

Validity, Reliability and Reproducibility of Space Analysis using Digital Model taken via Model Scanner and Intraoral Scanner: An In vivo Study

Seohyun Park¹, Jongsoo Kim², Sohee Oh¹

¹Department of Pediatric Dentistry, Dental Clinic Center, Hallym University Sacred Heart Hospital

²Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

Abstract

The purpose of this study is to evaluate validity, reliability and reproducibility of tooth width (TW), arch length (AL) and arch length discrepancy (ALD) measured on a digital model taken via 3-dimensional model scanner and intraoral scanner compared to a plaster model.

A total of 30 patients aged 12 to 18 were eligible for the study. 3 types of models were acquired from each patient: a conventional plaster model (P), a model scanned digital model (MSD) taken via Freedom UHD[®] and an intraoral scanned digital model (ISD) taken via CS3600[®] in-vivo. The reliability of TW and AL in each group was evaluated using Pearson's correlation coefficient, while the reproducibility was evaluated with intraclass correlation coefficient. The validity of space analysis was assessed by paired t-test.

As a result, all measurements of P, MSD and ISD groups showed favorable reliability and reproducibility. Most of measurements for space analysis in MSD group and TW in ISD group also presented high validity. AL and ALD presented statistically significant difference between P and ISD group. The validity of measurements of space analysis in ISD group was short in doubt to valid, but clinically acceptable. Both MSD and ISD are clinically acceptable to use for space analysis but clinician should be aware that errors can be found using a digital model.

Key words : Model scanned digital model, Intraoral scanned digital model, Digital measurement, Tooth width, Arch length, Arch length discrepancy

I. 서 론

성공적인 교정치료를 이끌어 내기 위해서 교정 진단 모형의 정확한 분석 및 측정은 중요한 과정이다. 특히 환자의 충생과 공극 정도를 분석하는 것은 치료 계획의 필수적인 조건이며, 치아 근원심 폭경(Tooth width, TW)과 치열궁 길이(Arch length, AL)를

측정하여 치열궁 길이 편차(Arch length discrepancy, ALD)를 분석하는 방식이 추천되고 있다[1]. 표준 교정 진단 모형으로 석고 모형을 사용해 왔으나, 오차를 유발하는 체적 변형과 보관 및 이동시의 높은 손상 가능성 등의 단점이 있어왔다[2,3]. 그에 비해 디지털 모형은 석고 모형에 비해 제작의 용이성, 보관성, 이동성, 장기적인 경제성이 높고 3차원(3 dimensional, 3D) 정보를 즉각

Corresponding author : Sohee Oh

Department of Pediatric Dentistry, Dental Clinic Center, Hallym University Sacred Heart Hospital, 896, Pyengchon-dong, Dongan-gu, Anyang-si, Gyengki-do, 14068, Republic of Korea

Tel : +82-31-380-5973 / FAX : +82-31-380-1726 / E-mail : pedopia@hallym.or.kr

Received February 15, 2020 / Revised March 23, 2020 / Accepted March 2, 2020

적으로 이용하기 쉽게 해준다[4]. 이러한 디지털 모형을 얻기 위해서는 3D 모델 스캐너로 석고 모형을 스캔하는 방법, 구내 스캐너로 구강을 직접 스캔하는 방법과 Cone beam computed tomography (CBCT) 를 통해서 획득하는 방법이 있다.

많은 연구들에서 이미 3D 모델 스캐너로 스캔한 디지털 모형 (Model scanned digital model, MSD)은 표준 석고 모형과 높은 정확도를 보인다고 발표되었다[4-7]. 또한 치아 크기, 악궁의 길이와 폭, Bolton 비율, 악간 교합 등의 다양한 교정 분석들의 타당도도 임상적으로 적절하다고 하였다[5,6,8-10]. 오히려 MSD가 석고 모형보다 실제 치아와 더 정확하다는 결과도 있었다[11]. 디지털 모형으로 MSD를 이용하는 것은 많은 장점을 가져왔지만 언더컷(undercut)과 브라켓 주위의 인상재 변형이나 구토반사 등의 문제들은 석고 모형과 마찬가지로의 단점을 유발하였다. 그러나 구내 스캐너는 이러한 단점을 보완해 줄 수 있어 구내 스캐너로 직접 구강을 스캔한 디지털 모형(Intraoral scanned digital model, ISD)이 빠르게 발전하고 있다. 구내 스캐너는 이전의 데이터와 겹치는 부분을 이용하여 데이터를 이어나가는 원리이므로 스캔 거리가 짧으면 매우 높은 정확도를 보이지만, 악궁 전체는 석고 모형과 중첩하였을 때 비교적 낮은 정확도를 보였고, 이는 보철 분야의 임상적 사용에서는 의문스럽다고 발표되었다 [12-19]. 교정 분야에서도 ISD의 임상적 타당도를 보는 연구들이 진행 되고 있으나, 타당도 이외에 신뢰도와 재현성을 평가한 연구는 거의 드물고 특히 소아 청소년 환자의 MSD, ISD에서 시행한 공간 분석의 타당도를 비교 평가한 연구는 없었다[20-23].

따라서 이 논문은 초기 영구치열기 환자의 MSD와 ISD에서 계

측한 TW, AL와 분석한 ALD 등의 공간 분석 측정값을 석고 모형과 비교하였을 때 임상적으로 적절한 타당도, 신뢰도, 재현성을 가지는지를 평가하여 MSD와 ISD를 공간 분석 모형으로 사용하는 것이 타당한지 평가하는 것이 목적이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 대상

한림대학교 성심병원에 2018년 1월부터 2019년 1월까지 교정 진단을 목적으로 내원한 환자 중 30명을 선정하였다. 해당 환자의 자료 수집에 관하여 한림대학교 성심병원 윤리위원회(Institutional review board, IRB)의 승인을 받아 시행하였다 (IRB number: 2019-08-006-001). 해당 연구 대상의 표본 수는 G power (version 3.010, Franx Faul, Universitat kiel, Germany)에서 유의수준 $\alpha = 0.05$, 95% power, effect size = 0.80로 계산하여 산정하였다. 환자는 만 12 - 18세 사이로 남, 여 각각 15명으로 선정하였으며 연구 대상의 채택 기준은 제1대구치까지 완전하게 맹출하고 수복 및 교정 치료를 시행하지 않은 정상 치열, 구강악안면의 기형이 없는 환자 그리고 치아의 형태, 개수에 이상이 없는 환자로 선별하였다.

2. 연구 방법

Fig. 1에 군에 따른 모형 제작 절차를 도식화 하였다.

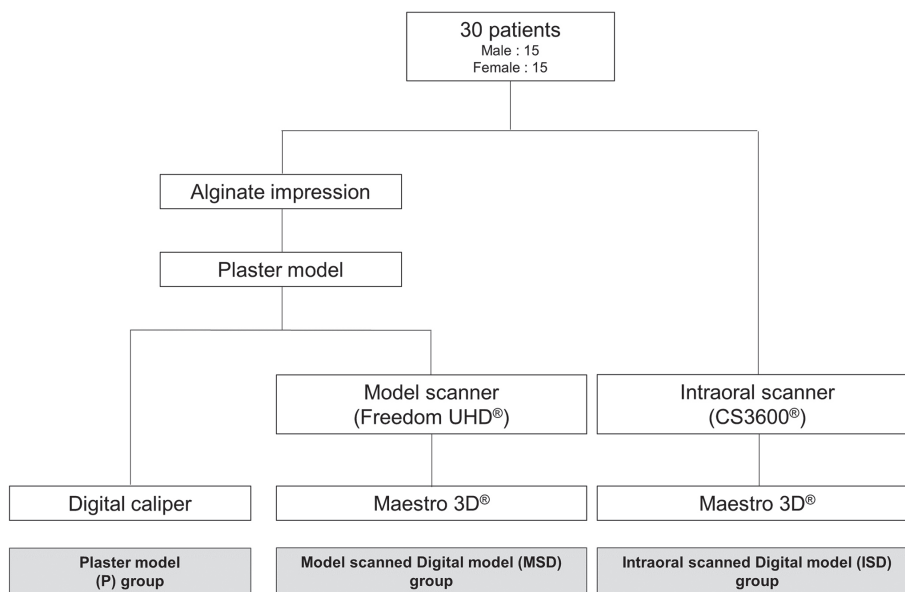


Fig. 1. Illustration of the flow charts of model manufacture with classification of groups.

1) 모형 제작

(1) 석고 모형

알지네이트(Cavex Impressional, Cavex Holland BV, Haarlem, the Netherlands)로 환자에게 인상을 채득하였고, 즉시 치과용 석고(Rhombstone white, Ryoka dental, Mie-Ken, Japan)를 제조사의 방침 상에 맞는 비율로 혼합하여 석고 모형을 제작하였다.

(2) 모델 스캐너로 스캔한 디지털 모형(MSD)

앞의 A에서 제작한 석고 모형을 모델 스캐너를 이용하여 스캔 경험이 충분한 치과의사 한 명이 스캔하였다. Freedom UHD® (Dof Inc., Seongdong-gu, Seoul, Korea)로, 제조사 지침에 따라 같은 날 같은 환경에서 스캔하였다(Fig. 2, 3A).

(3) 구내 스캐너로 스캔한 디지털 모형(ISD)

구내 스캔 경험이 충분한 치과의사 한 명이 CS3600® (Car-estream Dental, Atlanta, U.S.A.)를 이용하여 직접 환자에게 구내 스캔을 시행하였다. 제조사의 지침에 따라 전치부 순면에서 설면으로 스캔 후 좌우측 구치부 방향으로 스캔하였다. 구내 스캐너 소프트웨어는 CS3600® software (version 6.14.7.3, Car-estream Dental, USA)를 사용하였다(Fig. 3B, 3C).

모든 디지털 모형은 제조사의 소프트웨어에서 승인된 Stereolithography Language (STL) 파일 형식으로 저장하였다(Fig. 3B, 3D).

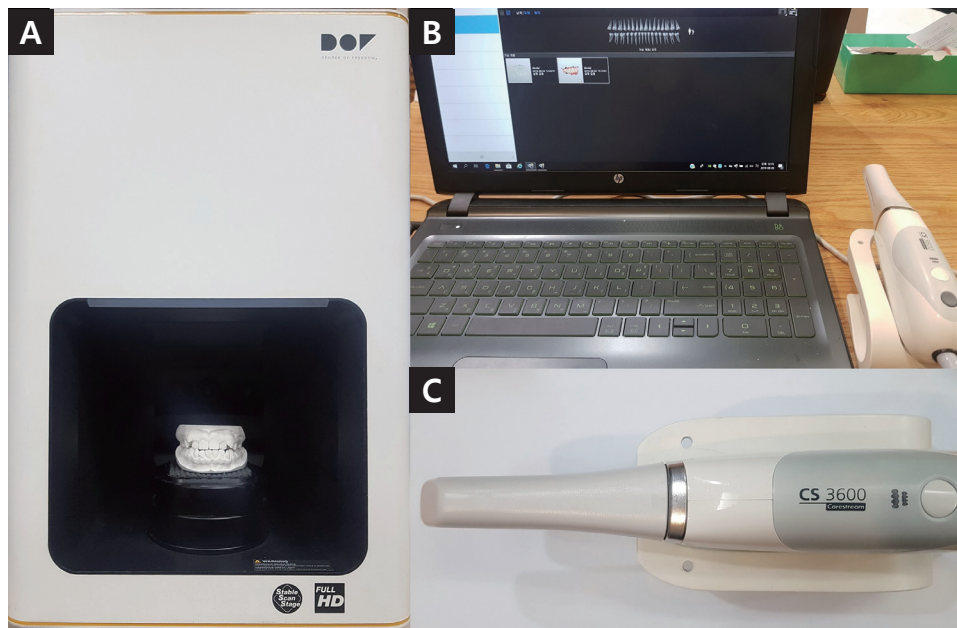


Fig. 2. Model scanner and intraoral scanner. (A) Freedom UHD® (Dof Inc., Seongdong-gu, Seoul, Korea), (B, C) CS3600® (Car-estream Dental, Atlanta, USA).

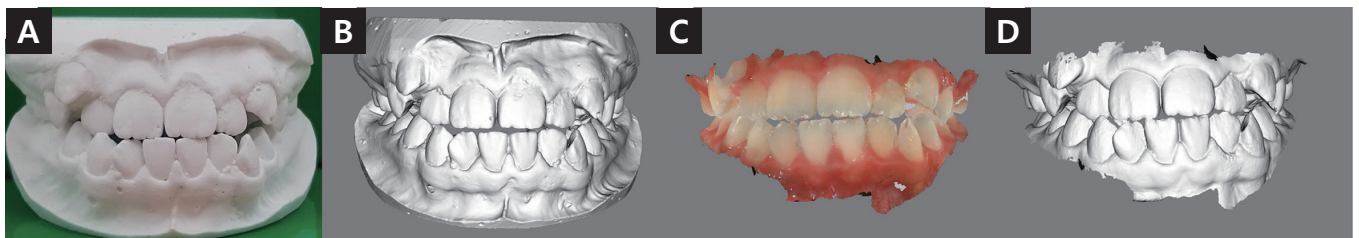


Fig. 3. Plaster model and scanned images: scanned by model scanner and intraoral scanner. (A) Plaster model, (B) Scanned images by Freedom UHD®, (C) Scanned OBJ (Object code) file format images by CS3600®, (D) Scanned STL file format images by CS3600®.

2) 모형 측정

(1) 모형 측정 방법

측정법을 충분히 교육받은 4명의 치과의사가 측정을 시행하였다. 측정자 A는 2주의 간격을 두고 2번 측정하였다. 석고 모형의 경우 버니어 캘리퍼스(Vernier calipers, CD-20PSX, Mitutoyo Corp, Kawasaki, Japan)를 이용하였으며 자체 오차는 0.02 mm 이하이다. 디지털 모형 측정 소프트웨어는 maestro 3D dental studio® (AGE Solutions, Piza, Italy)를 사용하였다. 측정은 0.01 mm 단위로 시행하였다.

(2) 모형 분석 기준

모형 분석 기준의 정의는 다음과 같다. AL과 ALD는 악궁 별로 분석하였다.

① 치아 근원심 폭경(Tooth width, TW)

TW는 근원심 최대 풍융부 사이의 폭경으로 모든 치아에서 측정하였다. 디지털 모형에서는 최대 풍융부 계측점을 설정 후 해당 계측점을 포함하는 관상 절단면에서 추가적으로 정밀하게 조정하였다(Fig. 4A - 4C).

② 치열궁 길이(Arch length, AL)

총 AL는 전치부 치열궁 길이(Anterior arch length, AAL), 좌측 구치부 치열궁 길이(Left arch length, LAL)와 우측 구치부 치열궁 길이(Right arch length, RAL)의 합으로 정의하였고, 교합평면에 평행하도록 측정하였다. AAL는 좌우측 각각의 견치 근심부터 중절치 근심 최대 풍융부간의 중앙까지의 거리의 합으로 정의하

고, LAL과 RAL은 각각 해당측 견치 근심부터 제1대구치의 근심의 최대 풍융부까지의 길이로 정의하였다(Fig. 4D, 4E).

③ 치열궁 길이 편차(Arch length discrepancy, ALD)

각 악궁의 총 AL는 수용 공간(Available space, AS), 제2소구치부터 반대편 제2소구치까지의 TW의 합을 요구 공간(Require space, RS)으로 정의하여, AS와 DS의 차이를 ALD로 정의하였다.

3) 통계 분석

수집된 자료는 IBM SPSS Statistics (Version 24.0, IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)로 전산통계 처리하였다. Fig. 5에 통계 분석 및 평가 항목에 대한 전반적인 도식을 나타냈다. 각각의 평가 항목은 다음과 같이 통계 처리하였다.

(1) 신뢰도 평가(Reliability)

측정자 A가 2번 측정한 TW, AAL, LAL, RAL으로 Pearson 상관 분석(Pearson's correlation coefficient)을 시행하였다. 유의 수준은 $p < 0.0001$ 으로 검증하였다.

(2) 재현성 평가(Reproducibility)

신뢰도를 평가 한 후 측정자 A, B, C, D가 각각 측정한 TW과 AL의 균간 상관 분석(Intraclass correlation coefficient, ICC)으로 재현성을 평가하였다. $ICC \geq 0.9$ 는 excellent, $0.9 > ICC \geq 0.75$ 는 good, $0.75 > ICC \geq 0.5$ 는 moderate, 그 이하는 poor로 평가하였다.

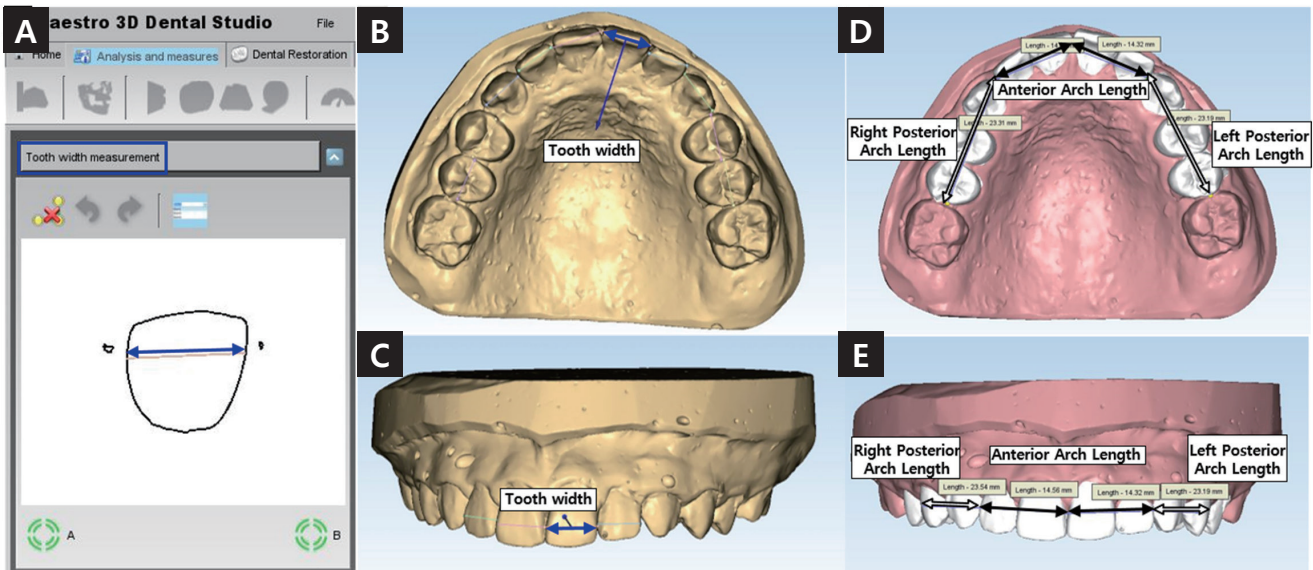


Fig. 4. Measurement of mesiodistal width of tooth and arch length. (A) coronal section view of the tooth for measurement of greatest mesiodistal width by maestro 3D®, (B, C) Tooth width: occlusal and anterior view, (D, E) Arch length: occlusal and anterior view.

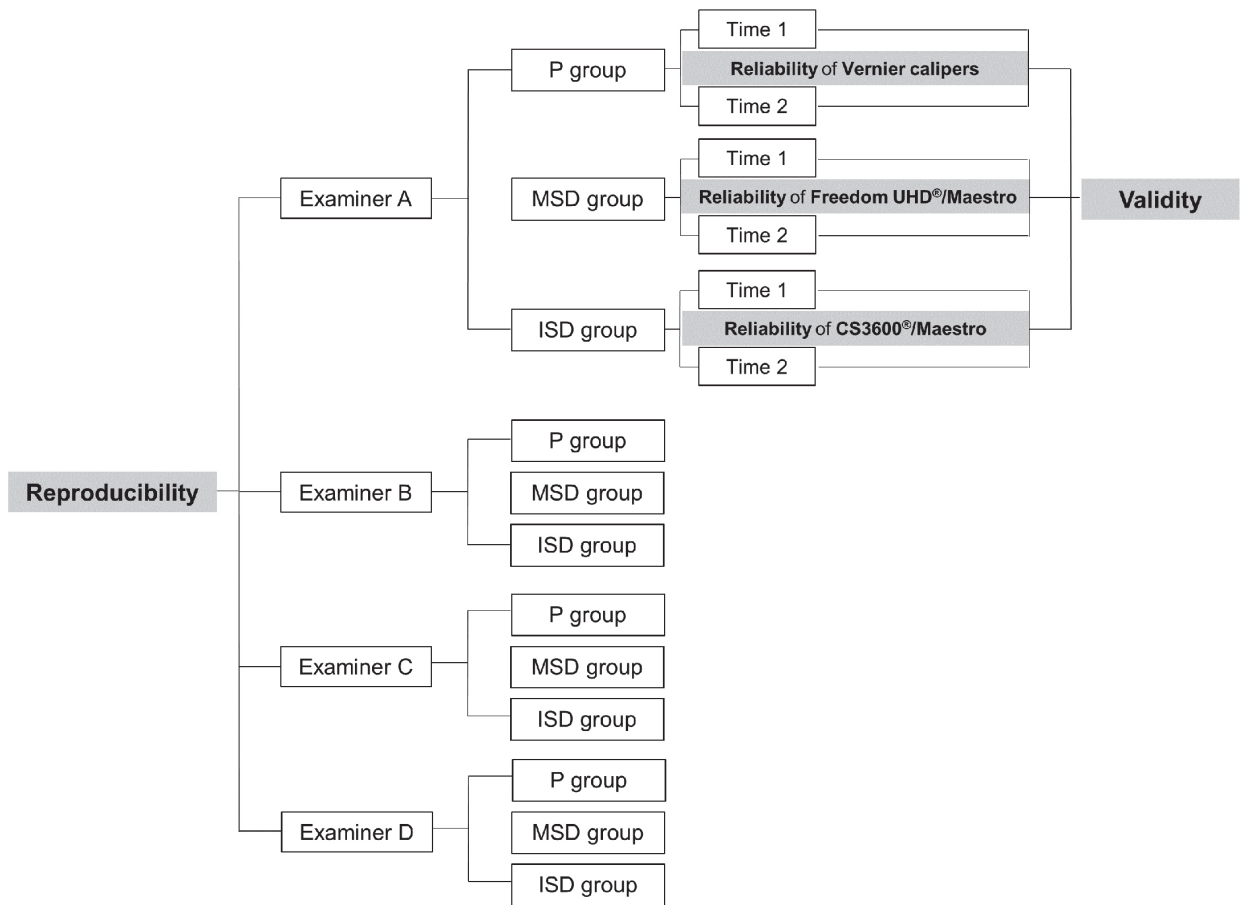


Fig. 5. Schematic illustration of the evaluations used the measurements of 4 examiners.

(3) 타당도 평가(Validity)

신뢰도와 재현성이 확인되었으면 MSD군과 ISD군에서 측정된 TW, AL, ALD 등의 공간 분석 측정값들의 타당도를 평가하기 위해 MSD군과 ISD군 각각 P군의 측정값과의 차이값을 계산하여 대응표본 t검정(paired t-test)을 시행하였다. 대표값은 측정자 A의 측정값의 첫 번째 측정값으로 채택하였다.

1) TW

측정자 A가 측정된 TW의 신뢰도는 P군에서 상관계수 0.989 - 0.996, MSD군에서 상관계수 0.996 - 0.999 그리고 ISD군에서 0.992 - 0.998이었으며 세 군 모두에서 TW 측정에 높은 신뢰도를 보였다($p < 0.0001$). P군에서 가장 낮은 신뢰도를 보인 치아는 하악 좌측 중절치, MSD군에서는 하악 우측 중절치, ISD군에서는 하악 좌우측 중절치였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 신뢰도 평가(Reliability)

측정자 A의 모든 측정값에서 높은 신뢰도를 보였다(Table 1, $p < 0.0001$).

2) AAL, LAL, RAL

측정자 A가 측정된 AAL, LAL, RAL의 신뢰도는 P군에서 상관계수 0.989 - 0.998, MSD군에서 상관계수 0.991 - 1.000 그리고 ISD군에서 0.982 - 0.996였으며, 세 군 모두에서 AL 측정에 높은 신뢰도를 보였다($p < 0.0001$). MSD군에서는 하악 AAL의 신뢰도

Table 1. Reliability of tooth widths and arch length on each group

Verification	P group		MSD group		ISD group	
	coefficients	<i>p</i> value	coefficients	<i>p</i> value	coefficients	<i>p</i> value
#15	0.993	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#14	0.993	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#13	0.996	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#12	0.993	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#11	0.996	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.992	<0.0001 ^a
#21	0.993	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#22	0.994	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a	0.995	<0.0001 ^a
#23	0.994	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a
#24	0.994	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#25	0.994	<0.0001 ^a	0.999	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#35	0.990	<0.0001 ^a	0.999	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#34	0.995	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#33	0.991	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#32	0.996	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#31	0.989	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a	0.992	<0.0001 ^a
#41	0.995	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a	0.992	<0.0001 ^a
#42	0.990	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a	0.994	<0.0001 ^a
#43	0.995	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
#44	0.994	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a
#45	0.994	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a
MxAAL	0.998	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a	0.996	<0.0001 ^a
MxLAL	0.998	<0.0001 ^a	0.997	<0.0001 ^a	0.994	<0.0001 ^a
MxRAL	0.998	<0.0001 ^a	0.991	<0.0001 ^a	0.994	<0.0001 ^a
MnAAL	0.989	<0.0001 ^a	1.000	<0.0001 ^a	0.982	<0.0001 ^a
MnLAL	0.995	<0.0001 ^a	0.998	<0.0001 ^a	0.984	<0.0001 ^a
MnRAL	0.993	<0.0001 ^a	0.999	<0.0001 ^a	0.984	<0.0001 ^a

Pearson's correlation coefficient (a : $p < 0.0001$)

FDI two-digit notation system is used to identify teeth. P = Plaster, MSD = model scanned digital model, ISD = intraoral scanned digital model, MxAAL = Maxillary anterior arch length, MxLAL = Maxillary left arch length, MxRAL = Maxillary right arch length, MnAAL = Mandible anterior arch length, MnLAL = Mandible left arch length, MnRAL = Mandible right arch length, SD = standard deviation

가 가장 높았지만, P군과 ISD군에서는 하악 AAL의 신뢰도가 가장 낮았다.

2. 재현성 평가(Reproducibility)

측정자 A, B, C, D 간에 모든 측정값에서 유의미한 재현성을 보였다(Table 2).

1) TW

측정자 A, B, C, D가 측정한 TW는 세 군 모두에서 excellent 또

는 good의 재현성을 보였다. P군의 상관계수는 0.763 - 0.915로 상악 우측 견치에서 excellent, 나머지 치아는 good으로 평가되었다. MSD군은 상관계수 0.893 - 0.972로 하악 좌측 중절치를 제외하고 excellent로 평가되었으며, ISD군의 상관계수는 0.842 - 0.957로 상악 우측 중절치, 상악 좌측 측절치 그리고 하악 좌우측 중절치를 제외하고 excellent로 평가되었다. 상관계수 값을 고려해 보았을 때 모두 적절한 재현성이지만, P군보다 MSD, ISD군에서 더 많은 치아가 높은 재현성을 보이는 것으로 평가되었다(Table 2).

Table 2. Reproducibility of tooth widths and arch length on each group

Verification	P group	MSD group	ISD group
#15	0.873 ^b	0.953 ^a	0.945 ^a
#14	0.839 ^b	0.936 ^a	0.920 ^a
#13	0.915 ^a	0.960 ^a	0.910 ^a
#12	0.869 ^b	0.948 ^a	0.925 ^a
#11	0.871 ^b	0.965 ^a	0.848 ^b
#21	0.834 ^b	0.967 ^a	0.945 ^a
#22	0.880 ^b	0.932 ^a	0.883 ^b
#23	0.865 ^b	0.972 ^a	0.957 ^a
#24	0.860 ^b	0.946 ^a	0.922 ^a
#25	0.842 ^b	0.950 ^a	0.934 ^a
#35	0.796 ^b	0.946 ^a	0.938 ^a
#34	0.893 ^b	0.957 ^a	0.935 ^a
#33	0.825 ^b	0.940 ^a	0.915 ^a
#32	0.866 ^b	0.963 ^a	0.926 ^a
#31	0.763 ^b	0.893 ^b	0.842 ^b
#41	0.817 ^b	0.911 ^a	0.845 ^b
#42	0.811 ^b	0.936 ^a	0.907 ^a
#43	0.879 ^b	0.937 ^a	0.915 ^a
#44	0.857 ^b	0.961 ^a	0.944 ^a
#45	0.854 ^b	0.955 ^a	0.934 ^a
MxAAL	0.914 ^a	0.832 ^b	0.628 ^c
MxLAL	0.936 ^a	0.725 ^c	0.724 ^c
MxRAL	0.956 ^a	0.827 ^b	0.753 ^b
MnAAL	0.880 ^b	0.818 ^b	0.774 ^b
MnLAL	0.777 ^b	0.807 ^b	0.583 ^c
MnRAL	0.851 ^b	0.792 ^b	0.554 ^c

Intraclass correlation coefficient
(a : ICC ≥ 0.9, b : 0.9 > ICC ≥ 0.75, c : 0.75 > ICC ≥ 0.5)

2) AAL, LAL, RAL

측정자 A, B, C, D가 측정한 AAL, LAL, RAL는 3군 모두 유의미한 재현성을 보였다. P군의 AAL, LAL, RAL 상관계수는 0.777 - 0.956으로 excellent 또는 good으로 평가되었다. MSD군은 전, 구치부 AL 상관계수 0.755 - 0.832로 모두 good, ISD군의 전, 구치부 AL 상관계수는 0.554 - 0.753으로 moderate 또는 good으로 평가되었다. ISD군의 하악 LAL, RAL의 재현성이 moderate로 가장 낮은 수준으로 평가되었다(Table 2).

3. 타당도 평가(Validity)

1) TW

(1) MSD군

하악 좌측 견치, 제1소구치를 제외하고 모든 치아에서 P군에 비해 크게 측정되었다. P군과의 오차의 평균 값은 -0.123 - 0.001 mm의 범주를 보였다. 표준편차는 0.196 - 0.278의 범주를 보였다. 그 중 유의한 오차가 없이 비슷하게 측정되는 것으로 보이는 치아는 상악 좌우측 중절치, 상악 우측 측절치와 견치, 하악 좌우측 측절치, 하악 좌측 견치와 제1소구치였다. 절대적으로 가장 큰 오차를 보인 치아는 상악 우측 제1소구치였다(Table 3).

(2) ISD군

상악 우측 중절치와 견치, 상악 좌측 측절치, 하악 좌측 견치와 제1소구치를 제외하고 모든 치아에서 P군에 비해 크게 측정되었다. P군과의 오차의 평균 값은 -0.106 - 0.078 mm의 범주를 보였다. 표준편차는 0.197 - 0.342의 범주를 보였다. 그 중 유의한 오차가 없고 비슷하게 측정되는 것으로 보이는 치아는 상악 좌우측 중절치와 측절치, 하악 좌우측 중절치, 측절치, 견치와 제2소구치, 하악 좌측 제1소구치였다. 절대적으로 가장 큰 오차를 보인 치아는 상악 좌측 제1소구치였다(Table 3).

2) AL

(1) MSD군

P군과의 오차의 평균값은 상악 AAL 0.013 mm, 하악 AAL 0.060 mm으로 P군과 유의한 차이가 없이 비슷하게 측정되었으나, 상하악 LAL, RAL의 P군과의 오차 평균값은 -0.209 - -0.136 mm로 모든 측정값에서 유의하게 크게 측정되었다(Table 3, $p < 0.05$). 총 AL에서는 상악에서 -0.399 mm, 하악에서 -0.236 mm의 오차를 보였으나 유의하지 않았다(Table 4).

(2) ISD군

P군과의 오차의 평균값은 상악 AAL 0.389 mm, 하악 AAL 0.270 mm으로 P군과 비교하였을 때 유의하게 크게 측정되었으나, 상하악 LAL, RAL의 P군과의 오차 평균값은 -0.136 - 0.133 mm로 모든 측정값에서 유의한 차이 없이 비슷하게 측정되었다(Table 3). 총 AL에서는 상악 0.519 mm, 하악 0.523 mm의 오차를 보여 기존의 P군에 비해 ISD군에서 측정한 총 AL는 유의하게 작게 측정되었다(Table 4, $p < 0.05$).

3) ALD

(1) MSD군

P군과의 오차의 평균 값은 상악은 0.250 mm, 하악은 0.221 mm를 보였으며, 기존의 P군과 MSD군에서 분석한 ALD 사이에는 상하악 모두 유의한 차이가 없었다(Table 4).

Table 3. Validity of tooth widths and arch length using each digital model

Verification	P - MSD			P - ISD		
	Mean	SD	<i>p</i> value	Mean	SD	<i>p</i> value
#15	-0.088	0.223	0.000***	-0.096	0.297	0.001**
#14	-0.123	0.250	0.000***	-0.105	0.296	0.000***
#13	-0.075	0.222	0.000***	0.078	0.293	0.004**
#12	-0.042	0.216	0.037*	-0.007	0.231	0.747
#11	-0.023	0.197	0.207	0.028	0.317	0.340
#21	-0.033	0.226	0.116	-0.011	0.254	0.358
#22	-0.034	0.258	0.150	0.002	0.282	0.954
#23	-0.040	0.239	0.068	-0.056	0.270	0.024*
#24	-0.107	0.226	0.000***	-0.106	0.251	0.000***
#25	-0.086	0.255	0.000***	0.060	0.271	0.008**
#35	-0.061	0.251	0.009**	-0.017	0.312	0.542
#34	0.001	0.218	0.947	0.020	0.264	0.418
#33	0.001	0.265	0.959	0.035	0.319	0.227
#32	-0.034	0.196	0.056	-0.033	0.197	0.070
#31	-0.061	0.200	0.001***	-0.008	0.268	0.731
#41	-0.063	0.202	0.001***	-0.026	0.222	0.201
#42	-0.039	0.242	0.082	-0.008	0.264	0.751
#43	-0.070	0.278	0.007**	-0.032	0.342	0.310
#44	-0.062	0.225	0.003**	-0.056	0.280	0.032*
#45	-0.070	0.260	0.004**	-0.029	0.275	0.259
MxAAL	0.013	1.244	0.908	0.389	1.497	0.005**
MxLAL	-0.204	0.882	0.013*	0.076	1.094	0.451
MxRAL	-0.209	1.119	0.043*	0.045	1.085	0.146
MnAAL	0.060	1.055	0.535	0.270	1.046	0.006**
MnLAL	-0.136	0.832	0.015*	0.133	1.178	0.219
MnRAL	-0.160	0.730	0.018*	0.120	0.844	0.121

paired t-test (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$, unit = mm)

Table 4. Validity of space analysis using each digital model

Verification		P - MSD			P - ISD		
		Mean	SD	<i>p</i> value	Mean	SD	<i>p</i> value
Maxilla	AS(AL)	-0.399	2.328	0.063	0.519	2.695	0.000*
	RS	-0.649	1.120	0.000*	-0.233	1.234	0.197
	ALD	0.250	2.410	0.257	0.752	3.084	0.009*
Mandible	AS(AL)	-0.236	1.641	0.118	0.523	2.070	0.007*
	RS	-0.456	1.191	0.000*	-0.153	1.351	0.216
	ALD	0.221	1.789	0.179	0.676	2.390	0.002*

paired t-test (* : $p < 0.05$, unit = mm)

AS=Available space same mean as arch length, RS= Required space same mean as sum of tooth widths, ALD= Arch length discrepancy

(2) ISD군

P군과의 오차의 평균 값은 상악은 0.752 mm, 하악은 0.676 mm를 보였으며, ISD군의 ALD는 상하악 모두 P군에 비해 유의하게 작게 측정되었다(Table 4, $p < 0.05$).

IV. 총괄 및 고찰

모형 채득 시 구내 스캐너는 언더컷(undercut)을 유발하는 구강 내 구조, 교정장치, 구토감, 두꺼운 연조직 등의 기존의 인상재에 비해 정확한 인상 채득이 어려운 경우 적용하기 좋다[7,17,24]. 특히 소아 환자들에게 인상재를 이용한 인상 채득은 구토 반사나 불안감을 유발하여 불편감을 주는데 비해, 구내 스캐너를 이용하는 경우 비교적 편안하게 느끼게 해준다고 알려져 있다[13,17,25,26]. 최근 들어 이상적인 외모 및 치열의 심미적 중요성이 대두됨에 따라 일찍이 교정을 시작하는 소아 교정 환자들의 비중이 증가하고 있는데, 불편감을 줄여줄 수 있는 구내 스캐너를 사용한 인상 채득은 교정 진단 및 치료에 더욱 의미가 있을 것이다[24,25]. 또한 ISD는 바로 디지털화 되어 저장되기 때문에 유지 장치나 투명 교정 장치 디지털 셋업으로 진행되는 시간을 단축시킬 수 있고, 오차가 발생 될 수 있는 인상 단계를 줄일 수 있을 것으로 보인다[21,27].

진단 모형의 길이 계측은 인접치의 접촉 여부, 치아의 언더컷(undercut), 주변 장치 혹은 연조직 등의 요인에 영향을 받는다. 석고 모형을 계측할 때 사용하던 버니어 캘리퍼스를 이용한 접촉식 측정의 경우 정밀도는 더 높지만 측정 범위가 넓거나 측정 위치가 변형되기 쉬울 때, 측정 부위가 복잡하거나 도달하기 어려운 경우에는 정밀도가 떨어지기 때문에 오히려 비접촉식 측정 방법을 사용하는 것이 좋다. 디지털 모형 측정은 비접촉식 방법으로, 심한 총생이나 교정 장치 등으로 버니어 캘리퍼스로 접촉하기 어려운 부분을 도달할 수 있으며 3차원적인 치축 각도 등을 가시적으로 판단할 수 있어 정확하게 측정이 가능하다[28]. 또한 구개궁 깊이, 변연용선 사이의 높이 차이, 치아 사이의 각도 계산, 수직 피개, 수평 피개 등 기존의 버니어 캘리퍼스로는 정확하지 않은 3D 측정에서 더 정확한 측정을 할 수 있다. 디지털 측정은 초반의 상당한 학습 곡선과 조정 기간이 필요할 수 있지만 결과적으로는 환자와 임상가 모두에게 상당한 시간을 절약할 수 있다는 장점까지 존재한다[13,17]. 또한 측정을 시행한 계측점을 기록으로 남길 수 있어서, 추후 재 측정 시 도움이 될 수 있다.

이 연구 결과에서는 maestro 3D dental studio®의 사용은 기존의 버니어 캘리퍼스에 비하여 TW 측정에 높은 신뢰도와 재현성이 높은 결과를 보여주었다. 특히 재현성에서 높은 결과를 보

였는데, 디지털 측정 프로그램을 통해 계측 시 자동으로 볼 수 있는 관상 절단면 및 3D 치축 등이 임상가의 계측점 설정을 일정하게 시행하여 석고에 비해서 재현성 높게 측정할 수 있도록 도움을 주는 것으로 생각된다. 이러한 디지털 모형에 CBCT에서 획득한 디지털 모형까지 함께 중첩할 수 있다면 기존의 인상에서 볼 수 없는 치조골에서의 치아 위치와 치근의 각도까지 고려할 수 있어 더 정확한 계측이 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 현재 임상적으로 사용되고 있는 디지털 스캐너들은 레이저의 반사를 이용해 형성하는 원리이므로 인접면과 같은 부분에서는 레이저의 난반사가 유발되어 오차가 증가하고 부정확하게 재현될 수 있다[29,30]. 모델 스캐너의 경우 석고 모형에 일정하게 여러 방향에서 레이저를 조사하고 인접면이나 노이즈가 발생하는 부위를 추가적으로 스캔하여 정확도를 높였다. 그러나 석고 모형은 기포나 석고 표면 손상이 쉽게 일어날 수 있으며, 교정 장치나 치간 등 치아 구조로 인한 언더컷(undercut) 부위에서 인상의 변형과 왜곡이 일어나기 쉽다는 문제가 있어서 물리적인 오차가 발생할 수 있다(Fig. 6A, 6C).

디지털 모형은 해당 면을 직접 도달하지 못하면 정확한 계측점으로 설정할 수 없어 기포 내부와 같이 데이터가 존재하지 않는 부위의 측정에 한계가 존재하였다. 이 연구에서도 MSD군의 LAL, RAL에서도 유의미한 차이가 존재하였는데, 이점도 인접면 인상의 오차로 인하여 인접면 계측점의 타당도가 영향을 받기 때문으로 추측되며, 만약 MSD를 사용해야 하는 경우 교합 평면과 평행하게 2차원 치열궁을 형성하여 측정하는 것이 오히려 타당도가 높은 AL 계측값이 나올 것으로 생각된다.

그에 비해 ISD는 석고 모형에서 일어날 수 있는 모형의 표면 손상이나 기포가 많이 발생할 수 있는 브라켓이나 인접면 등에서 손상 없는 디지털 이미지를 채득 할 수 있다(Fig. 6B, 6D). 이 연구 결과에도 ISD군의 TW의 타당도가 가장 높게 나왔으며, TW 정도의 짧은 거리의 정확한 계측은 ISD를 이용한 인접면 및 치아 형태의 변형 없는 인상 채득이 더 중요한 것으로 생각된다. 그러나 ISD군에서 TW는 타당한 데 비해 AL 값에서는 유의미하게 작게 측정 된 것을 볼 수 있었고, 이 원인은 계측점 접근 오류와 같은 디지털 측정 방식의 문제가 아닌 구내 스캔 시 발생한 뒤틀림으로 예상된다. 특히 ISD군의 경우 AAL에서 유의미한 오차가 발생되었는데, 이는 CS3600®의 제조사 스캔 추천 방식이 원인 일 수 있다. 전치부 치열궁을 먼저 디지털 데이터화 하는 과정 중 구내 스캐너의 직선 형태의 헤드 형태 및 크기로 인해 순면에서 설면으로 이동되는 과정이 매끄럽게 진행되지 않아 TW는 비교적 정확하게 채득 되는 반면에 치열궁의 순설 폭경이나 치조골 형태, 교합평면에서 뒤틀림이 발생하여 치열궁 형태나 길이에서 오차가 발생된 것으로 예상된다. 스캔 방식 외에 타

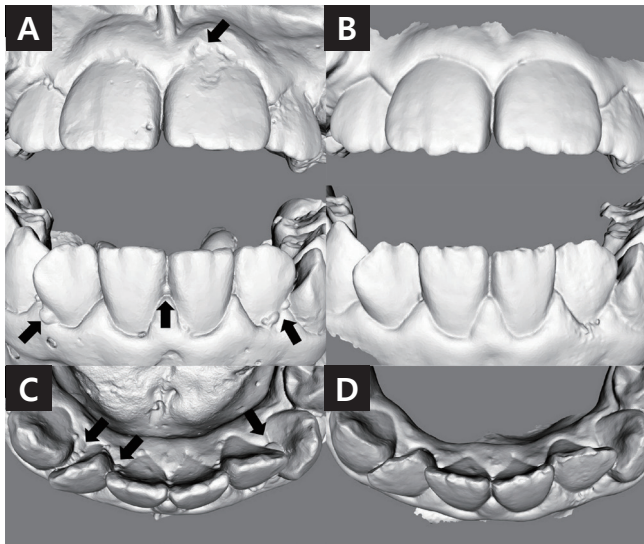


Fig. 6. Proximal surfaces of both digital models. (A, C) Model scanned image by Freedom UHD®. Black arrow shows bubbles and damaged surface from the plaster model. It makes accurate measurement of contact points difficult, (B, D) Intraoral scanned image by CS3600®, No bubbles or damage on proximal surfaces.

액, 주변 연조직, 환자의 협조도와 움직임, 스캐너 헤드의 크기, 채득 시간, 채득 숙련도, 채득 범위 등으로 인한 오차가 발생할 수 있으므로 ISD의 임상적 타당도에 대한 연구는 앞으로도 필요할 것으로 보인다. 또한 이 연구는 직선으로 측정된 계측치로 타당도를 평가하였으나 교합 관계, 악궁 높이, 수직 피개, 수평 피개 등 실제 모형에서 버니어 캘리퍼스로 정확하게 측정하기 어려운 3D 계측의 타당도 연구가 추가적으로 시행되면 좋을 것이다.

ISD군에서 측정된 AL와 ALD는 유의미한 오차가 존재한다는 결과가 나왔지만, 그 오차는 각각 상악에서 0.519 mm, 0.752 mm, 하악에서 0.523 mm, 0.626 mm 정도로, 이는 교정 진단 및 치료에 진단 계획에 유의미한 차이를 가져오는 오차는 아니므로 ISD를 이용하여 공간 분석 측정하는 것은 임상적으로 용인될 수 있다.

MSD의 경우 교정 진단 모형, 전악 및 치조골의 폭경 등 넓은 범위를 측정할 때와 디지털 모형으로 형성하여 보관할 때 사용하는 것이 권장되며 ISD의 경우는 인상 채득의 어려움을 겪는 경우나 치간 및 교정 장치로 인하여 기존의 석고 모형의 오차가 크게 발생될 것으로 예측될 때 사용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

V. 결 론

이 연구는 만 12 - 18세에 해당하는 초기 영구치열기 환자 30명의 MSD, ISD에서 측정된 TW, AL와 분석한 ALD의 타당도, 재현성, 신뢰도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

P군, MSD군, ISD군에서 측정된 TW와 AAL, LAL, RAL는 매우 높은 신뢰도와 적절한 재현성을 보였다. 타당도 평가에서 MSD군의 대부분의 TW, AL, ALD와 ISD군의 TW는 높은 타당도를 보였다. 그에 비해 ISD군의 AL와 ALD는 비교적 낮은 타당도를 보였고, 총 AL는 P군에 비해 평균 상악 0.519 mm, 하악 0.523 mm만큼 유의하게 작았다. ALD는 P군에 비해 평균 상악 0.752 mm, 하악 0.676 mm만큼 유의하게 작았다.

이상의 결과를 종합해보면 TW에는 ISD군이 MSD군에 비해 더 높은 타당도를 보이지만 AL와 ALD는 ISD군이 오히려 낮은 타당도를 보여 유의한 차이가 존재하였다. 그러므로 임상가는 MSD, ISD를 공간 분석에 사용할 때 발생할 수 있는 오차에 대해 인지하고 진단 및 치료를 시행 해야하며, 상황에 적합한 인상 채득 방법을 고려하여 사용해야 할 것이다.

Authors' Information

Seohyun Park <https://orcid.org/0000-0002-0138-7695>

JongSoo Kim <https://orcid.org/0000-0001-8752-332X>

Sohee Oh <https://orcid.org/0000-0003-4801-1334>

References

1. Richter AE, Arruda AO, Sohn W, *et al.* : Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139:657-664, 2011.
2. Crosby DR, Alexander CG : The occurrence of tooth size discrepancies among different malocclusion groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 95:457-461, 1989.
3. Schirmer UR, Wiltshire WA : Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 112:676-680, 1997.
4. Motohashi N, Kuroda T : A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod*, 21:263-274, 1999.
5. 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.
6. Fleming PS, Marinho V, Johal A : Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*, 14:1-16, 2011.
 7. Rossini G, Parrini S, Debernardi CL, *et al.* : Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 149:161-170, 2016.
 8. Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Fischer JR, *et al.* : A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *Angle Orthod*, 71:351-357, 2001.
 9. Santoro M, Galkin S, Cangialosi TJ, *et al.* : Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124:101-105, 2003.
 10. Stevens DR, Flores Mir C, Nebbe B, *et al.* : 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*, 129:794-803, 2006.
 11. Mullen SR, Martin CA, Gladwin M, *et al.* : Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132:346-352, 2007.
 12. Goracci C, Franchi L, Ferrari M, *et al.* : Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod*, 38:422-428, 2016.
 13. Grunheid T, McCarthy SD, Larson BE : Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 146:673-682, 2014.
 14. Jeong ID, Lee JJ, Jeon JH, *et al.* : Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study. *J Prosthet Dent*, 115:755-759, 2016.
 15. Camardella LT, Breuning H, de Vasconcellos Vilella O : Accuracy and reproducibility of measurements on plaster models and digital models created using an intraoral scanner. *J Orofac Orthop*, 78:211-220, 2017.
 16. Malik J, Rodriguez J, Petridis H, *et al.* : Comparison of accuracy between a conventional and two digital intraoral impression techniques. *Int J Prosthodont*, 31:107-113, 2018.
 17. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, *et al.* : Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *Biomed Res Int*, 2018:4103232, 2018.
 18. Tomita Y, Uechi J, Konno M, *et al.* : Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J*, 37:628-633, 2018.
 19. Kihara H, Hatakeyama W, Kondo H, *et al.* : Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res*, 64:109-113, 2020.
 20. Ender A, Attin T, Mehl A : In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*, 115:313-320, 2016.
 21. Zhang F, Suh KJ, Lee KM : Validity of intraoral scans compared with plaster models: An in-vivo comparison of dental measurements and 3D surface analysis. *PLoS One*, 11:e0157713, 2016.
 22. Nedelcu R, Olsson P, Thor A, *et al.* : Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent*, 69:110-118, 2018.
 23. Lee S, Lee JS, Lee KM, *et al.* : Reproducibility of an intraoral scanner: A comparison between in-vivo and ex-vivo scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 154:305-310, 2018.
 24. Jiménez-Gayosso SI, Lara-Carrillo E, Escoffié Ramirez M, *et al.* : Difference between manual and digital measurements of dental arches of orthodontic patients. *Medicine*, 97:e10887, 2018.
 25. Mangano A, Beretta M, Mangano F, *et al.* : Conventional vs digital impressions: acceptability, treatment comfort and stress among young orthodontic patients. *Open Dent J*, 12:118-124, 2018.
 26. Burhardt L, Livas C, Ren Y, *et al.* : Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 150:261-267, 2016.
 27. Ting Shu S, Jian S : Intraoral digital impression technique: A review. *J Prosthodont*, 24:313-321, 2015.
 28. Kim EJ, Hwang HS : Reproducibility and accuracy of tooth size measurements obtained by the use of computer. *Korean J Orthod*, 563-573, 1998.
 29. Flugge TV, Schlager S, Metzger MC, *et al.* : Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144:471-478, 2013.
 30. Gul Amuk N, Karsli E, Kurt G : Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod*, 17:151-158, 2019.

국문초록

모델 스캐너와 구내 스캐너로 획득한 디지털 모형에서 시행한 공간 분석의 타당도, 신뢰도, 재현성 평가

박서현¹ 전공의 · 김종수² 교수 · 오소희¹ 교수

¹한림대학교 의과대학 한림대학교성심병원 소아치과학교실

²단국대학교 치과대학 소아치과학교실

이 연구는 모델 스캐너로 석고 모형을 스캔한 디지털 모형(Model scanned digital model, MSD)과 구내 스캐너로 구강을 스캔한 디지털 모형(Intraoral scanned digital model, ISD)에서 계측한 치아 근원심 폭경(Tooth width, TW)과 치열궁 길이(Arch length, AL)의 신뢰도와 재현성, 치열궁 길이 편차(Arch length discrepancy, ALD) 분석의 타당도를 평가하였다.

만 12 - 18세의 남, 여 30명에게 석고 모형, MSD, ISD를 획득하고, 2번 계측한 TW, AL의 신뢰도는 Pearson 상관 분석, 4명의 재현성은 군간 상관 분석 그리고 TW, AL 및 ALD의 타당도는 대응표본 t검정으로 평가하였다.

결과적으로 모든 군에서 계측한 TW, AL는 높은 신뢰도와 재현성을 보였고 MSD군의 ALD분석은 적절한 타당도를 보였다. ISD 군의 TW는 가장 높은 타당도를 보인 반면에, AL와 ALD분석은 유의미하게 짧게 측정되어 낮은 타당도를 보였으므로 임상가는 디지털 모형을 이용하여 공간 분석 시행 시 이를 고려해야 할 것이다.