Kim M. A comparison of the precision of three-dimensional images acquired by 2 digital intraoral scanners: effects of tooth irregularity and scanning direction. *The Korean J Orthod* 2016;46(1):3-12.

10. Kang S-H, Lee J-W, Lim S-H, Kim Y-H, Kim M-K. Dental image replacement on cone beam computed tomography with three-dimensional optical scanning of a dental cast, occlusal bite, or bite tray impression. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;43(10):1293-301.

11. Wesemann C, Muallah J, Mah J, Bumann A. Accuracy and efficiency of full-arch digitalization and 3D printing: A comparison between desktop model scanners, an intraoral scanner, a CBCT model scan, and stereolithographic 3D printing. *Quintessence Int* 2016.

12. de Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH. Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146(3):328-36.

13. DeLong R, Heinzen M, Hodges J, Ko C-C, Douglas W. Accuracy of a system for creating 3D computer models of dental arches. *J Dent Res* 2003;82(6):438-42.

14. Lee G-T, Kim J-H, Kim W-C, Kim J-H. Three-dimensional evaluation on the repeatability and reproducibility of dental scanner-based digital models. *Journal of Korean Academy of Dental Technology* 2012;34(3):213-20.
15. Zhao S, Robeltson D, Wang G, Whiting B, Bae KT. X-ray CT metal artifact reduction using wavelets: an application for imaging total hip prostheses. *IEEE Trans Med Imaging* 2000;19(12):1238-47.
16. Rangel FA, Maal TJJ, Bronkhorst EM, Breuning KH, Schols JGJH, Berge SJ, et al. Accuracy and Reliability of a Novel Method for Fusion of Digital Dental Casts and Cone Beam Computed Tomography Scans. *PLoS One* 2013;8(3):e59130.
17. Widmann G, Stoffner R, Bale R. Errors and error management in image-guided craniomaxillofacial surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;107(5):701-15.
18. Hayashi K, Sachdeva AU, Saitoh S, Lee S-P, Kubota T, Mizoguchi I. Assessment of the accuracy and reliability of new 3-dimensional scanning devices. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144(4):619-25.