

CEREC® AC system으로 채득된 디지털 인상의 재현성, 정확성 평가에 관한 연구

김재홍, 김기백, 김혜영, 김정애*, 김웅철, 김지환
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공, 엘리시아 치과의원*

Reliability, accuracy of evaluations obtained from CEREC® AC system digital impression: an in-vitro study

Jae-Hong Kim, Ki-Baek Kim, Hae-Young Kim, Jung-Ae Kim*, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim
Dept. of Health Science Specialized in Dental Lab. Science & Engineering, Graduate School, Korea University
Elysia dental clinic*

[Abstract]

Purpose: The aim of this study was to determine the reliability and accuracy of measurements in digital models(CEREC® AC) compared to stone models.

Methods: A master model(500B-1, Nissin Dental Product, Japan) with the prepared upper full arch tooth was used. Conventional impression and then stone model(n=10) were produced from this master model, and on the other hands, digital impressions were made with the CEREC® AC intra-oral scanner(n=10). One examiner measured two times the intercanine, intermolar distance, dental arch length. The stone model were measured using a digital caliper. The t-student test for paired samples and intraclass correlation coefficient(ICC) were used for statistical analysis.

Results: The measurement of two methods showed very good reliability. At the intra-examiner reliability of measurement, ICC at the stone and CEREC® AC model were 0.81 and 0.94. The mean difference between measurements made directly on the stone models and those made on the CEREC® AC model was 0.20-0.28 mm, and was statistically significant(P=0.001).

Conclusion: These in vitro studies show that accuracy of the digital impression is similar to that of the conventional impression. These results will have to be confirmed in further clinical studies.

○Key words : accuracy, CEREC® AC, digital impression, stone model, reliability

교신저자	성명	김 지 환	전화	02-940-2843	E-mail	kjh2804@korea.ac.kr	
	주소	서울시 성북구 정릉3동 산 1번지 고려대학교					
접수일	2012. 4. 26		수정일	2012. 5. 26		확정일	2012. 6. 26

I. 서 론

구강 내에서 치아형성 후 인상채득, 모형제작, 왁스 성형에 이은 소환 및 주조에 이르기까지 보철물 제작을 위한 전체의 과정이 간단치는 않지만 지난 100여 년의 세월을 두고 수 없는 시행착오를 거쳐 장기간 사용에 무리가 없는 보철물 제작이 가능한 현재의 수준에 이르게 되었다. 하지만 대부분의 과정이 수작업에 의한 방식으로 진행된다 보니 개인차에 의한 보철물의 질적 차이가 야기될 수밖에 없고, 동일인에 의한 작업 역시 일관성을 견지하기가 여간 어려운 게 아니다. 또한 수작업 과정에서 발생하는 인력과 시간의 소모 역시 기계화에 의한 자동화 과정과 비교했을 때 극복하기 힘든 과제라고 할 수 있다. 이처럼 수작업에서 발생하는 보철물 제작시의 단점들을 해결하고 일관성 있는 양질의 보철물 제작에 관한 필요성이 대두되어 치과 CAD/CAM(computer-aided design/computer-aided manufacture), 즉 기계화에 의한 자동화 기술을 치과계에 도입하는 결과를 낳게 되었다. 디지털 기술의 진보와 치과 CAD/CAM system의 도입은 전통적인 인상채득 방식 및 수작업으로 이루어지고 있는 보철물 제작 방식에 변화의 기회를 제공하였다.

간접법으로 보철물을 제작할 때 치과의사가 구강 내 인상을 채득하는 방법은 수년간 큰 변화가 없었다. 성공적인 수복치료를 하기 위해서, 정밀한 인상채득은 매우 중요한 요소이다. 인상채득 기구와 재료의 발달에도 불구하고, 불명확한 변연 구현, 인상재의 변형가능성, 모형재의 부피변화, 구강 내 타액과 혈액에 의한 오염 등 여러가지 문제점이 있으나, 아직까지는 지배적으로 사용되고 있는 인상채득 방식이다(Christensen, 2005). 이러한 문제점들을 개선하기 위해 Electronic impression device(EID)가 개발되었다. 이 장치는 지대치를 형성한 후 구강스캐너로 치아를 스캔하고 모니터 상에 구현되는 3D모형을 보며 수정작업 및 교합 검토 작업을 마친 후, 직접 보철물을 디자인하여 제작하기도 하고 스캔 데이터를 인터넷 전송 후 CAM으로 모델을 제작한다. 환자에게는 인상채득으로 인한 불편함이 줄어들고 기공소나 기공실에서는 변형되지 않은 정확한 환자의 정보를 받아 볼 수 있고, 시간과 재료의 비용을 상당부분 절약할 수 있는 장점이 있다

(Christensen, 2009). 현재 국내에서 시판되는 EID system은 CEREC[®] AC, iTero[™] 등 2가지 제품이 출시되었으며, 2가지 제품은 다른 방식으로 운용이 되고 있다(Birmbaum et al, 2008). 그 중 국내에서는 CEREC[®] system이 유일하게 in-office CAD/CAM 시스템으로 사용되고 있으며 CEREC[®] 3와 최신 버전인 CEREC[®] AC가 주종을 이루고 있다. CEREC[®] system은 현존하는 in-office CAD/CAM system 중 가장 오랫동안 사용되어진 장비로서 1986년 CEREC[®] 1을 필두로 CEREC[®] 2 및 CEREC[®] 3을 거쳐 2006년 CEREC[®] AC가 가장 최근에 출시되었다. CEREC[®] system은 현재 유럽, 미국, 일본, 호주 등 세계 각지에 가장 널리 사용되고 있으며, 이에 관한 임상 논문이 다수 발표된 것으로 알려져 있다(Mormann, 2006a).

CEREC[®] system으로 수복물 제작의 시작은 디지털 인상의 채득에서 시작된다. 치과용 CAD/CAM system에서 디지털 인상이란 구강 내 치아나 주위의 경조직, 연조직의 이미지의 데이터를 획득하여 합성하여 하나의 이미지로 보철물 제작에 작업 모형을 사용하게 되는 것을 말하는데 이 과정은 intraoral scanner내부에 1cm의 소형의 video camera 렌즈와 256 * 256 픽셀 이상의 CCD(Charge Coupled Device)센서가 내장되어 있어 삭제된 와동의 교합면 부위를 촬영하게 된다. 디지털 인상은 30초 정도로 짧게 소요되는 과정이며, 인상재를 혼합하고 인상재가 경화되는 시간을 고려한다면 시간적인 면에서 매우 유리하다고 할 수 있다(Mormann, 2006^b).

보철물의 정확성은 채득된 인상에 의하여 좌우되므로 디지털 인상 및 모형의 정확성은 보철물의 정확성과 많은 연관성이 있다 할 수 있다. 현재까지 디지털 인상법을 이용하여 제작된 보철물과 기존 방식의 인상채득법으로 제작된 보철물의 적합도를 비교한 많은 연구가 보고 되었는데, 대부분의 연구에서 디지털 인상법을 이용한 보철물의 적합도는 기존 방식의 적합도와 비교하였을 때 임상적으로 적절하다고 평가되고 있다(Tsitrou et al, 2007; Bindl et al, 2003). 그러나 대부분 보철물의 적합도를 측정하여 디지털 모형의 정확성을 평가한 논문이 전부이며, 직접적인 디지털 모형의 정확도에 관한 연구는 전무한 실정이다. 보철물을 제작하는 과정이나 완성하는 기공과정

에서의 변수나 오류에 대한 통제를 완벽히 제어할 수 없기 때문에, 이는 디지털 모형의 실질적인 정확성과는 거리가 있다고 생각이 된다. 반면 치과 교정학 영역에서는 3차원 디지털 모형의 발전과 더불어 그 정확성에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 주로 전통적인 석고 모형과 디지털화 된 모형의 측정치에 대한 오차를 평가하여 검증되었으며, 통계적으로 유의성이 있다고 판명되었으므로 임상적으로 받아들일 수 있는 허용범위의 수치 값으로 평가되었다(Quimby et al, 2004; Ziberman et al, 2003; Stevens et al, 2006).

이에 본 연구는 기존의 석고 모형과 이를 구강 내 스캐너를 통하여 재현된 3차원 디지털 모형의 견치간 폭경 및 구치간 폭경, 치열궁장경의 계측치를 비교함으로써 디지털 모형의 재현성 및 정확성을 평가하고, 더 나아가 석고 모형을 디지털 모형으로 대체할 때 얼마나 그 재현성이 정확한지에 관하여 측정값을 비교하여 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 모형 준비

유치악 자연치를 재현한 아크릴릭 구강모형(500B-1, Nissin Dental Product, Japan)을 기준 모델로 선정하였다. 상악의 결손치가 없고 수복물이 없는 전악의 모형이며, 치아의 배열이나 총생과 간격이 전혀 없는 이상적인 치열이다. 실제 임상에서 발생하는 환자의 데이터와 상이할 수 있으나 치아의 undercut이나 미세한 부위의 scanning의 제약이 생길 수 있는 오차를 사전에 방지하기 위해 선택하였다(Fig. 1).

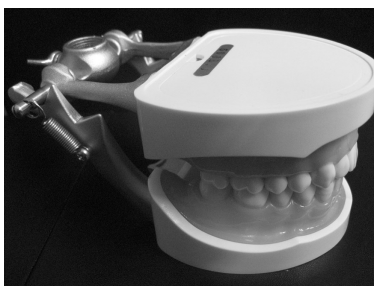


Fig. 1. Master model (500B-1, Nissin Dental Products, Japan)

Stone model 제작을 위해 two-step method으로 vinyl polysiloxane-based material (EXAMIXFINE, GC Corp, Tokyo, Japan) 인상재를 사용하여 복제과정을 진행하였다. 제조사의 지시에 따라 5분후 기준 모델을 분리하고 인상체 내면에 wetting agent를 도포한 후 type IV 치과용 석고(GC Fujirock EP, GC Corp, Belgium)를 제조사의 지시에 따른 혼수비(W/P)로 vacuum mixer system를 이용하여 30초간 혼합한 후 vibrator 상에서 기포가 생기지 않도록 조심스럽게 인상체에 넣어 1시간이 지난 다음 인상체에서 모형을 분리하였다. stone model은 총 10개 제작하였다(Fig. 2).

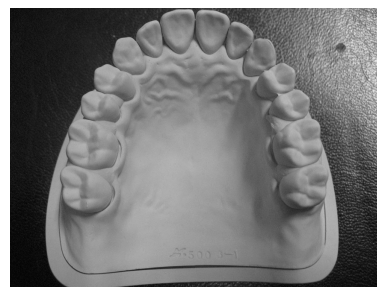


Fig. 2. Stone model

2) 스캔 과정(CEREC® AC model)

디지털 모형으로 전환하여 계측하기 위해 CEREC® Bluecam intraoral scanner를 이용하여 각각 10개의 모형을 모두 scanning 하였다. 스캔 순서는 치아를 중심으로 교합면에서 한 장, 설측 45도 및 협측 45도 각도에서 각각 한 장을 또 근원심에 각각 한 장을 추가하여 총 5장의 데이터를 획득하였다. 스캔 되지 않은 부분은 추가 스캔 과정을 통해 보완하여 full-arch digital impression을 완성하였다. CEREC® system은 스캔 과정 시 전용 TiO₂ powder를 사용하도록 권장하는데, 이때 지나치게 많거나 지나치게 적은 파우더가 도포되면 디지털 인상의 정확성은 저하되고 높은 재현성을 기대하기 어렵게 된다. 그리하여 stone model과의 동일한 실험 조건을 맞추기 위해 powdering을 배제하기로 하였다. CEREC® AC model도 stone model과 마찬가지로 동일한 개수의 자료를 채득하였다.

2. 계측지점 선정

기존 모델의 full-arch 정확도와 재현성을 평가하기 위해 Rabin 등(1993)의 연구에서 사용한 계측지점을 참고하여 총 4곳에 측정 지점을 지정하였다. 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(Fig. 3) (Table 1).

측정한 항목은 다음과 같다.

- 견치간 폭경(A-B): 좌우 견치 교두정간의 거리. 해부학적인 정의에 따른 견치 교두정을 지정하여 최대한 직선 거리를 측정하였다.
- 구치간 폭경(C-D): 좌우 제1대구치 근심협측 교두정간의 거리. 견치 폭경의 방법과 동일하게 적용하였다.
- 치열궁 장경(A-C, B-D): 기존 연구의 치열궁 장경은

양측 제1대구치의 원심면을 연결하는 직선을 가정한 채 양측 중절치의 절연부의 중점으로부터 이 직선에 수선을 내려 거리를 계측하지만, 본 연구에서는 digital caliper를 이용하기에 가상선을 가정하기 어렵고 부정확하기에 양측 견치교두와 제1대구치의 근심협측 교두의 직선거리를 측정하여 판단하였다.

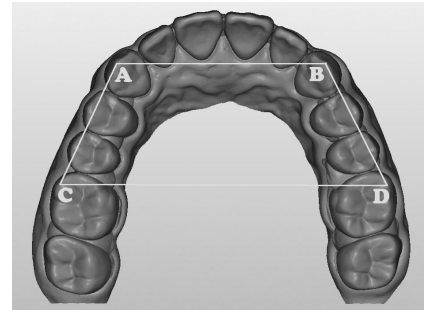


Fig. 3. Reference points and linear measurements on the master model

Table 1. Measurement definitions

Reference point	Measurement	Definition
A - B	Inter canine Distance	Straight distance between the crown tips of the canines
C - D	Intermolar Distance	Straight distance between the mesiobuccal cusp tip of the 1stmolars
A - C	Dental arch length(Left)	Straight distance between the left canine cusp tip and left 1stmolar mesiobuccal cusp tip
B - D	Dental arch length(right)	Straight distance between the right canine cusp tip and right 1stmolar mesiobuccal cusp tip

3. 계측지점 측정

Stone model의 실측은 0.02mm 오차범위를 갖는 digital caliper(CD-20PSX, Mitutoyo Corp, Japan)을 사용하였다. 계측지점의 부위를 정확하게 접근하기 위해 surveyor table을 모델에 고정하여 측정하였다. 정확한 측정을 위해 선행연구(Asquith et al, 2007)에서 사용하였던 방법을 참조하여 계측지점을 각 부위별 정의에 따라 0.1mm water pen을 이용하여 미리 표시를 해두었다(Fig. 3). CEREC® AC model의 측정은 CEREC® Bluecam intraoral scanner를 이용하여 각각 10개의 모형을 스캔하였다. 측정은 CEREC® 3D software V3.65(Sirona Dental system, Germany)의 거리 측정

도구를 사용하여 자료에 좌표를 지정한 후 두 좌표간의 거리를 계산하여 측정값을 도출하였다(Fig. 4).



Fig. 4. Stone model measurement

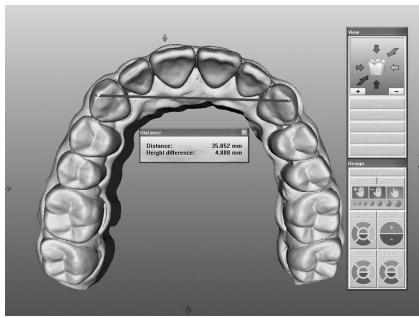


Fig. 5. CEREC® AC model measurement

4. 분석방법

계측 시 측정자 내의 차이가 있는지 평가하기 위해 실험 대상을 1주 간격으로 다시 측정하고 측정자내 신뢰도는 급내 상관계수(ICC, Intra-class Correlation Coefficient)를 구하였다. 급내 상관계수는 측정자와 측정값 사이의 상호작용이 없다는 가정 하에 이원배치 변량효과모형(two-way random effect model)을 사용하여 산출하였다. 급내 상관계수는 0에서 1까지의 숫자로 신뢰도를 표현하며, 급내 상관계수 1은 완벽한 신뢰도를 의미하고, 1에 가까울수록 신뢰도가 높음을 의미한다. 일반적으로 급내 상관계수 0.20 이하는 매우 낮은 신뢰도(poor reliability), 0.20-0.40 사이는 낮은 신뢰도(fair reliability), 0.41-0.60 사이는 보통의 신뢰도(moderate

reliability), 0.61-0.80 사이는 높은 신뢰도(good reliability), 그리고 0.81-1.00 사이는 매우 높은 신뢰도(very good reliability)로 간주된다(Altman et al, 2001).

반복 측정된 계측치의 정확성을 알아보기 위해 평균, 표준편차 비교와 paired t-test를 시행하였으며, 각 군에서 계측치 차이의 평균값을 구하여 군별 계측 경향을 비교하였다. 모든 통계 처리와 분석은 SPSS 12.0 통계처리 프로그램(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 시행하였으며, 제 1종 오류의 수준은 0.05로 정하였다.

III. 결 과

1. 각 측정항목에 대한 측정자내 재현성 비교

각 모형의 계측 시 측정자내 재현성의 차이가 있는지 평가하기 위해 시행한 급내 상관분석 결과 stone model은 0.81-0.92의 범위를 나타내었고, CEREC® AC model은 0.86-0.94의 범위를 보였다. CEREC® AC model이 stone model 보다 높은 수치의 급내 상관계수로 나타났기에 3D software 상에서 계측하는 방법이 높은 재현성과 반복성을 보여준다 할 수 있다(Table 2).

Table 2. Intra-examiner ICC to evaluate reproducibility of measurements between stone and CEREC® AC model
N=10

measurement (reference point)	stone			CEREC® AC		
	ICC ^a	95% CI ^b		ICC	95% CI	
		Lower	Upper		Lower	Upper
A - B	0.82	0.54	0.93	0.89	0.73	0.95
C - D	0.92	0.62	0.96	0.94	0.71	0.97
A - C	0.86	0.65	0.95	0.86	0.72	0.91
B - D	0.81	0.64	0.88	0.88	0.52	0.94

^a ICC indicates Intra-class Correlation Coefficient

^b CI indicates 95% confidence interval

2. 각 실험군 모형에 대한 정확성 비교

Stone model은 digital caliper를 통하여, CEREC® AC model은 전용 3D software를 사용하여 1주일 간격으로 2회 측정하여 각 계측지점의 계측치의 평균과 표준편차를 구하여 두 실험군의 차이를 기준으로 정확성을 평

가하였다(Table 3). 각 계측지점의 절대오차 값은 0.20-0.28의 범위를 보였다. Stone model에 비해 CEREC® AC model이 비교적 작음을 알 수 있었다. 동일한 계측지점의 수치 값의 차이가 있는지 알아보기 위해 paired t-test의 시행결과, 모든 계측지점에서 통계적으로 유의한

차이를 보였다($P < .05$).

Table 3. Mean value of absolute difference of repeated measurements

N=10

measurement (reference point)	descriptive				absolute difference	paired t-test P-value
	stone		CEREC® AC			
	mean	sd	mean	sd		
A - B	36.16	0.21	35.90	0.15	0.26	0.001
C - D	56.37	0.27	56.10	0.14	0.27	0.001
A - C	22.79	0.23	22.51	0.11	0.28	0.001
B - D	23.01	0.19	23.21	0.11	0.20	0.001

IV. 고 찰

현재 구강 내 디지털 인상채득법은 치과시장에 초기 접목되고 있는 기술이며, 미래의 치의학 분야에 큰 영향을 줄 것으로 기대되는 분야이다. 치과의사는 구강에 소형 카메라를 사용하여 환자의 구강 내 환경을 3차원 이미지로 전환할 수 있고, 채득된 데이터를 영구적으로 보관하여 나중에 필요할 때 자유자재로 사용할 수 있는 장점을 가진다. 전통적인 방법에서는 전악 인상채득과 같이 범위가 넓을 때 전체를 모두 정확하게 채득하는 것이 어려운 반면, 디지털 인상채득법은 잘못된 부분만 추가 스캔의 방식으로 보완할 수 있는 이점 또한 가지고 있다(김재홍 등, 2011). 이 방법을 통해 치과에서 느리고 안정적이지 못한 전통적 인상 채득 방식에서 벗어나 정확한 모형 제작이 가능하다면 환자에게는 적합도가 높은 보철물을 제공할 수 있을 것이다. 어떤 상황에서도 술자의 숙련도에 상관없이 일정한 결과가 나올 수 있는 재현성, 정확성의 연구 데이터가 뒷받침 된다면 디지털 인상채득법으로 인한 CAD/CAM system이 치의학 분야에 있어 중요한 패러다임의 전환을 가져올 것으로 생각된다.

이 연구는 구강 내 인상채득 시스템인 CEREC® AC을 이용하여 디지털 모형으로 채득한 후 지정된 계측지점의 선계측 결과를 통해 기존 방식의 석고모형과 비교하여 그 정확성과 재현성을 평가하였다. 각 실험군의 결과 값의 비교를 통해 정확성 분석에 앞서서 본 실험에서 사용된 측정방법이 적절히 사용되었는지 여부를 판단하기 위해 측정방법의 신뢰도가 검증되어야 한다. 급내 상관계수를

구하여 측정값의 반복성과 신뢰성을 평가하였는데 동일한 계측지점을 선정하여 다른 방법으로 측정된 결과 급내 상관계수는 두 실험군 모두 0.8 이상의 결과를 보였다(Table 2). Lin(1989)은 급내 상관계수가 0.75이상 일 때 임상적으로 허용 가능한 결과라고 보고한 바 있다. 선행 연구에 비추어 볼 때 본 연구에서 사용된 측정방법과는 상관없이 계측결과의 신뢰도는 높은 반복성을 나타낸다고 볼 수 있으며, 임상적으로 충분히 타당한 결과라 할 수 있겠다.

본 연구에서는 견치간 폭경, 구치간 폭경, 치열궁 장경의 계측치를 통해 stone model과 CEREC® AC model의 정확성을 검증하였다. 그 차이는 0.20-0.28mm 정도의 수치를 나타냈으며(Table 3), 각 모형 별 동일한 계측지점의 수치 값의 차이가 있는지 알아보기 위한 paired t-test의 시행결과 모든 지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < .05$). 치과 교정학 연구에서 3차원 진단모형의 검증연구는 주로 석고모형과 디지털 모형의 계측치 오차를 통해 보고가 되었으며, 유의성 있는 차이가 보고되었다. Santoro 등(2003)은 76개의 모형에서 치아폭경과 치아간 거리를 계측한 결과 디지털 모형이 작은 수치를 나타내었다고 보고하였고, 그 차이는 0.16-0.49mm 정도로 미비한 수치라고 보고하였다. 박(2006)의 연구에서는 레이저 스캔 디지털 모형에서 인접면 접촉부의 자료가 소실되는 경향으로 석고 모형에 비해 더 작게 계측되는 결과를 보이며, 0.23-0.36mm의 범위로 보고하여 임상적으로 문제가 없다는 결론을 내었다. 이와 같은 선행연구는 본 연구와 유사한 결과이며, Zilberman 등(2003)의 연구에

서 디지털 모형과 석고모형의 임상허용 가능한 오차범위인 0.2-0.3mm내에 본 실험의 결과 값이 분포하기에 CEREC® AC model의 오차는 임상적으로 수용 가능한 수준이라 사료된다.

석고모형에 비해 CEREC® AC model이 계측지점마다 작게 계측된 것은 디지털 모형의 오차만을 나타내는 것이 아닐 것이다. Digital caliper 사용 시 tip의 위치나 각도 등에 따라 계측치가 변할 수 있고, 반복적인 측정 시 caliper tip에 의해 모형의 손상에 대한 부분도 감안할 수 있다. 또한 시술자의 임상경험이나 숙련도에 따라 구강 내 스캐너를 통한 디지털 모형의 질적인 부분이 좌우될 수 있기 때문이다(Luthardt et al, 2006). 따라서 본 실험 결과의 일반화에는 일정 정도의 한계를 내포한다. 향후 더욱 객관적이고 신빙성 있는 측정도구를 사용한 부가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다. 또한 더욱 세분화된 측정지점이나 실제 임상의 데이터를 접목시킨 연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

구강 내 스캐너를 이용한 디지털 모형(CEREC® AC model)과 기존의 인상채득 방식으로 제작된 석고모형(stone model)의 정확성, 재현성 평가를 위해 4가지 계측 항목을 통하여 분석한 결과 디지털 모형과 석고모형 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 오차 수준이 선행연구에 빗대어 볼 때 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다. 또한 두 지점 사이의 결과뿐만 아니라 모든 지점의 계측결과를 합산하였을 때에도 평균과 표준편차의 값을 감안한다면 임상적 허용오차에 크게 벗어나지 않을 것으로 사료된다. 결론적으로 전악 인상채득을 통한 디지털 모형의 정확성은 검증이 되었으나, 보다 세분화된 측정지점의 설정과 더욱 객관적이며 절대적인 측정도구를 통한 후속연구가 필요하며, 실질적인 보철물 제작에 관련한 디지털 모형의 분석이 뒷받침 되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김재홍, 김지환, 김혜영. 디지털 인상 채득 시 흔히 발생하는 오류에 관한 연구 - CEREC® AC의 사례 중심으로. 대한치과기공학회지, 33(3), 211-218, 2011.
- 박상익. 총생정도에 따른 진단모형의 수작업과 3차원 디지털 작업의 계측치 비교. 고려대학교 임상치의학대학원 교정학과 석사학위논문, 2006.
- Altman DG, Schulz KF, Moher D, Egger M, Davidoff F, Elbourne D. The revised CONSORT statement for reporting randomized trials: explanation and elaboration. *Ann Intern Med*, 134(1), 663-694, 2001.
- Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod*, 29(5), 517-522, 2007.
- Bindl A, Mörmann WH. Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM generated partial crowns. *Eur J Oral Sci*, 111(2), 163-169, 2003.
- Birnbbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent*, 29(8), 494-505, 2008.
- Christensen GJ. The state of fixed prosthodontics impressions: room for improvement. *J Am Dent Assoc*, 136(3), 343-346, 2005.
- Christensen GJ. Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc*, 140(10), 1301-1304, 2009.
- Lin LK. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(3), 255-268, 1989.
- Luthardt RG, Koch R, Rudolph H, Walter MH.

- Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. *J Dent Mater*, 22(4), 69-76, 2006.
- Mormann WH. The evolution of CEREC system. *J Am Dent Assoc*, 137(2), 7S-13S, 2006a.
- Mormann WH. State of the art of CAD/CAM restorations 20 years of CEREC. 1st, Quintessence Publishing Co. Ltd, 1-8, 2006b.
- 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(1), 67-72, 1993.
- Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124(1), 101-105, 2003.
- 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*, 129(2), 794-803, 2006.
- Tsitrou EA, Northeast SE, Van NR. Evaluation of the marginal fit of three margin designs of resin composite crowns using CAD/CAM. *J Dent*, 35(1), 68-73, 2007.
- Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod*, 74(2), 298-303, 2004.
- 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(3), 301-306, 2003.