

석고 모형, 레이저 스캔 디지털 모형, 콘 빔 CT 영상 간의 모형 분석 계측치 비교

임미영^a · 임성훈^b

본 연구의 목적은 레이저 스캔 디지털 모형과 콘 빔 CT (CBCT) 영상을 모형 분석에 사용할 수 있는지를 평가하는 것이었다. 이를 위해 인접면에 금속 수복물을 갖지 않는 영구치열기의 20명의 교정환자에서 CBCT 영상, 석고 모형, 디지털 모형을 제작하여 각각에서 모형 분석을 시행한 후 그 계측치들을 비교하였다. 연구 결과 디지털 모형과 석고 모형을 비교 시, 치아 폭경 계측치 차이의 평균은 0.01 - 0.20 mm였으며, 치열궁 길이 부조화 계측치 차이의 평균은 상악 0.41 mm, 하악 0.82 mm였고, Bolton 부조화 값 차이의 평균은 전치부에서 0.17 mm, 전체에서 0.44 mm로 나타났다. CBCT 영상과 석고 모형을 비교 시 치아 폭경 계측치 차이의 평균은 0.01 - 0.22 mm였으며, 치열궁 길이 부조화 계측치 차이의 평균은 상악 0.43 mm, 하악 0.32 mm였고, Bolton 부조화 값 차이의 평균은 전치부에서 0.35 mm, 전체에서 1.25 mm로 나타났다. 디지털 모형과 CBCT 영상의 모형 분석을 석고 모형의 모형 분석에 비교해 볼 때 몇몇 계측치들에서 유의한 차이가 있었으나 그 차이가 크지 않으므로 임상에서 활용 가능할 것으로 판단된다. (대치교정지 2009;39(1):6-17)

주요 단어: 디지털 모형, 콘 빔 CT, 모형 분석, 석고 모형

서론

최근 교정용 석고 모형은 점차 디지털 모형으로 대체되어 가고 있다. 디지털 모형 제작 업체 중 OrthoCAD (Cadent, Carlstadt, NJ, USA)¹는 1999년에 디지털 모형 제작 서비스를 시작하였으며, eModels (GeoDigm, Chanhassen, MN, USA)²는 2001년에 디지털 모형 제작 서비스를 시작하였다. 여러 가지 디지털 모형의 정확성을 석고 모형과 비교하여 평가한 연구들³⁻⁷이 보고되었으며, Zilberman 등³과 Stevens 등⁶은 OrthoCAD와 eModel의 정확도는 임상적으로 활용 가능한 수준이라고 결론지었다.

레이저를 이용한 스캔은 장비가 간단하고, 스캔

하는 시간이 짧으며, 스캔 시 얻는 데이터 양이 많은 장점이 있어 안면 스캔을 이용한 연구^{8,9} 및 디지털 모형을 이용한 연구^{10,11}에 활용되어 왔다. 그러나 석고 모형은 곡률 변화가 심하고 언더컷이 많아 정확하고 효율적인 레이저 스캔이 어려웠다. 이에 2000년 You¹²는 최적의 스캔 경로를 연구하였으며, 보다 쉬운 스캔 경로를 설정할 수 있게 되었다. 이를 바탕으로 Orapix사(Seoul, Korea)에서 레이저를 이용한 스캐너(Orapix scanner, Orapix, Seoul, Korea)와 Rapidform 2001 프로그램(INUS Technology, Seoul, Korea)을 이용하여 디지털 모형을 제작하는 기술을 개발하였고, 디지털 모형의 입력과 분산을 위한 프로그램(3Dxer, Orapix, Seoul, Korea)을 개발하여 상용화하였으며, 이후 여러 연구들이¹³⁻¹⁸ 이 기술을 기반으로 수행된 바 있다. Park¹³은 Orapix사의 기술을 이용하여 제작한 레이저 스캔 디지털 모형을 계측한 계측치의 오차에 대한 연구 결과 몇 개의 항목에서 유의한 차이가 있었고, 이는 언더컷과 빛의 난반사에 의한 것이라고 하였으며, 동일한 기술을 이용하여 연구한 Han¹⁴은 120개의 석고 모형과 레이저 스캔 디지털 모형의 계측치를 비교하여 레

^a대학원생, ^b부교수, 조선대학교 치과대학 교정학교실.

교신저자: 임성훈.

광주시 동구 서석동 421 조선대학교 치과대학 교정학교실.

062-220-3870; e-mail, shlim@chosun.ac.kr.

원고접수일: 2008년 8월 19일 / 원고최종수정일: 2008년 12월 19일 /

원고채택일: 2008년 12월 22일.

DOI:10.4041/kjod.2009.39.1.6

*본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

이저 스캔 디지털 모형의 높은 재현도를 보고하였다. Park¹⁵은 총생이 레이저 스캔 디지털 모형의 계측치 오차에 미치는 영향을 알아보기 위해 30개의 석고 모형을 부정교합 유형에 따라 분류하여 계측 프로그램(3Dxer 3.5, Orapix, Seoul, Korea)을 이용하여 비교 계측한 결과 치아 계측치가 총생의 영향을 받지만, 실질적으로 오차값이 적어서 레이저 스캔 디지털 모형이 임상적으로 유용하다고 하였다.

Computed tomography (CT)는 정확한 3차원 영상을 제공하여 치과영역의 진단에 많은 도움을 주지만 많은 방사선 조사량과 높은 가격으로 인해 치과 영역에서는 대중화되지 못하였다. 최근에는 이런 단점들을 보완한 콘 빔 CT (CBCT)가 개발되어 치과 영역에 널리 이용되고 있다. CBCT의 정확성에 관한 다수의 연구들이 이루어졌는데, Holberg 등¹⁶은 417개의 치아와 주변 구조물을 대상으로 helical CT와 CBCT의 정확성을 비교하여 helical CT가 보다 좋은 영상을 제공한다고 하였으며, Mischkowski 등¹⁷은 CBCT와 helical CT를 비교하여 helical CT가 평균적으로 길이 측정에서 0.06 mm, 체적 측정에서 0.55 ml 더 정확하지만 CBCT와의 차이가 미미하여 CBCT를 임상적으로 사용하는 데 문제가 없다고 하였다. Misch 등¹⁹과 Pinsky 등²⁰은 하악에 인위적으로 만든 골결손 부위의 길이와 체적을 측정하여 CBCT 스캔이 실측값과 유의한 차이가 없다고 하였고, Ludlow 등²¹은 28개의 두개골을 사용하여 위치를 변화시켜 CBCT 스캔을 할 경우에도 CBCT의 정확도에 영향을 주지 않는다고 하였다. 또한 Chang 등²²은 CBCT의 영상이 기존에 사용하던 helical CT에 비해 평균 0.3 mm 차이를 보이고 기하학적인 뒤틀림 등을 보이지 않아 3차원 방사선 외과 치료에 있어 유용하다고 하였다.

만약 CBCT 영상의 모형 분석 계측치가 임상적용이 가능할 만큼 정확하다면 인상 채득 과정이 필요한 석고 모형의 제작 없이 CBCT 방사선 촬영만으로 모형 분석을 할 수 있을 것이다. 그러나 아직까지 CBCT 영상에서 모형 분석의 정확도를 조사한 연구는 찾기 어렵다.

본 연구에서는 석고 모형과 레이저 스캔 방식 3차원 스캐너로부터 획득된 레이저 스캔 디지털 모형, 그리고 CBCT 영상에서 모형 분석을 시행하여 그 계측치들을 비교함으로써 레이저 스캔 디지털 모형과 CBCT 영상이 석고 모형을 대신하여 모형 분석에 사용될 수 있는지를 평가하고자 하였다.

연구방법

조선대학교 치과병원 교정과에 내원한 영구치열기의 20명의 부정교합 환자를 연구 대상으로 하였다. 치아 형태 이상이나 결손치 또는 인공 치관, 2급 와동의 금속 수복물과 같이 인접면에 금속 수복물이 있는 환자는 제외시켰다. 치아의 배열은 대체로 총생이 있었으며 치간 공극(spacing)이 있는 환자도 있었다.

석고 모형(PL군)과 이 석고 모형을 스캔한 레이저 스캔 디지털 모형(DG군), CBCT 영상(CT군)을 각각 제작, 획득하여 계측하였다. 모든 인상은 알지네이트(Aroma Fine DF III, GC, Toyko, Japan)로 채득하였고, 채득 후 바로 경석고(New Plastone, GC, Toyko, Japan)를 부었다. 석고 모형 제작과 CBCT 촬영은 같은 날 시행되었다. 석고 모형의 계측은 디지털 버니어 캘리퍼스(Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 시행하였다. 석고 모형, 레이저 스캔 디지털 모형, CBCT 영상 모두에서 한 명의 치과외과사가 2주일 간격으로 2회에 걸쳐 반복 계측하였다. 모형 계측 기준은 다음과 같았다.

· 치아의 근원심 폭경

교합면에서 상, 하악 편측 제1대구치부터 반대측 제1대구치까지 각 치아의 최대 근원심 폭경을 측정하였다 (Figs 1 and 2).

· 견치간 폭경

상하악 모두에서 양측 견치 교두정 사이의 거리를 측정하였다.

· 대구치간 폭경

상, 하악 모두에서 양측 제1대구치의 근심 협측 교두정 사이의 거리를 계측하였다.

· 가용 공간

상, 하악 모두에서 네 개의 구획으로 치열궁을 나눠서 계측하였고 가용 공간은 네 개의 구획 거리의 합으로 하였다. 첫 번째 구획은 우측 제1대구치 근심 접촉점에서 우측 견치 근심 접촉점까지로 하였고 두 번째 구획은 우측 견치 근심 접촉점에서 우측 중절치 근심 접촉점까지로 하였다. 세 번째 구획은 좌측 중절치 근심 접촉점에서 좌측 견치 근심 접촉점까지로 하였고 네 번째 구획은 좌측 견치 근심 접촉점에서 좌측 제1대구치 근심 접촉점까지로 하였다.

· 필요 공간

상, 하악에서 양측 중절치, 측절치, 견치, 제1소구

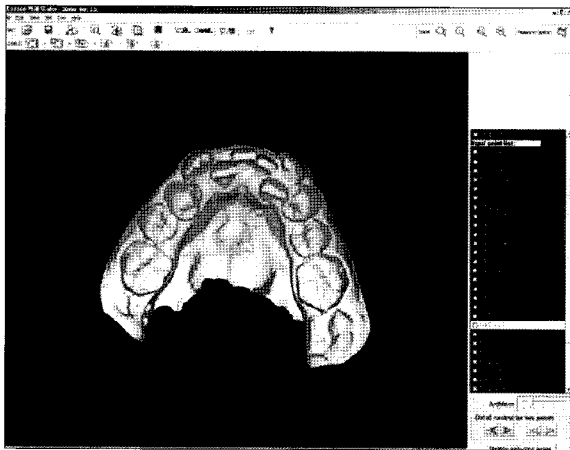


Fig 1. Measurements of tooth size and dental arch width of a laser scan digital model. 3DXer ver 3.5 was used.



Fig 2. Volume rendering model of CBCT data constructed using Accurex ver 1.0. 3D zoom mode was applied and displayed in the main window for measurement of lower left lateral incisor width. The thresholding ranges of teeth 3 preset that were used in this study are shown in the fine tuning tab on the bottom of the program window.

치, 제2소구치의 근원심 폭경의 합을 각 악궁의 필요 공간으로 하였다.

- 치열궁 길이 부조화(arch length discrepancy)

상악 가용 공간에서 상악의 필요 공간을 뺀 값을 상악 치열궁 길이 부조화 계측치로 하였고 하악 가용 공간에서 하악의 필요 공간을 뺀 값을 하악 치열궁 길이 부조화 계측치로 하였다.

- Bolton 부조화

석고 모형, 레이저 스캔 디지털 모형, CBCT 영상 모두에서, 상악 6전치와 하악 6전치 사이의 전치부 Bolton 비율과 상악 12개 치아와 하악 12개 치아 사이의 전체 Bolton 비율을 구하였으며, 통계 분석을 위해서 Bolton 부조화 계측치를 상악 치아 폭경의 넘침과 부족함의 양으로 구하였으며, 넘침을 양의 값으로, 부족을 음의 값으로 나타내었다. 이때 넘침과 부족함을 계산하는 정상 값의 기준은 전치부 Bolton 비율 77.2%, 전체 Bolton 비율 91.3%로 하였다.²³

치열궁 길이 부조화와 Bolton 부조화의 계측치는 별도의 계측치가 아니라 치아 근원심 폭경 및 가용 공간 계측치를 계산하여 산출하는 간접 계측치이므로, 결국 직접 계측치인 치아 근원심 폭경이나 가용 공간 계측치의 정확도에 영향 받는 것이다. 직접 계측치 외에 추가로 이러한 간접 계측치를 계산하여 비교한 것은 모형 분석 결과 중에서 최종적으로 중요하게 사용되는 치열궁 길이 부조화와 Bolton 부조화의 모형의 종류에 따른 차이 수준을 직접 계측치의 차이 수준과는 별도로 알아볼 필요가 있었기 때문이다.

20쌍의 석고 모형을 레이저 스캔 방식 스캐너 (Orapix scanner, Orapix, Seoul, Korea)로 스캔하였고, 계측에는 3DXer 3.5 프로그램(Orapix, Seoul, Korea)을 이용하였다. 계측 기준은 석고 모형에서와 동일하게 하였다. 이때 화면에 모형을 각 치아의 장축에 직각이 되도록 위치시킨 후 교합면상에서 관찰되는 인접면 최대 풍융부를 클릭하여 표시하였다. 이때 생성되는 치아 폭경 계측을 위한 근심면과 원심면의 인접면 기준 평면이 최대 풍융부를 바르게 지나가는지를 확인하였으며, 인접면 기준평면이 최대 풍융부를 지나지 않을 경우 인접면 기준 평면의 근원심 위치를 프로그램상의 detail control of two points 메뉴 상의 조절 버튼을 이용하여 조절하였다 (Fig 1).

CBCT 스캐너(Dental Cone-Beam x-ray system, CB Mercuray, Hitachi, Osaka, Japan)를 이용하여, 149.5 × 149.5 mm의 FOV (field of view), 15 mA, 120 kV, 스캔 타임 9.6초, 0.292 mm 상층 두께로 전산화 단층 촬영을 시행하였다. 치아의 교합면을 명확히 보기 위해서 숨을 물게 하여 환자의 교합을 일정량 개구시킨 상태에서 촬영하였고 계측은 Accurex 1.0 (Cybermed, Seoul, Korea)을 이용하였다. 모든 계측점의 기준은 석고 모형에서와 동일하게 하였으며, 이때 3D zoom 기능을 이용하여 측정하고자 하는 부위를 확대하여 계측하였다. Volume 영상의 역치

범위 설정(thresholding)에 있어서는 프로그램에 내장된 preset 모음 중 치아가 가장 잘 보인다고 판단되는 teeth 3 preset을 수정 없이 사용하였으며, 이때 역치 범위는 306 - 3,685 Hounsfield unit 범위였다 (Fig 2).

통계처리 시 치아폭경의 계측치에 있어서는 20명의 자료를 좌우로 나누어서 총 40개의 자료에서 좌우구분 없이 치아 종류별로 계측치의 차이를 구하였으며, 이외의 측정에서는 좌우를 분리할 수 없으므로 총 20개의 자료를 사용하였다. 석고 모형, 레이저 스캔 디지털 모형, CBCT 영상에서 모든 시편을 각각 2회에 걸쳐 반복 측정하였으며, 반복 계측치들 사이에 유의한 차이가 있는지 조사하기 위해 대응 t-검정을 시행하였다. 이후 반복 계측치의 오차 수준을 평가하기 위해 차이의 절대값의 평균과 표준편차를 구하였다. 이후의 통계 분석에서는 2회 계측치의 평균값을 사용하였다. 레이저 스캔 디지털 모형, CBCT 영상의 모형 계측치와 석고 모형의 모형 계측치를 비교하여 그 정확성을 조사하기 위해서 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이, 그리고 CBCT 영상과 석고 모형 사이에 모형 계측치에 차이가 있는지를 대응 t-검정을 통해 검정하였다. 세 가지 모델 종류에 따른 계측치 차이의 크기 수준을 알아보기 위해 계측치 차이의 절대값의 평

균과 표준편차를 구하였고, 추가적으로 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이, CBCT 영상과 석고 모형 사이의 Bolton 부조화 계측치의 상관관계 분석을 시행하였다.

연구성적

치아 폭경의 반복 계측치 차이의 절대값 평균에 있어서 석고 모형은 치아에 따라 0.06 - 0.27 mm의 범위를 보였으며, 레이저 스캔 디지털 모형은 0.11 - 0.31 mm, CBCT 영상은 0.15 - 0.26 mm의 범위를 보였다. 치아 폭경의 반복 계측치에 대한 대응 t-검정 결과 석고 모형은 하악 제1소구치의 폭경에서 레이저 스캔 디지털 모형은 상악 측절치와 견치폭경에서 유의한 차이를 보였으며 CBCT 영상은 하악 측절치와 제2소구치 폭경에서 유의한 차이를 보였다 (Table 1).

치열궁 폭경의 반복 계측치 차이의 절대값 평균에 있어서 석고 모형은 0.26 - 0.84 mm의 범위를 보였으며, 레이저 스캔 디지털 모형은 0.25 - 0.63 mm, CBCT 영상은 0.34 - 0.49 mm의 범위를 보였으나, 반복 계측치의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 치열궁 길이 부조화 값의 반복 계측치 차이의 절대값 평균은 세 가지 모형에서 0.51 - 1.17 mm 범

Table 1. Absolute differences of repeated measurements of tooth sizes of plaster model, laser scan digital model and CBCT image (unit, mm)

	Plaster model (n = 40) Mean ± SD	Digital model (n = 40) Mean ± SD	CBCT (n = 40) Mean ± SD
Maxillary arch			
Central incisor	0.12 ± 0.23	0.13 ± 0.11	0.20 ± 0.16
Lateral incisor	0.10 ± 0.10	0.17 ± 0.15*	0.18 ± 0.15
Canine	0.08 ± 0.08	0.16 ± 0.11*	0.17 ± 0.11
1 st Premolar	0.09 ± 0.10*	0.16 ± 0.14	0.19 ± 0.13
2 nd Premolar	0.09 ± 0.10	0.23 ± 0.19	0.18 ± 0.16
1 st Molar	0.14 ± 0.14	0.18 ± 0.14	0.26 ± 0.21
Mandibular arch			
Central incisor	0.06 ± 0.07	0.11 ± 0.09	0.15 ± 0.12
Lateral incisor	0.06 ± 0.08	0.18 ± 0.15	0.21 ± 0.18*
Canine	0.27 ± 1.10	0.31 ± 1.00	0.16 ± 0.14
1 st Premolar	0.27 ± 1.10	0.18 ± 0.12	0.18 ± 0.18
2 nd Premolar	0.17 ± 0.19	0.22 ± 0.19	0.22 ± 0.20*
1 st Molar	0.18 ± 0.21	0.22 ± 0.15	0.20 ± 0.17

*p < 0.05 (paired t-test).

위로 나타났으며 통계적으로 유의하지 않았다. 전치부 및 전체 Bolton 부조화의 반복 측정치의 차이는 세 가지 모형에서 각각 1.17 - 1.70 mm, 0.75 - 1.02 mm의 범위로 나타났으며 통계적으로 유의하지 않았다 (Table 2).

레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이의 치아 폭경 측정치 차이의 절대값 평균은 0.13 - 0.33 mm의 범위를 보였으며 (Table 3), 레이저 스캔 디지털 모형에서 일곱 개 치아의 폭경이 유의하게 크게 측정되었다 (Table 4). CBCT 영상과 석고 모형 사이의 치아 폭경 측정치 차이의 절대값 평균은 0.12 - 0.30 mm의 범위를 보였으며 (Table 3), CBCT 영상에서 다섯 개 치아의 폭경이 유의하게 작게 측정되었고 한 개 치아의 폭경이 유의하게 크게 측정되었다 (Table 4).

레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 전치부 치아 크기 합계의 차이의 절대값 평균이 상악에서 0.74 mm, 하악에서 0.96 mm로 나타났으며, 전체 치아 크기 합계의 차이의 절대값 평균은 상악에서 1.26 mm, 하악에서 1.76 mm로 나타났고 (Table 5), 모두 레이저 스캔 디지털 모형에서 유의하게 더 크

게 측정된 것으로 나타났다 (Table 6). CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 전치부 치아 크기 합계의 차이의 절대값 평균이 상악에서 0.53 mm, 하악에서 0.55 mm로 나타났으며, 전체 치아 크기 합계의 차이의 절대값 평균은 상악에서 1.45 mm, 하악에서 1.12 mm로 나타났으며, 상악 전치부 치아 크기 합계에서만 CBCT 영상에서 유의하게 작게 측정된 것으로 나타났으며 다른 치아 크기 합계에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (Tables 5 and 6).

치열궁 길이 부조화 값의 측정치 차이 절대값 평균은 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.56 mm, 하악에서 1.23 mm로 나타났으며, 레이저 스캔 디지털 모형에서 유의하게 작게 측정되는 것으로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.88 mm, 하악에서 1.03 mm로 나타났으며, 차이는 둘 모두에서 통계적으로 유의하지 않았다 (Tables 5 and 6).

레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이의 치열궁 폭경의 측정치 차이의 절대값의 평균은 0.33 - 1.00 mm의 범위로 나타났으며, 견치간 폭경에서 CBCT 영상의 측정치가

Table 2. Absolute differences of repeated measurements of arch length discrepancies, arch width, Bolton discrepancies of plaster model, laser scan digital model and CBCT image (unit, mm)

	Plaster model (n = 20)	Digital model (n = 20)	CBCT (n = 20)
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Maxillary arch			
Sum of anterior teeth	0.42 ± 0.41	0.46 ± 0.37*	0.62 ± 0.33
Sum of all teeth	0.66 ± 0.56	0.79 ± 0.55	1.06 ± 0.68
Required space	0.49 ± 0.46	0.71 ± 0.55	0.86 ± 0.50
Available space	0.21 ± 0.14	0.26 ± 0.26	0.25 ± 0.25
Arch length discrepancy	0.51 ± 0.47	0.76 ± 0.68	0.77 ± 0.63
Inter canine width	0.38 ± 0.43	0.37 ± 0.27	0.49 ± 0.37
Inter molar width	0.84 ± 2.22	0.25 ± 0.17	0.37 ± 0.27
Mandibular arch			
Sum of anterior teeth	0.56 ± 1.51	0.77 ± 1.37	0.43 ± 0.42
Sum of all teeth	1.37 ± 1.85	1.15 ± 1.30	0.83 ± 0.63
Required space	1.12 ± 1.87	1.01 ± 1.38	0.65 ± 0.41
Available space	0.25 ± 0.25	0.22 ± 0.21	0.28 ± 0.22
Arch length discrepancy	1.17 ± 1.90	1.05 ± 1.50	0.65 ± 0.52
Inter canine width	0.33 ± 0.30	0.48 ± 0.44	0.34 ± 0.28
Inter molar width	0.26 ± 0.23	0.63 ± 0.53	0.40 ± 0.34
Bolton discrepancy			
Anterior	0.93 ± 1.89	1.02 ± 1.79	0.75 ± 0.74
Overall	1.70 ± 2.00	1.17 ± 1.66	1.34 ± 1.63

* $p < 0.01$ (paired t -test).

Table 3. Absolute differences of tooth size measurements between laser scan digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model (unit, mm)

	DG-PL (n = 40)	CT-PL (n = 40)
	Mean ± SD	Mean ± SD
Maxillary arch		
Central incisor	0.16 ± 0.17 [†]	0.15 ± 0.12
Lateral incisor	0.17 ± 0.13 [†]	0.19 ± 0.11
Canine	0.18 ± 0.13 [†]	0.23 ± 0.20 [†]
1 st Premolar	0.13 ± 0.09	0.25 ± 0.18 [†]
2 nd Premolar	0.17 ± 0.11	0.22 ± 0.16 [†]
1 st Molar	0.23 ± 0.16 [†]	0.25 ± 0.19 [†]
Mandibular arch		
Central incisor	0.15 ± 0.10 [†]	0.14 ± 0.11 [*]
Lateral incisor	0.13 ± 0.09 [†]	0.12 ± 0.10
Canine	0.33 ± 0.67	0.24 ± 0.49
1 st Premolar	0.25 ± 0.52	0.30 ± 0.53
2 nd Premolar	0.18 ± 0.17	0.16 ± 0.11
1 st Molar	0.23 ± 0.15 [†]	0.21 ± 0.16

PL, Plaster model; DG, laser scan digital model; CT, CBCT image. * $p < 0.05$; [†] $p < 0.01$; [‡] $p < 0.001$ (Paired t -test).

석고 모형의 계측치보다 유의하게 작은 것으로 나타났다 (Tables 5 and 6).

전치부 Bolton 부조화의 계측치 차이의 절대값 평균은 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 1.12 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 0.97 mm로 나타났으며 이때 CBCT 영상에서 유의하게 더 작게 계측된 것으로 나타났다 (Tables 5 and 6). 전체 Bolton 부조화의 계측치 차이의 절대값 평균은 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 1.42 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 1.70 mm로 나타났으며 차이는 모두 통계적으로 유의하지 않았다 (Table 5). 상관 분석을 통해 전치부 및 전체 Bolton 부조화에서 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형이 높은 상관관계가 있음을 확인하였다 (Table 7).

고찰

CBCT가 치아 및 악안면 조직과 관련해서 큰 구조물을 측정하는 데 있어 신뢰할 수 있다는 보고가 있지만²⁴ CBCT 영상에서 치아 폭경 및 악궁 폭경 계측의 정확성을 조사한 연구는 아직 찾아보기 어렵다. 예비실험 시 구강 내에 금속 수복물이 있는

Table 4. Differences of tooth size measurements between laser scan digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model (unit, mm)

	DG-PL (n = 40)	p value	CT-PL (n = 40)	p value
	Mean ± SD		Mean ± SD	
Maxillary arch				
Central incisor	0.14 ± 0.18	0.000 [†]	0.05 ± 0.18	0.101
Lateral incisor	0.12 ± 0.17	0.000 [†]	0.04 ± 0.21	0.221
Canine	0.10 ± 0.20	0.004 [†]	-0.19 ± 0.24	0.000 [†]
1 st Premolar	0.01 ± 0.16	0.808	-0.22 ± 0.22	0.000 [†]
2 nd Premolar	0.05 ± 0.19	0.119	-0.16 ± 0.23	0.000 [†]
1 st Molar	0.20 ± 0.19	0.000 [†]	-0.22 ± 0.24	0.000 [†]
Mandibular arch				
Central incisor	0.11 ± 0.14	0.000 [†]	0.07 ± 0.17	0.012 [*]
Lateral incisor	0.10 ± 0.12	0.000 [†]	0.01 ± 0.16	0.764
Canine	0.16 ± 0.74	0.190	-0.01 ± 0.55	0.897
1 st Premolar	0.16 ± 0.56	0.076	-0.05 ± 0.61	0.606
2 nd Premolar	0.05 ± 0.25	0.229	-0.05 ± 0.19	0.135
1 st Molar	0.20 ± 0.18	0.000 [†]	-0.03 ± 0.26	0.494

PL, Plaster model; DG, laser scan digital model; CT, CBCT image. * $p < 0.05$; [†] $p < 0.01$; [‡] $p < 0.001$ (Paired t -test).

Table 5. Absolute differences of arch length discrepancy, arch width, and Bolton discrepancy measurements between laser scan digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model (unit, mm)

	DG-PL (n = 20) Mean ± SD	CT-PL (n = 20) Mean ± SD
Maxillary arch		
Sum of anterior teeth	0.74 ± 0.42 [†]	0.53 ± 0.43
Sum of all teeth	1.26 ± 0.60 [†]	1.45 ± 1.10 [†]
Required space	0.87 ± 0.51 [†]	1.10 ± 0.90 [†]
Available space	0.52 ± 0.22 [†]	0.56 ± 0.45 [†]
Arch length discrepancy	0.56 ± 0.45 [†]	0.88 ± 0.80
Inter canine width	0.33 ± 0.26	0.55 ± 0.28 [†]
Inter molar width	1.00 ± 0.99	0.75 ± 1.11
Mandibular arch		
Sum of anterior teeth	0.96 ± 0.86 [†]	0.55 ± 0.72
Sum of all teeth	1.76 ± 0.97 [†]	1.12 ± 1.07
Required space	1.39 ± 1.27 [†]	1.04 ± 0.92
Available space	0.34 ± 0.23 [*]	0.58 ± 0.52 [†]
Arch length discrepancy	1.23 ± 1.29 [*]	1.03 ± 1.21
Inter canine width	0.48 ± 0.60	0.47 ± 0.53
Inter molar width	0.49 ± 0.46 [*]	0.46 ± 0.32
Bolton discrepancy		
Anterior	1.12 ± 1.22	0.97 ± 0.96
Overall	1.42 ± 1.21	1.70 ± 1.68 [*]

PL, Plaster model; DG, laser scan digital model; CT, CBCT image. **p* < 0.05; [†]*p* < 0.01; [‡]*p* < 0.001 (Paired *t*-test).

경우 CBCT 영상에서 scatter 현상이 일어나는 것이 관찰되었으므로, 정확한 측정을 위하여 본 논문에서는 가능한 구강 내에 보철물과 금속 수복물이 있는 환자는 제외시켰으며, 특히 치아 폭경 계측에 방해가 될 수 있는 인접면 금속 수복물이 있는 경우는 제외시켰다. 향후 금속 scatter를 최소화할 수 있는 기술이 개발되기 전까지는 다수의 보철물과 금속 수복물을 갖는 환자에서 CBCT 영상을 모형 분석 목적으로 활용하는 것은 어려운 것이다. 치아 폭경과 악궁 폭경의 반복 계측치간 차이의 절대값 평균은 세 모형 간에 큰 차이가 없었다. 석고 모형의 경우 한 개 치아에서 디지털 모형과 CBCT 영상의 경우 두 개 치아에서 반복 측정 시 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데, 차이의 절대값 평균이 최대 0.22 mm로 문제되는 수준은 아니라고 판단되었다. Park¹⁵은 총생이 있는 레이저 스캔 디지털 모형에서

중절치와 측절치의 재현도가 상대적으로 낮았다고 하였고, Han¹⁴은 총생의 여부에 관계없이 레이저 스캔 디지털 모형의 모든 치아에서 재현도가 높았다고 보고하였다. 레이저를 이용한 스캔 시에는 총생이 심한 모형에서 언더컷과 우각부위에서 빛이 산란되어 난반사가 일어나 치아 인접면의 3차원 재현이 부정확해지므로 디지털 모형에서 치아 폭경의 재현도는 총생의 영향을 받을 것으로 생각된다. 또한 레이저 스캔 디지털 모형에서는 변연 융선이 더 등글게 보이므로 접촉점의 위치 선정에서 석고 모형의 경우와 차이가 생길 수 있다. 악궁 폭경을 계측할 때 레이저 스캔 디지털 모형 상에서는 치아의 교두정이 꼭지점이 아닌 곡면으로 표현되어 정확한 계측에 어려움이 있었다. CBCT 영상의 경우에도 voxel 사이의 연결이 선으로 이루어지고, 특히 계측에 사용한 3D zoom 모드에서는 확대 시 voxel 사이의 연결이 부드럽게 되도록 하는 기술이 적용되고 있어 치아의 날카로운 부분의 형태가 등글게 보이는 문제점이 있다.

본 연구의 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이의 치아 폭경 계측치 차이는 0.01 - 0.20 mm의 범위로 Park¹⁵과 Han¹⁴이 발표한 0.03 - 0.16 mm, 0.01 - 0.17 mm와 유사하게 나타났으며, 치아 폭경 계측치의 절대차도 0.33 mm 이하로 나타나서 임상적 수용이 가능한 수준으로 생각된다 (Table 3). 본 연구에서 레이저 스캔 디지털 모형은 석고 모형과 비교 시 상, 하악 전치부와 제1대구치에서 치아의 폭경이 유의하게 컸는데, 여러 문헌들에서 이러한 차이를 보이는 치아의 일관성을 찾을 수는 없었다.¹³⁻¹⁵ 이는 각 모형마다 부정 교합 형태가 다르므로 계측이 어려운 치아 부위가 달라지기 때문이라고 생각된다. Santoro 등²⁵은 OrthoCAD 디지털 모형에서 계측한 치아의 폭경이 항상 작다고 하였고, Park¹³은 레이저 스캔 디지털 모형에서 인접면 접촉부의 자료가 소실되어 더 작게 계측되는 경향을 보인다고 하였다. 그러나 Quimby 등²⁶은 OrthoCAD 디지털 모형에서 계측한 치아의 폭경이 항상 크다고 하였으며, 이들은 디지털 모형에서 치아 폭경이 더 크게 측정되는 원인으로 각 회사의 scanning 과정과 소프트웨어의 특정 알고리즘, 사용자의 소프트웨어 사용의 미숙함 등을 제시하였다. Zilberman 등³은 정확성에 있어서 하드웨어나 소프트웨어보다는 이를 운용하는 사용자의 숙련도와 지식이 정확성을 결정하는 데 더욱 기여한다고 하였고, Han¹⁴은 디지털 모형 측정치의 정확도를 향상시키기 위해서 디지털

Table 6. Differences of arch length discrepancy, arch width, and Bolton discrepancy measurements between laser scan digital model and plaster model, between CBCT image and plaster model (unit, mm)

	DG-PL (n = 20)		CT-PL (n = 20)	
	Mean ± SD	p value	Mean ± SD	p value
Maxillary arch				
Sum of anterior teeth	0.73 ± 0.43	0.000 [†]	-0.19 ± 0.66	0.208
Sum of all teeth	1.24 ± 0.64	0.000 [†]	-1.38 ± 1.19	0.000 [†]
Required space	0.83 ± 0.55	0.000 [†]	-0.96 ± 1.07	0.001 [†]
Available space	0.41 ± 0.38	0.000 [†]	-0.52 ± 0.51	0.000 [†]
Arch length discrepancy	-0.41 ± 0.60	0.007 [†]	0.43 ± 1.13	0.109
Inter canine width	0.16 ± 0.40	0.089	-0.46 ± 0.42	0.000 [†]
Inter molar width	0.47 ± 1.34	0.131	-0.22 ± 1.33	0.469
Mandibular arch				
Sum of anterior teeth	0.71 ± 1.07	0.008 [†]	0.12 ± 0.89	0.555
Sum of all teeth	1.53 ± 1.30	0.000 [†]	-0.12 ± 1.56	0.745
Required space	1.05 ± 1.58	0.008 [†]	-0.22 ± 1.38	0.494
Available space	0.21 ± 0.36	0.019 [*]	-0.55 ± 0.57	0.000 [†]
Arch length discrepancy	-0.82 ± 1.59	0.032 [*]	-0.32 ± 1.57	0.373
Inter canine width	0.26 ± 0.74	0.130	-0.16 ± 0.69	0.313
Inter molar width	0.34 ± 0.58	0.017 [*]	0.01 ± 0.57	0.969
Bolton discrepancy				
Anterior	-0.17 ± 1.66	0.661	-0.35 ± 1.31	0.247
Overall	-0.44 ± 1.83	0.297	-1.25 ± 2.08	0.014 [*]

PL, Plaster model; DG, laser scan digital model; CT, CBCT image. *p < 0.05; †p < 0.01; ‡p < 0.001 (Paired t-test).

Table 7. Pearson correlation of Bolton discrepancies between laser scan digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model

	DG vs PL	CT vs PL
Anterior Bolton discrepancy	0.708 [*]	0.764 [*]
Overall Bolton discrepancy	0.662 [*]	0.718 [*]

PL, Plaster model; DG, laser scan digital model; CT, CBCT image. *p < 0.01.

모형에 익숙해지기 전까지는 석고 모형과 디지털 모형을 비교하면서 측정하는 것과 컴퓨터 화면에서 관찰하고자 하는 부위에 명암이 생기도록 디지털 모형을 회전시키는 것이 입체 구조의 파악에 도움이 된다고 하였다. Lee 등²⁷은 다섯 개의 디지털 모형에서 두 명의 측정자가 치아 폭경과 악궁 폭경을 측정하여 비교한 결과 측정자간 오류가 없었다고 보고하였고, Stevens 등⁶도 측정자간 유의한 차이는 없었다고 보고하였다. 본 연구에서는 한 명의 측정자가 측정하였으며, 석고 모형에 비해 디지털 모형에서, 디지털 모형에 비해 CBCT 영상에서 측정 시

더 많은 시간이 소요되었다.

CBCT 영상과 석고 모형 사이의 치아 폭경 측정치 차이는 -0.22 - 0.07 mm의 범위로 나타났으며, 치아 폭경 측정치의 절대차는 0.30 mm 이하로 나타나서 레이저 스캔 디지털 모형과 마찬가지로 임상적 수용이 가능한 수준으로 생각된다 (Table 3). CBCT 영상은 석고 모형과 비교 시 상악 견치, 제1소구치, 제2소구치, 제1대구치의 폭경이 유의하게 작게 측정되었고 하악 중절치의 폭경이 유의하게 크게 측정되었다 (Table 5). CBCT 영상은 레이저 스캔 디지털 모형에 비해 총생이 주로 나타나는 상, 하악 전치부에서 더 작은 차이를 보였는데 이는 CBCT 영상이 본 연구에서 사용된 레이저 스캔 디지털 모형과 같은 표면 스캔(surface scan) 방식이 아니라 볼륨 스캔(volume scan) 방식으로 획득되기 때문에 총생의 영향을 덜 받은 것으로 생각된다. 디지털 모형의 경우에도 언더컷(undercut)의 영향을 받는 레이저를 이용한 표면 스캔 방식이 아닌 공업용 CT (industrial CT)를 사용한 볼륨 스캔 방식을 사용할 경우에는 총생의 영향을 덜 받을 것으로 생각된다. Lascala 등²⁴은 건조 두개골을 CBCT로 스캔하여 실측값과 비교

한 결과 0.07 - 0.20 mm의 차이가 나타났으며 CBCT 영상에서 크기가 더 작게 측정되었다고 하였다. 본 연구에서는 Lascala 등²⁴의 보고와 유사하게 CBCT 영상에서 크기가 더 작게 측정되는 경향이 관찰되었다.

본 연구에서 레이저 스캔 디지털 모형에서는 석고 모형에 비해 상악의 가용 공간은 0.41 mm 크게 측정되었고 하악의 가용 공간은 0.21 mm 크게 측정되었는데 (Table 6), Quimby 등²⁶도 디지털 모형에서 가용 공간이 상악에서 0.54 mm, 하악에서 2.88 mm 더 크게 측정되었다고 보고하였다. 본 연구에서 레이저 스캔 디지털 모형에서는 치열궁 길이 부조화에 따른 공간부족이 석고 모형에 비해 상악에서 0.41 mm, 하악에서 0.82 mm 더 많은 것으로 측정되었는데 (Table 6), 이러한 결과는 본 연구에서 레이저 스캔 디지털 모형에서 가용 공간에 비해 치아 폭경이 좀 더 확대되어 측정되었기 때문으로 생각된다.

CBCT 영상에서는 치열궁 길이 부조화에 따른 공간부족이 석고 모형에 비해 상악에서 0.43 mm 적은 것으로, 하악에서 0.32 mm 더 많은 것으로 측정되었는데, 이는 CBCT 영상에서 상악 전체 치아 폭경의 합이 작게 측정된 데 기인한 것으로 생각된다 (Table 6).

본 연구에서 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이의 악궁 폭경 측정치 오차는 평균 0.16 - 0.47 mm의 범위로 Park¹⁵과 Han¹⁴이 발표한 0.50 - 0.81 mm, 0.03 - 0.55 mm와 비교했을 때 더 작은 수준으로 나타났고, 측정치 차이의 절대치 평균도 0.33 - 1.00 mm의 범위로 나타나서 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다 (Tables 5 and 6).

CBCT 영상에서 측정된 치열궁 폭경은 석고 모형과 비교 시 평균 -0.46 - 0.01 mm의 차이를 보여 석고 모형보다 대체로 작게 측정되었으나 통계적으로 유의하지는 않았으며, 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다 (Table 6). CBCT 영상에서 치열궁 폭경 측정 시 치아의 교두에서 가장 밝은 곳을 교두정이라고 표시하고 교두정간의 거리를 측정하였는데 CBCT 영상을 회전시킨 후 교두정의 3차원적 위치를 다시 확인하는 과정에서 하이라이트 부분이 변하는 경향이 오차의 원인이 되었을 수 있다. 레이저 스캔 디지털 모형과 마찬가지로 CBCT 영상에 익숙해지기 전까지는 석고 모형과 CBCT 영상을 비교하면서 측정하는 것이 도움이 될 것이다.

1958년 Bolton²³은 55명의 우수한 교합을 갖는 환

자를 대상으로 치아 크기의 부조화가 치열궁간의 관계에 미치는 영향에 대해 연구하여, 하악 전체 치아의 근원심 폭경의 합 대 상악 전체 치아의 근원심 폭경의 합 비율(전체 ratio) 및 하악 6전치의 근원심 폭경의 합 대 상악 6전치의 근원심 폭경의 합 비율(전치부 ratio)을 정의하였다. Bolton²³은 전체 ratio는 평균 91.3%, 전치부 ratio는 평균 77.2%라고 하였으며, 1962년 몇몇의 임상 증례에 Bolton ratio를 적용한 결과 임상적으로 유용하다고 하였다.²⁸ Tomassetti 등²⁹은 22개의 석고 모형에서 버니어 캘리퍼스를 이용하여 치아 폭경을 측정한 값과 3가지 소프트웨어들(Quick Ceph, HATS, Ortho CAD)에서 측정된 치아 폭경 값을 대상으로 Bolton 부조화 비교한 결과 평균 0.88 mm의 전치부 Bolton 부조화 측정치의 차이와 1.34 mm의 전체 Bolton 부조화 측정치의 차이를 보고하였다. 본 연구에서는 디지털 모형에서 석고 모형에 비해 전치부 Bolton 부조화 측정치가 평균 0.17 mm 작게, 전체 Bolton 부조화 측정치가 평균 0.44 mm 작게 나타났으나, 통계적으로 유의하지는 않았다 (Table 6). 그러나 CBCT 영상에서는 석고 모형에 비해 전치부 Bolton 부조화 측정치에서 평균 0.35 mm 작은 것으로 나타나서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 전체 Bolton 부조화 측정치에서는 CBCT 영상에서 평균 1.25 mm 유의하게 작은 것으로 나타났다 (Table 6). 상악 과잉 시 양으로 표현되는 전체 Bolton 부조화 측정치가 CBCT에서 더 적게 측정된 것으로 나타난 것은 CBCT 영상에서 상악 전체 치아 폭경의 합이 평균 1.38 mm 더 작게 측정된 때문으로 생각된다 (Table 6). 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에는 Bolton 부조화 측정치에 있어서 0.662 - 0.764 범위의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 레이저 스캔 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 상관관계가 더 낮았다 (Table 7).

임상적으로 레이저 스캔 디지털 모형과 CBCT 영상을 활용하기 위해서는 석고 모형의 모형 분석 결과와 레이저 스캔 디지털 모형과 CBCT 영상의 모형 분석 결과가 거의 일치해야 할 것이다. 개개 치아의 폭경 측정에 있어서 몇몇 치아들에서 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 치열궁 공간 부조화, 전체 Bolton 부조화 등에서도 일부에서 유의한 차이가 나타났다 (Tables 4 and 6). 그러나 이러한 차이가 디지털 모형이나 CBCT 영상을 모형 분석에 사용할 수 없을 정도로 큰 수준은 아니라고 생

각된다. 다만 개개 치아의 폭경의 계측치에 비해 다수의 치아 폭경의 합으로부터 계산되는 계측치들은 상대적으로 오차가 클 수 있다는 점을 염두에 두는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 CB Mercuray CBCT 스캐너 (Hitachi, Osaka, Japan)로 촬영한 CBCT 영상에서 Accurex 프로그램 상에 내장된 teeth 3 preset 설정을 이용하여 치아를 계측하였는데 (Fig 2), 만약 다른 해상도의 CBCT 영상을 이용하거나 teeth 3 preset과 다른 설정을 이용한다면 본 연구와는 다른 결과가 나올 수 있다고 생각된다. 본 연구에서 CBCT 영상에서 상악 견치와 구치의 치아 폭경이 유의하게 작게 계측되었는데 (Table 4), 이는 teeth 3 preset이 인접면의 최대풍융부의 형태를 축소시켰기 때문일 수도 있다. 그러나 teeth 3 preset에 비해 좀 더 낮은 Hounsfield unit 부위도 표시되도록 역치 범위 설정 (thresholding)을 조절할 경우에는 인접면 최대풍융부의 형태 축소 가능성은 줄일 수 있으나 치아 사이에 약간의 빈 공간(spacing)이 있는 경우 이 공간이 채워져 있는 것처럼 나타나는 경우가 많아 치아 폭경이 오히려 지나치게 크게 계측될 수 있는 문제점이 있었다. CBCT 촬영기에 따라 HU 수치가 달라질 수 있으며, 일부 CBCT 촬영기의 HU 수치의 오차를 수정하기 위한 conversion factor도 보고된 바 있다.³⁰ CBCT 영상에서 치아를 계측하는 데 바람직한 역치 범위는 CBCT 촬영기의 종류와 촬영조건에 따라 달라져야 할 것이며, CBCT 영상을 모형 분석에 사용하기 위해서는 먼저 모형에서 계측한 치아 폭경과 CBCT 영상에서 계측한 치아 폭경의 차이가 최소가 되는 역치 범위를 찾는 과정이 선행되어야 할 것이다.

또한 본 연구에서는 인접면에 금속 수복물이 없는 환자에서 입을 벌린 상태로 CBCT를 촬영하여 분석에 활용하였는데, 인접면에 금속 수복물이 있어서 scatter 현상이 나타나는 경우나 입을 벌리지 않은 상태로 촬영된 CBCT에서는 치아 폭경을 측정하기 어려울 것이다.

석고 모형에서 버니어 캘리퍼스를 이용하여 계측하는 방법과 CBCT 영상 및 디지털 모형에서 계측 프로그램을 사용하여 계측하는 방법 사이에서 오차가 발생할 수 있으며, 버니어 캘리퍼스로 측정하는 경우에는 캘리퍼스의 침단이 폭경 측정을 위해 필요한 부위에 정확히 도달할 수 없는 경우가 있다는 문제점이 있고, 디지털 모형과 CBCT 영상의 경우에는 3차원 모형을 2차원 화면 상에서 계측하는 어

려움에 의해 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 피하기 위해서는 사체(cadaver)로부터 CBCT를 촬영한 후 인상을 채득하여 석고 모형을 제작하고 다시 사체에서 치아를 발치한 뒤, 석고 모형에서 캘리퍼를 이용하여 측정된 치아 폭경, CBCT 영상에서 측정된 치아 폭경을 사체에서 발치한 치아의 폭경과 비교하는 것이 바람직할 수 있다. Sim 등³¹은 치아를 하나씩 분리하여 측정된 치아 폭경에 비해 모형상에서 측정된 치아 폭경은 더 작았다고 보고하였는데, 이에 따르면 본 연구에서 석고 모형에 비해 계측 프로그램 상에서 계측 기준이 되는 치아 인접면을 더 정확히 설정할 수 있는 레이저 스캔 디지털 모형에서 치아 폭경이 더 크게 계측된 것이 디지털 모형의 오차만을 나타내는 것은 아닐 것이다. 본 연구에 사용된 석고 모형은 환자로부터 인상을 채득하여 제작한 것이므로 인상 채득 과정에서 실제 악궁과 오차가 발생할 수 있으나, CBCT 영상은 석고 모형을 촬영한 것이 아니라 환자에서 직접 획득한 것이므로 본 연구에서 나타난 CBCT 영상과 석고 모형의 계측치 차이가 순수하게 CBCT의 오차만을 나타내는 것 역시 아닐 것이다.

최근 환자에서 획득된 CBCT 영상으로부터 디지털 모형을 제작해 주는 서비스를 제공하는 회사 (Anatomage, San Jose, CA, USA)³²와 공업용 CT를 이용하여 인상체를 스캔하여 디지털 모형을 제작해주는 회사(OrthoProofUSA, Albuquerque, NM, USA)³³가 등장하였는데, 이러한 환자의 CBCT 영상 기반의 디지털 모형 및 인상체의 CT 영상 기반의 디지털 모형이 모형 분석에 활용할 수 있는 수준의 정확도를 지녔는지는 추후 연구되어야 할 것으로 생각되며, 또한 향후 구치 관계나 전치부 수직, 수평 피개도와 같은 악간 관계 계측 항목의 정확도에 대해서도 연구되는 것이 바람직하다.

결론

레이저 스캔 디지털 모형과 CBCT 영상이 석고 모형을 대신하여 모형 분석에 사용될 수 있는지를 조사하기 위하여 인접면에 금속 수복물을 갖지 않는 영구 치열기의 교정환자 20명의 CBCT 영상과 석고 모형, 석고 모형을 레이저 스캔방식으로 스캔한 디지털 모형으로부터 모형 분석을 시행하여 비교한 결과 몇몇 모형 분석 항목들에서 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 오차 수준이 크

지 않아 임상에서 디지털 모형과 CBCT 영상을 모형 분석에 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 CBCT 영상에서는 II급 금속 수복물이나 금관으로 수복된 치아에서 metal scatter가 발생되어 인접면을 정확히 파악할 수 없으므로 CBCT 영상은 인접면에 금속 수복물이 없는 경우에 한해 모형 분석에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. OrthoCAD, USA. Available at: <http://www.orthocad.com>.
2. Emodels, USA. Available at: <http://www.dentalemodels.com>.
3. Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod* 2003;73:301-6.
4. Kuroda T, Motohashi N, Tominaga R, Iwata K. Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:365-9.
5. Sohmura T, Kojima T, Wakabayashi K, Takahashi J. Use of an ultrahigh-speed laser scanner for constructing three-dimensional shapes of dentition and occlusion. *J Prosthet Dent* 2000;84:345-52.
6. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:794-803.
7. Garino F, Garino GB. Comparison of dental arch measurements between stone and digital casts. *World J Orthod* 2002;3:250-4.
8. Baik HS, Lee HJ, Jeon JM. A proposal of soft tissue landmarks for craniofacial analysis using three-dimensional laser scan imaging. *Korean J Orthod* 2006;36:1-13.
9. Baik HS, Jeon JM, Lee HJ. A study of facial soft tissue of Korean adults with normal occlusion using a three-dimensional laser scanner. *Korean J Orthod* 2006;36:14-29.
10. Ko SD, Cha KS. A Study on the labial & buccal surface contour in Korean permanent teeth using three-dimensional laser scanning. *Korean J Orthod* 2002;32:275-91.
11. Chang YJ, Kim TW, Yoo KH. The effect of variations in the vertical position of the bracket on the crown inclination. *Korean J Orthod* 2002;32:401-11.
12. You HW. The optimal scanning pose generating algorithm for 3D dental model scanner [thesis]. Seoul: Myongji University; 2000.
13. Park JW. The study on the measurement error of the 3D-digital model made by laser scan method [thesis]. Seoul: Seoul National University; 2003.
14. Han JH. Comparison of measurements in three-dimensional digital model and dental plaster model [thesis]. Seoul: Yonsei University; 2004.
15. Park SI. The comparison between manual and 3D-digital measurement in dental cast measurements according to the degree of crowding [thesis]. Seoul: Korea University; 2006.
16. Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop* 2005;66:434-44.
17. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:551-9.
18. Chae JH, Song JW, Cha JY, Choi JS, Park YC. Labial and buccal surface contours of Korean normal occlusion in a three-dimensional digital model. *Korean J Orthod* 2008;38:95-103.
19. Misch KA, Yi ES, Sarment DP. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol* 2006;77:1261-6.
20. Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:410-6.
21. Ludlow JB, Laster WS, See M, Bailey LJ, Hershey HG. Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;103:534-42.
22. Chang J, Yenice KM, Narayana A, Gutin PH. Accuracy and feasibility of cone-beam computed tomography for stereotactic radiosurgery setup. *Med Phys* 2007;34:2077-84.
23. Bolton WA. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod* 1958;28:113-30.
24. Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:291-4.
25. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:101-5.
26. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 2004;74:298-303.
27. Lee JH, Paik KS, Chang MS, Lee SP. An evaluation of validity of measurements using digital caliper and three-dimensional virtual dental models. *Korean J Anat* 2004;37:209-18.
28. Bolton WA. The clinical application of tooth-size analysis. *Am J Orthod* 1962;48:504-29.
29. Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Denny JM, Fischer JR Jr. A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *Angle Orthod* 2001;71:351-7.
30. Lagravère MO, Fang Y, Carey J, Toogood RW, Packota GV, Major PW. Density conversion factor determined using a cone-beam computed tomography unit NewTom QR-DVT 9000. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:407-9.
31. Sim EJ, Hwang HS, Moon JD. A study on the error of tooth size measurements. *Korean J Orthod* 1999;29:491-501.
32. Anatomage, USA. Available at: <http://www.anatomage.com>.
33. OrthoProofUSA, USA. Available at: <http://www.orthoproofusa.com>.

Comparison of model analysis measurements among plaster model, laser scan digital model, and cone beam CT image

Mi-young Lim, DDS, MSD,^a Sung-hoon Lim, DDS, MSD, PhD^b

Objective: The purpose of this study was to evaluate the possibility of using a digital model and cone beam computed tomograph (CBCT) image for model analysis. **Methods:** Model analyses of CBCT images, plaster models, and digital models of 20 orthodontic patients with a permanent dentition with no proximal metal restorations, were compared. **Results:** The average differences of tooth size measurements were 0.01 to 0.20 mm, and the average difference of arch length discrepancy measurements were 0.41 mm in the maxilla and 0.82 mm in the mandible. The difference in Bolton discrepancy measurements was 0.17 mm for the anterior region and 0.44 mm overall but with no statistically significant difference. When comparing CBCT images with plaster models, the average differences in tooth size measurements were -0.22 to 0.01 mm, and the average differences in arch length discrepancy measurements were 0.43 mm in the maxilla and 0.32 mm in the mandible. Difference in Bolton discrepancy measurements were 0.35 mm in the anterior region and 1.25 mm overall. CBCT images showed significantly smaller overall Bolton discrepancy measurements. **Conclusions:** Although there were statistically significant differences in some model analysis measurements, the ranges of measurement errors of the digital model and CBCT images were clinically acceptable. Therefore, a digital model and CBCT image can be used for model analysis. (*Korean J Orthod* 2009;39(1):6-17)

Key words: Digital model, Cone beam CT, Model analysis, Plaster model

^aPostgraduate student, ^bAssociate Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University.

Corresponding author: *Sung-hoon Lim*.

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University, 421, Seoseok-dong, Dong-gu, Gwangju 501-717, Korea.

+82 62 220 3870; e-mail, *shlim@chosun.ac.kr*.

Received August 19, 2008; Last Revision December 19, 2008; Accepted December 22, 2008.