

3D 인쇄방법으로 제작된 치과용 다이 모델의 정확도 평가연구

장 연

진주보건대학교 치기공과

A study on the accuracy evaluation of dental die models manufactured by 3D printing method

Yeon Jang

Department of Dental Technology, Jinju Health College

[Abstract]

Purpose: To evaluate the accuracy of the 3D printed die models and to investigate its clinical applicability.

Methods: Stone die models were fabricated from conventional impressions(stone die model; SDM, n=7). 3D virtual models obtained from the digital impressions were manufactured as a 3D printed die models using a 3D printer(3D printed die models;3DM, n=7). Reference model, stone die models and 3D printed die models were scanned with a reference scanner. All dies model dataset were superimposed with the reference model file by the “Best fit alignment” method using 3D analysis software. Statistical analysis was performed using the independent t-test and 2-way ANOVA ($\alpha=.05$).

Results: The RMS value of the 3D printed die model was significantly larger than the RMS value of the stone die model ($P<.001$). As a result of 2-way ANOVA, significant differences were found between the model group ($P<.001$) and the part ($P<.001$), and their interaction effects ($P<.001$).

Conclusion: The 3D printed die model showed lower accuracy than the stone die model. Therefore, it is necessary to further improve the performance of 3D printer in order to apply the 3D printed model in prosthodontics.

● **Key words:** Intra-oral scanner, Precision, Trueness, 3D analysis, 3D printer

Corresponding author	Name	장 연	Tel.	055-470-1842	E-mail	jjyy66@naver.com
	Address	경남 진주시 의병로 51				
Received	2019. 11. 01	Revised	2019. 11. 14	Accepted	2019. 11. 29	

I. 서론

석고모델은 치과분야에서 수년간 진단 및 치료계획 그리고 수복물 제작을 위해 널리 사용되어왔다. 그러나 변형 및 손상의 위험이 있으며 부피가 크므로 저장 및 보관에 어려움이 있었다(Patzelt et al, 2014).

이러한 단점을 극복하기 위해 구강 내 스캐너에서 얻은 3차원(3D) 디지털 모델은 기존의 석고모델의 대안으로 사용될 수 있다. 3D 디지털 모델은 컴퓨터에서 사용하는 파일형태이기 때문에 데이터 보관 및 재사용이 편리하며, 인터넷을 통해 쉽게 전송할 수 있는 장점이 있다(Lee & Gallucci, 2013; Shim et al, 2015). 이러한 3D 디지털 모델은 구강 내 치아에서 직접 데이터를 얻기 때문에 석고 모형제작이 더 이상 요구되지 않는다. 그러나 포세린 캡 제작 후 빌드업을 위해서나 전악 케이스와 같은 복잡한 보철물 제작 시에는 여전히 물리적인 모델이 필요하다(Dawood et al, 2015).

구강 내 스캐너로 채득한 3D 스캔 데이터에서 물리적인 양형의 모델을 제작하는 방법에는 절삭가공방식(Subtractive manufacturing)과 적층가공방식(Additive manufacturing)이 있다. 절삭가공방식은 재료를 깎는 방식이고 적층가공방식은 재료를 한층 한층 쌓는 방식이다. 절삭가공방식은 통법과 비교하여 제작 시간을 단축시켜 단위 시간당 제작할 수 있는 수복물의 수를 증대시켰다. 하지만 이 방법은 절삭방식 특성 상 재료소모가 많고 밀링 축의 한계로 언더컷 재현이 어렵다는 단점이 있다(Liu et al, 2006). 이에 비해 적층가공방식은 최소한의 재료를 쌓아서 원하는 형상을 제작하므로 재료낭비가 없으며, 언더컷 및 복잡한 내부 형상과 같은 미세부위를 재현하는 능력이 뛰어나다(Sun & Zhang, 2012; van Noort, 2012).

적층가공방식은 재료의 특성에 따라 액체, 분말, 필라멘트 기반으로 나뉜다. 본 연구에서는 대표적인 액체 기반 방식인 PolyJet 방식을 사용하여 모델을 제작하였다. PolyJet 방식은 잉크젯 프린터 방식과 유사하지만 종이에 잉크방울을 분사하는 대신 프린팅 베드에 액상의 광경화성 포토폴리머를 분사한 후, UV light로 경화시켜 최종 완성하는 방식이다.

교정분야에서 진단모델로서 3D 프린터 모델의 정확성을 평가한 연구는 있지만 수복물 제작을 위한 지대치 모양의 3D 프린터 모델에 대한 연구는 현재 드물다. 따라서 기존의 전통적인 방식으로 제작된 석고모델과 디지털 인상으로 얻은 3D 데이터를 기반으로 만든 3D 프린터 모델의 정확성(trueness and precision)을 비교하여 평가하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 레퍼런스 모델 제작

본 연구에서는 세라믹 수복물 제작을 위해 지대치 형성된 Frasco 모델(standard working model AG-3, Tettang, Germany)의 상악 우측 제1대구치를 사용하였다. 이 지대치를 실리콘(Deguforn, Degudent, Hanau, Germany)으로 복제한 후 epoxy(Modralit 3K, Dentamid Dreve, Unna, Germany)를 부어서 다이 모델을 제작하였다. 이 모델을 레퍼런스 모델로 지정하고 레퍼런스 데이터를 얻기 위해, Comet LED 3D scanner(Comet L3D; Carl Zeiss, Neubeuern, Germany)로 스캔하였다.

2. 석고 다이 모델 제작

레퍼런스 모델을 polyvinyl siloxane 인상재료(Honigum Light Body, Heavy Body DMG, Hamburg, Hamburg, Germany)를 사용하여 인상 채득 후 type IV 석고(FujiRock; GC, Leuven, Belgium)를 부어서 석고 다이 모델을 제작하였다(n=7). 모델을 1 시간 후에 인상체로부터 분리하고 모델 트리머로 트리밍 한 후 완성하였다. 완성된 모델은 Stone die model(SDM) 데이터를 얻기 위해, 앞서 사용한 레퍼런스 스캐너로 스캔하였다.

3. 3D printed 다이 모델 제작

구강 내 스캐너(CS3500; Carestream Dental, NY, USA)로 레퍼런스 모델을 7번 스캔하였다. 스캔은 잘 훈련된 한 명의 측정자가 제조업체의 지시에 따라 수행하였다. 디지털 인상에 의해 얻어진 3D 모델 파일(STL file)은 PolyJet 3D 프린터(Objet EDEN260V; Stratasys, Ltd., Edina, MN, USA)를 사용하여 3D printed 다이 모델로 제작하였다(n=7). 3D printed die model(3DM)데이터를 얻기 위해 완성된 다이 모델을 레퍼런스 스캐너로 스캔하였다.

4. 3차원 분석

SDM 데이터와 3DM 데이터는 모델의 정확성측정을 위해서 레퍼런스 데이터와 3D 분석 소프트웨어(Geomagic Verify 2015, 3D Systems Inc., Rock hill, SC, USA)를 사용하여 중첩시켰다(Fig. 1). 정확하게 중첩하기 위해 각각의 데이터는 최소한의 크기로 줄여서 불필요한 부분을 제거하였다. 3D 분석 소프트웨어의 best-fit algorithm을 이용하여 모든 데이터를 중첩하였다.

다이 모델의 진도(trueness) 측정을 위해 레퍼런스 데이터와 각 그룹의 모델 데이터세트(marginal, axial, occlusal 그리고 all)를 겹쳐서 평가하였다. 그리고 정밀도(precision) 측정을 위해서는 각 군 (n = 21) 내에 스캔 데이터들을 겹쳐서 평가하였다.

겹쳐진 데이터의 정량적 분석 결과는 자동적으로 RMS(root mean square) 값으로 나타나며,

RMS 값은 다음의 식에 의해 계산되었다.

$$RMS = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}}{\sqrt{n}}$$

여기서 n은 측정된 포인트 수의 합계, $X_{1,i}$ 는 레퍼런스 모델의 측정 지점이며 $X_{2,i}$ 는 각 그룹의 다이 모델을 스캔한 데이터의 측정 지점이다. 즉 두 개의 데이터를 중첩시켰을 때, 두 점 사이의 위치차이를 정량적으로 나타낸 것이다. 이때 각 데이터의 값들의 차이가 양의 값과 음의 값이 둘 다 나타날 수 있으므로 제곱근을 취해서

RMS값을 얻게 된다. 따라서 RMS값이 낮을수록 높은 3차원적 일치성을 나타낸다.

그리고 세분화된 분석을 위해, 3D 분석 소프트웨어(Geomagic Verify 2015, 3D Systems Inc., Rock hill, SC, USA)를 사용하여 다이 모델을 세 부분(occlusal, axial, marginal)으로 나누어 측정하였다.

Occlusal, axial 그리고 marginal 영역은 3차원 데이터가 축에서 교합면쪽과 marginal 쪽으로 각각 가파르게 꺾이는 선을 기준으로 구분하여 나누었다(Fig. 2).

5. 통계분석

측정결과와 통계적 유의성을 알아보기 위해 통계프로그램은 SPSS 소프트웨어(IBM SPSS Statistics, v22.0, IBM Corp)를 사용하였다. 모델 그룹 간의 정확성의 차이를 평가하기 위해 독립표본 T 검정을 사용하였다. 또한 이원분산분석을 사용하여 모델 그룹(SDM, 3DM) 및 영역(occlusal, axial, marginal)사이의 차이와 이들의 상호작용효과를 알아보았다. 사후검정은 Tukey honestly significant difference(HSD) test를 실시하였으며, 통계적 유의 수준은 0.05로 지정하였다.

III. 결과

석고 다이모델과 3D printed 다이 모델의 정확성은 Table 1에 나타나 있다. 석고 다이 모델의 trueness 와 precision는 각각 $15.1 \pm 1.9 \mu\text{m}$ 와 $14.4 \pm 1.1 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 그리고 3D printed 다이 모델의 trueness 와 precision는 각각 $52.2 \pm 3.2 \mu\text{m}$ 와 $29.5 \pm 5.2 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 따라서 석고 다이모델과 3D printed 다이 모델의 정확도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 ($P < .001$).

Occlusal, axial 그리고 marginal 부분에 대한 석고 다이 모델과 3D printed 다이모델의 trueness는 Table 2에 나타나 있다. Table 2를 보면 occlusal, axial 그리고 marginal 부분으로 갈수록 RMS값이 크게 나타났다. 이원분산분석 결과 모델 그룹($P < .001$)과 부분

($P < .001$) 사이에 유의한 차이가 나타났으며, 이들의 상호작용효과($P < .001$)도 나타났다.

Figure 3은 레퍼런스 데이터와 다이 모델 데이터 사이의 차이를 색으로 표현한 색 차이 지도이다. 3D printed 다이모델의 axial과 marginal 부분에서 레퍼런스 모델보다 큰 부분인 빨간색이 나타났으며, occlusal 부분에서는 석고 다이 모델과 유사한 색깔이 나타났다 (Fig. 3A, 3B).

Precision을 살펴보면 석고 다이 모델은 trueness와 비슷한 양상의 색차를 보였으나, 3D printed 다이 모델의 trueness에서는 빨간색이 주로 보였다면 precision에서는 대부분 허용가능 범위 내의 색을 보였다 (Fig. 3C, 3D).

Table 1. Accuracy (trueness and precision) of the stone and 3D printed die model groups (trueness [n = 7], precision [n = 21]).

group	Trueness RMS (μm) (mean \pm SD)	Precision
Stone die model(SDM)	15.1 \pm 1.9	14.4 \pm 1.1
3D printed die model(3DM)	52.2 \pm 3.2	29.5 \pm 5.2
P-value	.001	.001

Table 2. Trueness of the stone and 3D printed die model groups for occlusal, axial and marginal part (n=7).

Part	Stone die model (SDM) RMS (μm) (mean \pm SD)	3D printed die model(3DM)
Occlusal	15.2 \pm 1.2 ^a	30.6 \pm 4 ^a
Axial	16.4 \pm 1.3 ^b	44.7 \pm 4.8 ^b
Marginal	27.9 \pm 2.3 ^c	53.3 \pm 1.4 ^c

P (Group) $<.001$, P (Part) $<.001$, P (Group X Part) $<.001$

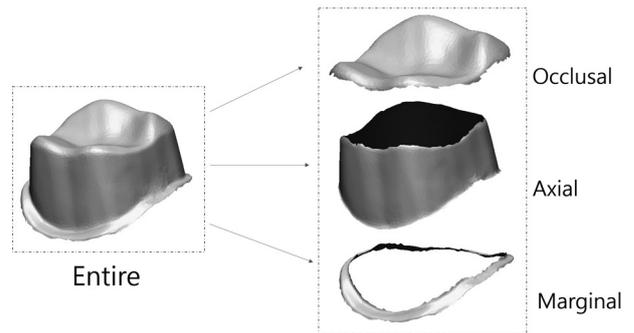


Figure 2. Subdivisions of the die model data.

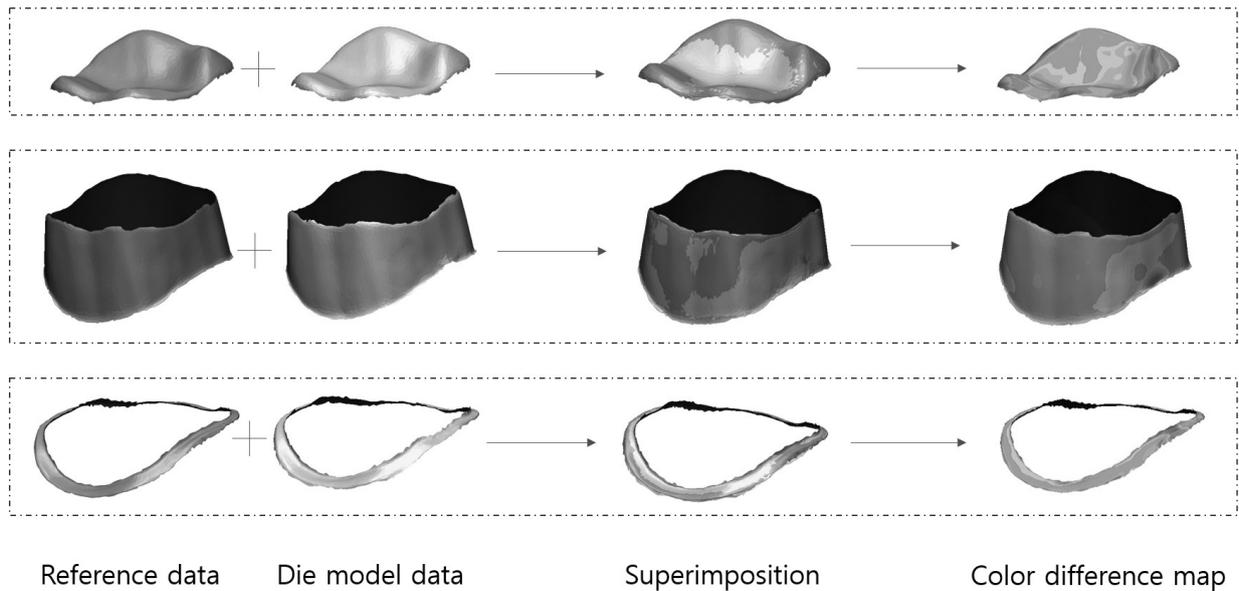


Figure 1. Three-dimensional analysis process

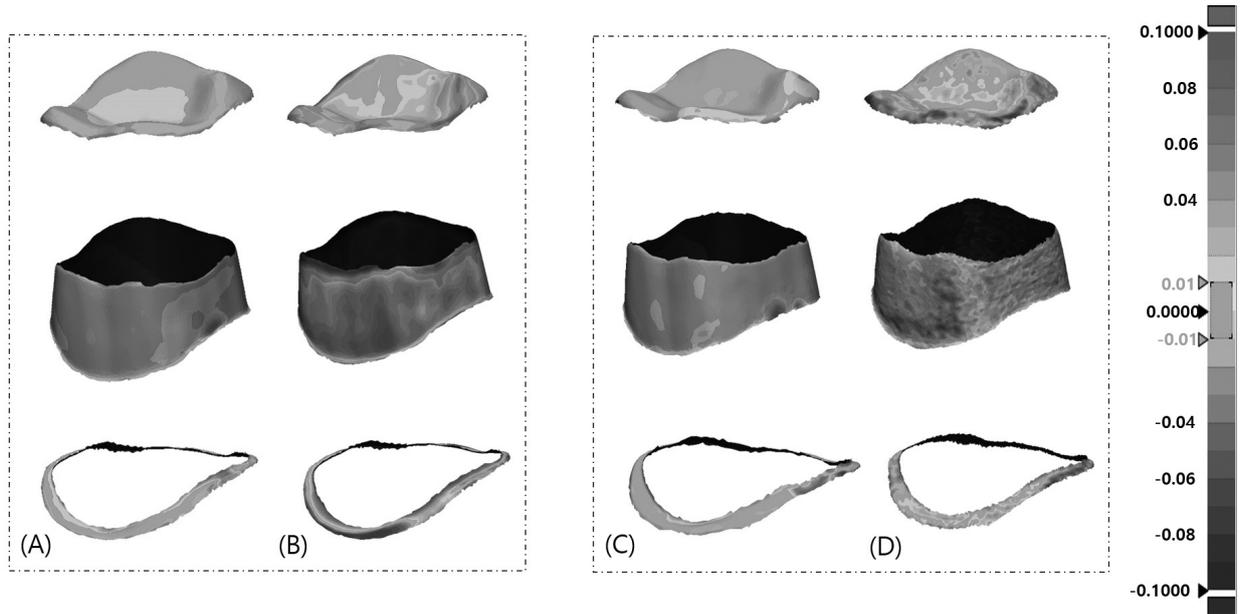


Figure 3. Color difference maps of discrepancies.

(A) Trueness of Stone die model, (B) Trueness of 3D printed die model,
 (C) Precision of Stone die model, (D) Precision of 3D printed die model.

IV. 고찰

새로운 디지털 기술의 결과로 치과계에서는 변화가 일어나고 있다(van Noort, 2012). 최근에는 기존 인상 방법을 대체할 구강 내 스캐너의 사용과 제조과정을 변화시킬 파격적인 기술인 3D 프린터의 사용으로 인해 CAD-CAM 시스템의 발전은 더욱 더 가속도를 내며 발전하고 있다(Yau et al, 2016).

디지털 인상방법이 현재 치과 임상에서 보편적으로 사용되고 있지는 않지만 구강 내 스캐너의 성능향상과 치과 CAD-CAM 시스템의 발전으로 기존 인상방법이 디지털 인상방법으로 빠르게 대체될 것으로 보인다(Ueda et al, 2016). 디지털 인상방법이 보편적으로 사용되어지면 석고 모델은 점차 사라지고, 이를 대체할 모델이 필요하게 될 것이다.

현재 교정분야에서 진단모델로써 3D printed 모델의 정확도에 대한 연구는 몇몇 있지만, 보다 정밀한 제작이 요구되는 고정성 보철물을 위한 다이 모델에 대한 연구는 현재 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기

존 인상방법을 통해 얻은 석고 다이 모델과 디지털 인상 방법을 통해 얻은 데이터로 제작한 3D printed 다이 모델의 정확도를 비교하고자 3D 분석방법을 이용하여 부위별로 측정된 RMS값을 통계적으로 분석하였다.

정확도(accuracy)는 진도(trueness)와 정밀도(precision)로 구성된다(ISO 5725-1, 1994). 진도(trueness)는 참값과 실험결과가 얼마나 근접한지를 나타내며, 정밀도(precision)는 반복적인 측정에서 얻어진 그룹 내 데이터 사이의 일치 유사성을 말한다.

본 실험의 결과, 석고 다이 모델의 정확도(trueness and precision)는 3D printed 다이 모델보다 통계적으로 유의하게 우수함을 확인할 수 있었다. Cho 등(2015)도 디지털 방식으로 만든 모델과 비교하여 기존의 석고 모델이 더 나은 정확도를 보였다고 보고하였으며, Sim 등(2019)도 3D printed 모델보다 석고모델이 더 좋은 정확도를 보였다고 보고하였다.

3D 프린터 방법은 한층 한층(Layer by Layer) 재료를 쌓는 방식이다. 따라서 Z축으로 재료가 쌓이면서 층을 형성하게 되고 이 층으로 인해 치수오차가 나타나고 표면이 거칠어지게 된다. 또한 층이 쌓이게 되는 동안 수축이 일어나 잔류 응력이 발생하게 된다(Choi &

Samavedam, 2002; Zhou et al, 2000). 이러한 3D 프린터의 조형원리가 3D printed 모델의 정확도에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 세분화된 분석을 위해, 다이 모델을 세 부분(occlusal, axial, marginal)으로 나누어 측정하였다. 측정결과 occlusal에서 marginal로 갈수록 좋지 못한 정확도를 보였다. 이는 marginal 부분이 나머지 두 부분에 비해 좁고 가파른 형태를 가지므로 스캔 등 제작 과정에서 오류가 발생한 것으로 여겨진다(Schaefer et al, 2013).

Patzelt 등(2014)의 선행연구에서는 디지털 제작방식으로 제작된 3D printed 모델(SLA방식)의 trueness가 100 μm 이내로 나타나 임상적으로 허용 가능한 수준의 정확도를 나타냈다고 보고하였으며, Ender 등(2016)은 모델의 편차가 100 μm 가 넘으면 최종 보철물이 정확하게 맞지 않는다고 주장하였다.

본 연구결과 모든 다이모델의 정확도는 선행 연구자들이 임상적 허용 수준으로 제시한 100 μm 이내에 존재하였다. 하지만 3D printed 모델이 정밀하고 정확한 보철물 제작을 위한 작업모델로서 석고모델을 대체하기 위해서는 출력모델의 치수정확도 및 표면조도를 개선하여 출력품질을 향상시킬 필요가 있다.

본 연구는 3D 프린터 방식 중 PolyJet 방식만을 이용하여 만든 모델의 정확도를 측정한 결과이므로 3D 프린터의 다양한 제작방식이 모델의 정확도에 미치는 영향에 대한 후속 연구가 이루어져야 한다고 사료된다.

V. 결론

본 연구는 기존 방식으로 제작된 석고 모델이 3D 프린터로 제작된 모델보다 더 정확하다는 결과를 나타내었다. 이는 치과보철물의 제조를 위한 작업모델로서 3D printed 모델을 적용하는 것은 여전히 어려운 일이라는 것을 나타낸다. 따라서 치과보철분야에서 3D printed 모델의 임상적 적용을 위해서는 3D 프린터의 성능향상이 요구된다.

REFERENCES

- Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent*, 113, 310–315, 2015.
- Choi SH, Samavedam S. Modelling and optimisation of rapid prototyping. *Comput Ind*, 47, 39–53, 2012.
- Dawood A, Marti BM, Sauret–Jackson V, Dawood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J*, 216, 521–529, 2015.
- 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.
- ISO 5725–1. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results–Part 1: General principles and definitions. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization, 1994.
- Lee SJ, Gallucci GO. Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin Oral Implants Res*, 24, 111–115, 2013.
- Liu Q, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Technol*, 29, 317–335, 2006.
- Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer–aided design/computer–aided manufacturing–generated dental casts based on intraoral scanner data. *J Am Dent Assoc*, 145, 1133–1140, 2014.
- Schaefer O, Kuepper H, Thompson GA, Cachovan G, Hefti AF, Guentsch A. Effect of CNC–milling on the marginal and internal fit of dental ceramics: a pilot study. *Dent Mater*, 29, 851–858, 2013.

- Shim JS, Lee JS, Lee JY, Choi YJ, Shin SW, Ryu JJ. Effect of software version and parameter settings on the marginal and internal adaptation of crowns fabricated with the CAD/CAM system. *J Appl Oral Sci*, 23, 515–522, 2015.
- Sim JY, Jang Y, Kim WC, Kim HY, Lee DH, Kim JH. Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. *J Prosthodont Res*, 63(1), 25–30, 2019.
- Sun J, Zhang FQ. The application of rapid prototyping in prosthodontics. *J Prosthodont*, 21, 641–644, 2012.
- Ueda K, Beuer F, Stimmelmayer M, Erdelt K, Keul C, Güth JF. Fit of 4-unit FDPs from CoCr and zirconia after conventional and digital impressions. *Clin Oral Investig*, 20, 283–289, 2016.
- van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, 28, 3–12, 2012.
- Yau HT, Yang TJ, Lin YK. Comparison of 3-D printing and 5-axis milling for the production of dental e-models from intra-oral scanning. *Comput Aided Des Appl*, 13, 32–38, 2016.
- Zhou JG, Herscovici D, Chen CC. Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts. *Int J Mach Tools Manuf*, 40, 363–379, 2000.