http://doi.org/10.14347/kadt.2017.39.4.277

치과용 스캐너의 광원에 따른 디지털 모형의 정확도 비교연구

김재홍, 이정수*, 심정석*
동남보건대학교 치기공과, 신구대학교 치기공과*

Comparative study of accuracy of digitized model fabricated by difference optical source of non-contact 3D dental scanner

Jae-Hong Kim, Jung-Soo Lee*, Jeong-Seok Shim*
Department of Dental Technology, Dongnam Health University
Department of Dental Laboratory Technology, Shingu University*

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the validity of digital models fabricated by difference optical source of non-contact 3D dental scanner.

Methods: A master model with the prepared upper full arch tooth was used. Stone model(N=10) were produced from master model, and on the other hands, digital models were made with the 3D dental scanner(Blue, white, red optical source). The linear distance between the reference points were measured and analyzed on the Delcam Copycad® graphic software. The results were statistically analyzed using the one-way ANOVA and Tukey's HSD test(α=0.05).

Results: There were considerable differences in mean values between optical source within each color(blue, white, red), and this difference was not statistically significant($p>0.05$).

Conclusion : Three different color of dental scanner optical source showed clinically acceptable accuracies of full arch digital model produced by them. Besides, these results will have to be confirmed in further clinical studies.

Key words: 3D dental scanner, Accuracy, Digital model, Optical source

Corresponding author	Name	김 재 홍	Tel.	031-249-6491	E-mail	kjhong@dongnam.ac.kr
	Address	경기도 수원시 장안구 천천로 74번길 50				

Received	2017. 8. 24	Revised	2017. 10. 11	Accepted	2017. 12. 20

Ⅰ. 서 론

지난 40여 년간 디지털 기술의 발전과 치과용 CAD/CAM system의 도입은 전반적인 치의학 영역뿐만 아니라 치과기공 기술에도 큰 변화를 가져오게 했다(Mörmann & Brandestini, 2006). 구강조직의 3차원 형상 데이터를 획득하는 방식은 환자의 구강 내에서 직접 얻는 직접적인 방식과 전통적으로 인상을 채득한 후 얻어진 모형으로부터 얻는 간접적인 방식이 있다. 이러한 데이터를 획득하기 위해서는 형상에 관한 정보를 빠르게 읽어 들이는 장치가 필요하게 되었고 지대치 등의 형상에 관한 3차원 정보를 변환시키는 여러 가지 다른 디지털화 방식이 치과계에 도입이 되었다(Witkowski, 2005).

모형 제작은 치과기공의 가장 기본이 되는 작업이기도 하며 공정과정의 첫 단추를 끼우는 과정이라고 할 수 있다. 최근에는 CAD/CAM의 발전과 함께 많은 치과기공소 및 기공실에서도 구강 스캐너의 사용빈도가 증가하고 있는 추세에 있다(Kim et al, 2014). 하지만 아직 많은 치과 의원에서는 인상재와 트레이를 사용하는 방법을 선택한다. 인상채득 과정은 사용되는 각 다른 회사의 인상재, 술자의 사용, 인체의 변형, 이상구개를 가지고 있는 환자, 인상재의 거부반응, 환자의 구토반응 등의 요인들로 정확한 채득에 어려움을 주거나 여러 번 채득이 불가능한 상황에 놓일 수 있다. 인상채득 후에도 환경에 의한 변형, Stone model의 제작 반복에 의한 변형, 모형재의 팽창, 보관상의 문제 등이 생길 수 가있다(Christensen, 2005). 반면 dental CAD/CAM system은 기본적으로 환자의 인상을 채득 후 모형을 제작하여 치과용 스캐너를 통해 모형을 디지털화 한 후 컴퓨터를 활용하여 고정성, 가철성 치과보철물을 제작할 수 있으며, 또한 구강 광학 스캐너를 사용하면 환자의 구강에 트레이를 사용하여 음형을 만들지 않고도 컴퓨터를 통하여 디지털화 된 모형을 만드는 것이 가능하다(Birmbaum et al, 2008).

3차원 스캐너로부터 얻어진 형상 정보는 다양한 산업군에 필요한 역설계(Reverse engineering)나 품질 관리(Quality inspection)분야에 적극적으로 활용되고 있으며, 현재 기술에 발달로 치과기공업무에도 널리 쓰이게 되었고, 치과 CAD/CAM, 3D printer 기반의 치과용 스캐너는 3차원적인 형상의 획득과 분석까지 용이하게 되었다. 게다가 측정 데이터는 컴퓨터를 이용하여 3차원 그래픽으로 구현이 가능해 이를 통해서 작업 모형을 따로 보관할 필요가 없어지고 정확한 데이터를 통해 더 정밀한 보철물 제작에 용이해졌다(Persson et al, 1995).

그 중 치과영역에서 가장 널리 쓰이는 스캐너에는 백색광, 청색광, 적색광이 주로 사용된다. 백색광이란 수많은 색의 빛으로 구성되어 있는 광원이다. 백색광을 프리즘에 통과시키면 여러 가지 광원으로 분리되는데 이때 분리되는 단색광이 청색광과 적색광이다. 이렇듯 백색광에는 다양한 파장을 가지고 있는 광원이 혼용되어 있고 적색광은 그중에서 가장 긴 파장(635nm)을 가지고 있는 광원이다. 청색광은 그 중에서 짧은 파장(445nm)을 가지고 있는 광원이다(Luthardt et al, 2003).

이 3가지 광원 중에 기존에 연구되었던 선행논문들은 새로 출시된 스캐너의 광원을 위주로 단순 비교한 연구논문들에 집중되어 있다. 치과용 백색광 스캐너를 사용하여 주 모형의 인상체를 스캔하여 얻어진 디지털 데이터와 주모형의 복제모형을 스캔한 디지털 데이터가 본래 주 모형을 얼마나 정확하게 디지털화 하는지, 또 지대치의 종류나 형태에 따라서 디지털 데이터의 차이가 없는지, 3차원 분석 소프트웨어를 통해 비교하여 스캔 방식에 따른 디지털 모형의 정확성을 평가하기도 하였으며(Lee et al, 2012), 블루 LED 광원의 치과용 스캐너를 이용하여 제작된 디지털 모형의 정확도를 평가하기 위하여 모형에 계측지점을 선정하고 측정하여, 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하여 임상적 허용 여부를 가늠한 연구도 있었다(Kim et al, 2014).

이에 본 연구는 기존의 방식으로 제작한 석고 모형과 이를 치과용 스캐너의 다양한 종류의 광원으로 채득된 3차원 디지털 모형의 계측치를 디지털 밀림자(digital caliper)로 계측한 결과와 비교 검정하여, 치과용 스캐너의 광원에 따른 3차원 디지털 모형의 정확도를 비교 평가하기 위함이다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 주 모형 및 복제 모형 제작

아크릴릭 구강모형(500B-1, Nissin Dental Product, Japan)을 기준 모델로 선정하였다. 결손치가 없고 보철물 제작을 위한 지대치가 형성되지 않은 이상적인 치열이기에 환자들의 모형과는 상이할 수 있으나 스캐닝 과정과 복제 모형 제작과정에서 발생할 수 있는 오차를 최대한 줄이기 위해 선정하였다(Fig. 1).

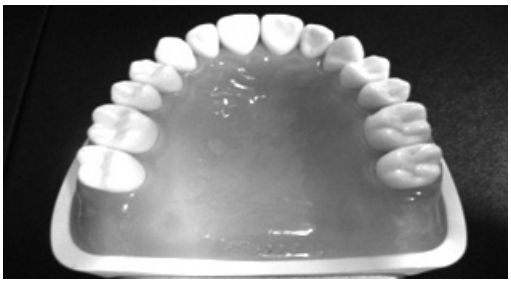

Figure 1. Upper full arch master model.

기성 트레이를 사용하여 two-step technique으로 vinyl polysiloxane-based material(Examix®, GC Industrial Corp, Japan) 인상재를 사용하여 10개의 인상을 채득하였다. 제조사의 지시에 의거하여 작업시간을 최대 5분으로 준수하였고, 주 모형으로 인해 인상재의 변형을 최소화하기 위해 일정한 방향으로 삽입한 후 철거하였다. 채득된 10개의 전악 인상체 내면에 석고 주입 시 기포발생 억제 및 표면을 매끄럽게 하기 위해 계면활성제를 도포하였다. 스캐닝 시 최적의 작업모형을 채득하기 위해 스캔전용 석고의 한 종류인 aesthetic-base gold®(Dentona, Germany)를 제조사의 지시에 따른 혼수비(W/P)로 vacuum mixer system을 이용하여 30초간 혼합한 후 기포가 생기지 않도록 조심스럽게 주입하였다. 충분한 시간을 두어 경화를 시킨 후 인상체에서 석고 모형을 분리하였다.

2) 3종의 치과용 스캐너를 이용한 디지털 모형 채득

디지털 모형으로 전환하기 위해 서로 다른 광원의 치과용 스캐너를 이용하여 각각 10개의 모형을 스캔하였다(Table 1). 구동 테이블 위에 모형을 위치시킨 후 전악(full arch)의 스캔 선택을 설정하여 스캔을 시작하였다. 비접촉방식의 치과용 스캐너는 피사체에 반사된 optical source를 점과 면으로 인식하여 합성한 점과 면을 연결하여 계산한 후 완전한 모형의 형성을 얻는 방식이다. 추가로 데이터가 부족한 부분을 보완하여 완성된 3차원 디지털 모형을 획득하였다.

Table 1. Materials used in this study

Group	Brand name	Manufacturer
WHITE	Freedom HD	DOF Lab, Seoul, Korea
BLUE	Identica hybrid	Medit, Seoul, Korea
RED	D700	3Shape, Copenhagen, Denmark

2. 실험 방법

1) 계측지점 선정

전악 모형의 정확도와 신뢰도를 평가하기 위해 Creed 등(2011)의 연구에서 사용한 계측지점을 참고하여 총 4곳의 측정지점을 선정하였다. 상악 좌측 견치 교두정을 'a' point로 상악 우측 견치 교두정을 'b' point로 상악 좌측 제1대구치 근심협측 교두정을 'c' point로 상악 우측 제1대구치 근심협측 교두정을 'd' point로 정의하였다. 측정한 항목은 다음과 같다.

- 견치간 폭경(a-b) : 좌우 견치 교두정간의 거리. 해부학적인 정의에 따른 견치 교두정을 지정하여 최대한 직선거리를 측정하였다.
- 구치간 폭경(c-d) : 좌우 제 1대구치의 근심설측 교두정간의 거리. 견치간 폭경의 방법과 동일하게 적용하였다.
- 치열궁 장경(a-c, b-d) : 기존 연구(Raberin et al, 1993)의 치열궁 장경은 양측 제 1대구치의 원심면을 연결하는 직선을 가정한 채, 양측 중절치의 절연부의 중점으로부터 이 직선에 수선을 내려 거리를 계측하지만, 가상선을 가정하기 어렵고 또한 부정확하기 때문에 양쪽 견치교두정과 제 1대구치의 근심설측 교두의 직선거리를 측정하여 판단하였다.

선계측 지점을 2방향으로 나누어 가상의 X, Y축으로 지정하기 위해, 교합면이 위로 향하도록 석고모형을 위치 시켰을 때 모형의 frankfort plane에 평행인 수평면(axial plane)상에 전치를 전방, 구치를 후방으로 하는 방향, 즉 전후방 관계는 Y 좌표축으로, 또 같은 수평면상에서 위의 Y 좌표에 수직이 되는 협설 방향은 X 좌표축으로 임의 설정하였다.

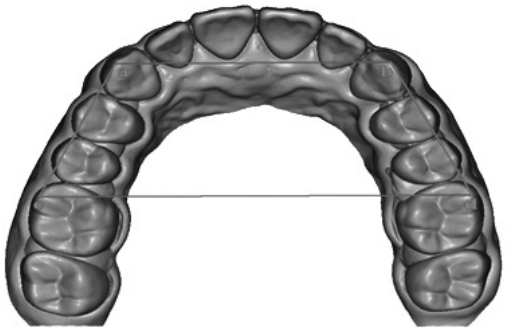

Figure 2. Reference points and linear measurement on the upper master model

2) Digital caliper를 사용한 전통방식의 모형 측정

계측지점은 한 모형에서 4개의 측정지점을 지정하여 각각의 치아간격을 측정하였으며 측정도구는 digital vernier calipers(CD-20PSX; Mitutoyo Corp, Japan)를 사용하였다. 계측지점의 부분을 정확하게 분석하기 위해 stone model을 surveyor table에 고정하여서 측정하였다. 측정결과에 대한 오차를 고려하여 수직, 수평적인 계측항목을 5회씩 반복하여 측정하였다.

3) 전용 소프트웨어를 이용한 디지털 모형 측정

치과용 스캐너를 통해 채득된 데이터는 Delcam Copycad®(Delcam plc, UK)를 사용하여 지정된 각 계측지점의 좌표를 중심으로 직선거리를 측정하였다. 측정전용 소프트웨어 내 메뉴의 'Linear measurement'를 선택하여 디지털 모형에 좌표를 지정한 후 거리를 계산하여 측정값을 도출하였다. 각 실험군 10개의 모형을 동일한 방법을 적용하여 반복 측정하였다.

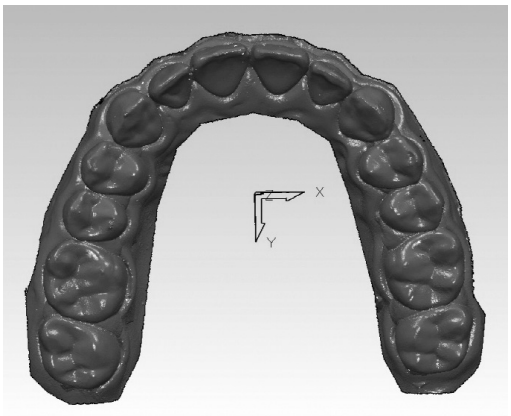

Figure 3. Digital model measurement

3. 통계분석

통계적 유의성을 검증하기 위하여 SPSS Version 12.0 for win(SPSS Inc,. USA)을 이용하였으며, 3종의 광원의 종류에 따른 디지털 모형의 측정값 결과는 평균과 표준편차로 보고되었다. 대상 표본의 모집단이 정규분포하고, 세 집단의 분산이 동질적인 것으로 평가되었으므로 일원분산분석(One-way ANOVA)의 통계기법을 사용하여 결과값 차이의 유의성을 검정하였다. 검정 후 각 군 사이의 통계적 차이를 비교하기 위하여 Tukey 다중범위검정법(Tukey-HSD test)을 사용하였고, 제 1종 오류의 수준은 0.05로 하였다.

Ⅲ. 결 과

주 모형과 다른 방식의 스캐너로 채득된 각 실험군은 X, Y축으로 나누어 계측지점간의 거리를 측정하여 평균과 표준편차로 나타내었다(Table 2). 주 모형과 비교하였을 때 두 실험군 모두 X, Y축의 모든 계측지점에서 작게 계측되었는데 BLUE군, WHITE군, RED군의 순서로 작아지는 경향을 띄었으며 RED군이 주 모형과의 측정값과 가장 큰 차이를 나타내었다. 각 실험군별 동일한 계측지점의 측정값의 차이가 있는지 알아보기 위해 일원분산분석(One-way ANOVA) 검정 결과(Table 3) X, Y축의 모든 계측지점에서 통계적으로 유의한 차이

가 없음이 판명되었고, 적정수준의 안정성은 확보되었다(p>0.05).

Table 2. Mean values and SDs for each dimensions of three types of digital model

Axis		Master		BLUE		WHITE		RED	
		Mean*	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
X	1–2	36.43	0.75	36.36	0.49	36.33	0.46	36.31	0.44
	3–4	59.82	0.51	59.77	0.43	59.73	0.48	59.71	0.55
Y	1–3	33.29	0.57	33.23	0.36	33.22	0.43	33.19	0.37
	2–4	34.17	0.63	34.09	0.54	34.04	0.42	34.01	0.52

Table 3. One-way ANOVA tests for X, Y axis group according to difference color of dental scanner

Axis	Source	Df	Sum of squares	Mean squares	F-ratio	P-value
X	Between groups	3	0.826	0.095	10.787	0.054
	Within groups	36	0.398	0.009		
	Total	39				
Y	Between groups	3	0.655	0.208	19.490	0.071
	Within groups	36	0.315	0.011		
	Total	39				

Ⅳ. 고 찰

특정 사물의 3차원 데이터를 획득하여 CAD 작업을 통해 사용자가 원하는 형상으로 데이터를 조작하는 기술은 오래 전부터 항공, 자동차, 전자와 같은 기계·가공분야에서 많이 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 의료분야에서도 이러한 기술이 많이 활용되고 있고, 특히 치과 보철물 제작에 컴퓨터를 사용한 CAD/CAM 장비의 도입으로 CAD 소프트웨어를 사용하여 수복물의 모양이나 크기를 설계하고 이것을 다시 밀링 머신에 적용시켜 동일한 형태의 수복물을 제작하는 기술이 도입되었다(Delong et al, 2003). 기존의 아날로그적인 치과 보철물 제작 방법은 환자의 구강 인상을 채득하여 인상체를 통해 경석고 모형을 제작 한 후, 지대치 모형에 왁스를 추가하여 납형을 제작, 매몰, 소환 주조, 그리고 다듬질 및 연마하여 완성하는 것이었다. 그러나, 현재에는 이러한 제작방법은 치과용 스캐너를 통해 획득한 작업모형의 정확한 3차원 데이터를 바탕으로 최적의 수복물을 제작하는 방법으로 대체되고 있는 추세이다(Kim et al, 2012).

치과용 스캐너는 크게 접촉식과 비접촉식 두 가지로 분류된다. 현재는 백색광을 이용한 스캐너가 치과기공 임상에서 많이 활용되고 있는 실정이지만, 점차 청색광을 이용한 스캐너로 그 흐름이 바뀌고 있는 실정이고, 적색광을 이용한 스캐너는 점차 사양 되어 가고 있다. 더욱이 선진 외국의 경우에는 치과용 스캐너에 따른 디지털 모형에 대한 다각적 검증이 활발히 이루어지고 있으나(Rodriguez et al, 2009), 국내에서는 아직 구체적 검증이 전무한 실정이다.

본 연구는 색상이 다른 3종의 광원의 치과용 스캐너로 디지털 모형으로 채득한 후 분할된 X, Y축의 계측지점을 전용 소프트웨어를 이용하여 선계측 결과를 통해 디지털모형의 체적 안정성에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 주 모형의 계측값과 비교하였을 때 모든 실험군의 석고모형은 모든 축에서 작게 계측되어지는 경향을 보였다(Table 2). RED군이 주 모형과 계측 값의 차이가 많이 발생됐으며, BLUE군은 가장 적은 차이 값을 보였다. 각 실험군 별 동일한 계측지점의 수치 값의 차이가 있는지 알아보기 위한 일원분산분석(One-way ANOVA) 검정의 시행결과 3종의 각기 다른 색상의 광원으로 채득된 3차원 디지털 모형에서 모든 지점이 통계적으로 유의한 차이가 없음이 판명되었고, 적정수준의 안정성은 확보되었다(p>0.05) (Table 3). 이와 같은 결과는 선행 연구에 비추어 볼 때 유사한 결과라고 볼 수 있는데, 대부분의 선행연구에서 3차원 디지털 모형의 검증은 석고모형과의 계측치 오차를 통해 보고가 되었으며, 유의성 있는 차이를 나타내며 임상적 효용성을 검증하였다. 2003년 Santoro와 그의 동료 연구자들이 발표한 연구결과에 의하면 76개의 치과 교정 진단용 모형에서 개개 치아의 폭경과 치아간 거리를 계측한 결과 디지털 모형이 석고모형에 비해 0.16-0.49mm정도 작게 계측되었다는 보고를 하였으며, 이 수치는 미비한 수치라는 표현으로 임상적 허용도를 판단하였다. 또한 Zilberman 등(2003)이 발표한 연구에서는 석고모형과 디지털모형의 오차는 0.2-0.3mm 내로 존재하며, 이는

환자의 진료나 보철물을 제작하는데 지장이 없을 거라는 주장을 하였는데, 본 연구결과의 타당성을 뒷받침하고 있다.

본 실험의 결과를 토대로 3차원 디지털 모형이 주 모형에 비해 작게 계측된 것은 재료적인 특성이나 치과용 스캐너의 원리와 정밀성에 관련된 요인만은 아닐 것이다. 각 실험군의 체적 안정성을 평가하는데 있어서 측정 전용 소프트웨어를 운용하는 사용자의 숙련도나 지식의 차이도 감안해야 하며, 측정자의 시각적인 차이나 관점에 영향을 받아 본 실험에 결과는 달라 질수 있는 여지가 생긴다. 따라서 본 실험 결과의 일반화에는 일정정도의 한계를 내포한다. 추가적으로 더욱 객관적이며 정확한 측정도구를 사용한 실험이 필요하다 사료되며, 실제 임상에서 사용하는 치과 모형에 대한 연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 현재 임상에서 널리 사용되고 있는 색상이 다른 광원을 지닌 치과용 스캐너로 채득된 디지털 모형의 정확도를 비교평가하기 위해 가상의 2축으로 분할하여 지정된 계측지점의 계측 값을 통해 평가하였다. 그 결과 실험군 모두 통계적으로 적정한 수준의 정확성을 나타내었으며($p>0.05$), 오차 수준이 선행 연구에 빗대어 볼 때 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다. 이와 같은 결과로 비추어 볼 때 전통적인 석고모형과 일치하는 디지털 모형을 재현하기 위해서는 치과용 스캐너의 정밀성이 개선되어야 할 것으로 보인다. 치과 보철물을 제작하는데 있어서 CAD/CAM의 비중이 더욱 높아질 것은 자명하기 때문에 추후 많은 연구를 통하여 개선이 된다면 정밀도가 높은 3차원 디지털 모형의 제작이 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Birmbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. Compend Contin Educ Dent, 29(8), 494-505, 2008.

Christensen GJ. Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. J Am Dent Assoc, 140(10), 1301-1304, 2009.

Creed B, Chung HK, Jeryl DE, James JX, Lee A. Comparison of the accuracy of linear measurement obtained from cone beam computerized tomography images and digital models. Semin Orthod, 17(2), 49-56, 2011.

Delong R, Heinzen M, Hodges JS, Ko CC, Douglas WH. Accuracy of a system for creating 3D computer models of dental arches. J Dent Res, 90, 434-440, 2003.

Kim JH, Kim KB. Evaluation of dimensional stability of digital dental model fabricated by impression scanning method. J Dent Hyg Sci, 14, 15-21, 2014.

Kim JH, Kim KB, Kim HT, Kim JE, Kim WC, Kim JH. Reliability, accuracy of evaluations obtained from CEREC AC system digital impression: an in-vitro study. J Korean Acad Dent Tech, 34, 121-128, 2012.

Kim JH, Kim KB, Kim WC, Kim JH, Kim HY. Accuracy and precision of polyurethane dental arch models fabricated using a three-dimensional subtractive rapid prototyping method with an intraoral scanning technique. Korean J Orthod, 44, 69-76, 2014.

Lee KT, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation on the repeatabillty and reproducibility of dental scanner-based digital models. J Korean Acad Dent Tech, 34, 213-220, 2012.

Luthardt RG, Kuhmstedt P, Walter MH. A new

method for the computer-aided evaluation of three-dimensional changes in gypsum materials. Dent Mater, 19, 19-24, 2003.

Mörmann WH, Brandestini M. In: State of the art of CAD/CAM restorations: 20 years of CEREC (Mörmann WH) London. Quintessence, 1-8, 2006.

Persson M, Andersson M, Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM crowns. J Prosthet Dent. 74, 223-229, 1995.

Raberin M, Laumon B, Martin J, Brunner F. Dimensions and form of dental arches in subjects with normal occlusions. Am J Orthod Dentofac Orthop, 104, 67-72, 1993.

Rodriguez JM, Curtis RV, Bartlett DW. Surface roughness of impression materials and dental stones scanned by non-contacting laser profilometry. Dent Mater, 25, 500-505, 2009.

Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. Am J Orthod Dentofac Orthop, 124, 101-105, 2003.

Witkowski S. (CAD-)/CAM in dental technology, Quintessence Dent Technol, 28, 169-184, 2005.

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, 73, 301-306, 2003.