적층가공 방식으로 제작한 전치와 구치 임시보철물의 적합도 비교

박영대, 강 월

대구보건대학교 치기공과

Comparative evaluation of the fitness of anterior and posterior interim crowns fabricated by additive manufacturing

Young-Dae Park, Wol Kang

Department of Dental Technology, Daegu Health College, Daegu, Korea

Article Info

Received November 15, 2021

Revised December 14, 2021

Accepted December 14, 2021

Corresponding Author

Wol Kang

Department of Dental Laboratory, Daegu Health College, 15 Yeongsong-ro, Buk-gu, Daegu 41453, Korea

E-mail: kw0411@dhc.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-1175-8170>

Purpose: The purpose of this study was to assess the fitness of anterior and posterior interim crowns fabricated by three different additive manufacturing technologies.

Methods: The working model was digitized, and single crowns (maxillary right central incisor and maxillary right first molar) were designed using computer-aided design software (DentalCad 2.2; exocad). On each abutment, interim crowns (n=60) were fabricated using three types of additive manufacturing technologies. Then, the abutment appearance and internal scan data of the interim crown was obtained using an intraoral scanner. The fitness of the interim crowns were evaluated by using the superimposition of the three-dimensional scan data (Geomagic Control X; 3D Systems). The one-way analysis of variance and Tukey posterior test were used to compare the results among groups ($\alpha=0.05$).

Results: A significant difference was found in the fitness of the interim crowns according to the type of additive manufacturing technology ($p<0.05$). The posterior interim crown showed smaller root mean square value than the anterior interim crown.

Conclusion: Since the fitness of the posterior interim crown produced by three types of additive manufacturing technology were all within clinically acceptable range ($<120 \mu\text{m}$), it can be sufficiently used for the fabrication of interim crowns.

Key Words: Data accuracy, Printing, Three-dimensional, Tooth crown

INTRODUCTION

임시보철물은 치과 보철치료 과정에서 삭제된 치아를 보호하고 상실된 치아를 대체하여 교합 체계의 안정과 치아 주위 조직의 환경 개선 및 양호한 심미성을 보상하기 위해 최종 보철물 장착 전까지 한시적으로 사용하는 보철물이다[1]. 이러한 임시보철물은 보철물의 제작 기간 동안 최소한의 물리적인 성질, 변형, 마모, 온도, 화학적 자극, 세균의 침투로부터 치아를 보호하고 주변 치아와의 간격을 일정하게 유지시키며 치주 조직의 손상도 방지한다[2,3]. 임시보철물은 최종보철물을 장착하기 전 전치 부위의 심미적인 목적과 구치부위에서는 인접치의 이동을 예방할 목적으로 제작되어 왔으나 최근 임플란트 보철물이 증가하면서 임시보철물의 장착 기간이 길어짐에 따라, 임시보철물에 대한

연구가 증가하였다[4,5].

Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM)의 발전과 더불어 임시보철물의 제작도 CAD/CAM으로 제작하는 사례가 증가하였다[6]. CAD/CAM의 제작방법으로는 절삭가공과 적층가공이 있다. 절삭가공은 블록형태의 재료를 활용하여 치과용 밀링머신 등으로 절삭하여 재료를 삭제하는 과정을 거쳐 임시보철물을 완성하게 된다[7]. 다양한 재료를 사용할 수 있으며, 지르코니아 등의 심미 보철물의 제작이 가능한 장점이 있으나 제작 시 재료의 낭비가 많고, 절삭 시 사용되는 다양한 크기의 버의 소모, 버의 교체가 필요한 점 그리고 함몰부위 재현이 어려운 단점이 있다[8]. 최근에는 절삭가공의 단점을 보완한 적층가공이 보철물 제작에 활용되고 있다. 적층가공은 액상 또는 가루로 된 소재를 사용하며 한 층 한 층 쌓아올릴 때

마다 재료들에 고온의 레이저 등으로 필요한 부위만 조사한다. 조사된 부분은 다양한 두께로 층을 형성할 수 있으며 같은 과정을 반복하여 층 위에 층을 쌓는 적층 방식으로 치과보철물을 완성하게 된다. 최근 적층가공이 임시보철물 제작에 활용되면서 적층가공으로 제작된 보철물의 적합도에 관한 연구가 이루어지고 있다[9]. 그 중에서 digital light processing (DLP) 프린터는 액체 수지를 사용하여 광중합 반응을 이용해 고형화시키는 원리로, 소형 장비로 가격이 저렴한데다가 정밀도가 높아서 최근에 임시보철물 제작으로 많이 사용되고 있다. 특히 면(face) 단위로 출력이 진행되는 프린터이기 때문에 제작 속도가 비교적 빠르다는 장점이 있다[10].

치과분야에서 보철물의 적합도란 치아와 보철물의 변연 또는 내면의 거리나 오차를 측정하여 비교할 때 사용하는 용어이다. 보철물의 변연 및 내면 적합도를 측정하는 방법은 다양하며 무게를 이용한 무게 측정법, 크라운을 절단하는 절단면 측정법, 크라운 내면에 실리콘을 넣어 측정하는 실리콘 복제 방법, 치아스캔과 보철물을 스캔하여 비교하는 3D (three-dimensional) 스캔 데이터 중첩법, 마이크로 computed tomography 측정법 등이 사용되고 있다[11]. 그 중에서 3D 스캔 데이터 중첩법은 전용 소프트웨어를 이용하여 기준 데이터와 실험데이터를 중첩시켜서 적합도를 확인하는 방법으로, 시편을 손상시키지 않는 비침습적 방법인 데다가 원하는 부위의 오차를 정량적 및 정성적 평가가 가능하다는 장점을 가지고 있다[12]. 따라서 최근에는 DLP 프린터로 제작한 임시보철물의 3D 적합도에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다[13,14]. 그러나 최근에 임상에서 사용이 증가하고 있는 장비로 제작한 임시보철물의 전치부와 구치부의 3D 적합도를 비교한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 최신 3D 프린터로 출력한 전치와 구치부 임시보철물의 적합도를 살펴보고자 한다. 귀무가설은 적층가공 방식에 따라 전치부와 구치부의 임시보철물 적합도에 차이가 없다는 것이다.

Figure 1. Master model.

MATERIALS AND METHODS

1. 임시보철물 제작

임시 수복용 레진의 3D 데이터를 제작하기 위해서 모델 스캐너(3Shape E3 Scanner; 3Shape, Copenhagen, Denmark)를 사용하여 주모형의 스캔 데이터를 취득하였다. 주모형은 상악 우측 중절치와 제1대구치가 지대치로 형성된 모델로 초경석고(GC Fujirock EP; GC, Tokyo, Japan)를 mold에 주입하여 제작하였다(Fig. 1). 스캔이 완료된 데이터는 디자인 프로그램(DentalCad 2.2; exocad, Darmstadt, Germany)을 사용하여 임시 수복용 레진을 디자인하고 30 micron의 시멘트 공간을 부여하였다.

디자인이 완료된 파일은 세 가지 방법으로 제작되었다. 첫 번째는, Veltz 프린터(Veltz 3D; Hephzibah, Incheon, Korea)에 전용의 레진용액(DT-1 Temporary Teeth; Hephzibah)을 사용하여 임시보철물을 출력하였다(Fig. 2). 두 번째는, ASIGA 프린터(Asiga MAX UV; Asiga, Sydney, Australia)를 사용하여 전용의 레진용액(Freeprint Temp; Asiga)을 이용하여 임시보철물을 출력하였다(Fig. 3). 세 번째는, SprintRay 프린터(SprintRay Pro Dental 3D Printer; SprintRay, Los Angeles, CA, USA)에 전용의 레진용액(Tera Harz/TC-80DP A2; SprintRay)을 사용하여 임시보철물을 출력하였다(Fig. 4). 출력조건은 100 μ m의 적층두께로 설정하고, 수조에 주입한 레진용액을 골고루 섞어준 후에 전치부와 구치부 각각 10개의 임시 수복용 레진을 총 60개 출력하였다(Fig. 5, 6). 출력이 완료된 임시보철물은 Iso-propyl alcohol (IPA) 용액(Isopropyl Alcohol Cleaner; RS PRO, Kwai Chung, Hong Kong)에서 30초 동안 초벌 세척을 진행하고, 저속으로 지지대를 제거해 주었다. 그 후에 IPA 용액이 담긴 초음파 세척기(SD-100H; Seongdong Ultrasonic, Seoul, Korea)를 사용하여 최

Figure 2. Veltz 3D printer adapted from Hephzibah homepage.

중 세척을 진행하였다. 세척이 완료된 임시보철물은 후경화기(MP100; Myeong Moon Dental, Daegu, Korea)를 이용하여 10분 동안 최종 경화를 진행하였다.

2. 내면 적합도 측정

내면 적합도 측정을 위한 기준 데이터를 제작하기 위해서 주모형의

Figure 3. Asiga MAX UV printer adapted from Asiga homepage.

Figure 4. SprintRay Pro Dental 3D printer adapted from SprintRay homepage.

Figure 5. Anterior interim crown. AA: anterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, VA: anterior teeth made with a Veltz 3D printer, SA: anterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

Figure 6. Posterior interim crown. AP: posterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, VP: posterior teeth made with a Veltz 3D printer, SP: posterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

중절치와 제1대구치 지대치의 외면을 구강 스캐너(TRIOS 3 Basic; 3Shape)로 스캔하였다. 또한 제작된 임시보철물의 내면도 같은 기종의 구강스캐너로 스캔한 후 3D 형상 데이터로 제작하였다. 이 때, 구강 스캐너의 이미지 병합 오차를 줄이기 위해서 지대치의 외면과 임시 보철물의 내면 중앙에서부터 스캔을 시작해서 시계방향으로 촬영을 진행하였고 약 20초 동안 100컷 이상의 촬영을 진행하였다.

적합도를 평가하기 위해서 제작된 3D 형상 데이터(Geomagic Control X; 3D Systems)를 3D 평가 프로그램을 사용하여 지대치와 임시보철물의 불필요한 부분을 제거하였다. 그 후 임시보철물의 내면을 스캔한 데이터를 기준 데이터와 중첩시켜서 best fit alignment 시켰다. 이어서 이미지의 차이를 통해 3D 비교를 진행한 후, 기준 데이터와 60개의 임시보철물 데이터 간 차이를 root mean square (RMS) 값으로 계산하였고, RMS 계산식은 아래와 같다.

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

여기서 x_1 은 기준 데이터인 지대치의 측정 포인트를 뜻하며, x_2 는 임시보철물 내면 데이터를 뜻한다. n 은 측정 포인트의 총수를 뜻하며, RMS 값이 낮을수록 높은 삼차원적 일치 정도를 나타낸다[15].

3. 통계 분석

수집된 자료는 IBM SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였으며, 자료 처리를 위해 사용한 통계분석 방법은 다음과 같다. 적층가공 방식으로 제작한 임시보철물의 RMS 값의 평균값을 알기 위해서 기술통계를 실시하였다. 임시보철물 간에 유의한 차이가 없는지 알아보기 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA test)을 적용 후 Tukey의 사후분석을 실시하였다($\alpha=0.05$).

Table 1. RMS±SD discrepancy (unit: μ m)

Group	N	RMS		
		Mean±SD	95% Confidence interval	
			Lower mean	Upper mean
VA	10	171±53.43 ^b	132.78	209.22
VP	10	118±7.89 ^a	112.36	123.64
AA	10	151±69.51 ^{ab}	101.27	200.73
AP	10	105±9.72 ^a	98.05	111.95
SA	10	133±50.56 ^{ab}	96.83	161.17
SP	10	102±9.19 ^a	117.29	142.04

RMS: root mean square, SD: standard deviation, VA: anterior teeth made with a Veltz 3D printer, VP: posterior teeth made with a Veltz 3D printer, AA: anterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, AP: posterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, SA: anterior teeth made with a Sprint-Ray Pro Dental 3D printer, SP: posterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

^{a,b}Grouping information with Tukey method.

RESULTS

1. 정량적 결과

RMS의 평균값은 Table 1과 같다. 모든 그룹에서 전치부보다 구치부의 RMS 값이 더 적게 나타났다. 등분산 검정 결과, F값이 0.14이고 유의확률이 0.81로 유의수준이 0.05보다 크므로 등분산은 가정되었다. 등분산 가정 하에서 일원배치 분산분석을 실시한 결과, RMS 평균값의 유의확률이 0.003으로 유의수준 0.05보다 작게 나타났다. 따라서 적층 가공 방식에 따라 전치부와 구치부의 임시보철물 적합도에 차이가 없다는 귀무가설은 기각되었다. 특히 가장 큰 RMS 값을 나타낸 것은 171 μ m로, Veltz 프린터로 제작한 중절치였다. 가장 작은 RMS 값을 나타낸 것은 102 μ m로, SprintRay로 제작한 제1대구치였다.

허용 공차값 $\pm 50 \mu$ m을 기준으로, 공차 범위 내 데이터의 비율과 공차 범위 외 데이터의 비율, 그리고 공차 범위 미만 데이터 비율의 평균 값에 대한 결과는 Table 2와 같다. 공차 범위 내 데이터의 평균 비율이 가장 큰 것은 80.44%로 Veltz 프린터의 구치부로 나타났고, 가장 작은 것은 35.11%로 Veltz 프린터의 전치부로 나타났다. 공차 범위 외 데이터의 평균 비율이 가장 높은 것은 45.79%로 Veltz 프린터의 전치부로 나타났고, 가장 낮은 것은 Asiga 프린터의 구치부로 나타났다. 공차 범위 미만 데이터의 평균 비율에서 가장 높은 비율은 19.10%로 Veltz 프린터의 전치부로 나타났고, 가장 낮은 비율은 5.46%의 Asiga 프린터의 구치부로 나타났다.

2. 정성적 결과

정성적 분석을 위해 color-difference map을 사용하였다(Fig 7, 8). 임계편차는 $\pm 100 \mu$ m, 허용 공차범위(녹색)는 $\pm 50 \mu$ m로 지정하였다. 기준 데이터에 비해 양의 오차를 나타내면 빨간색을 나타내고, 기준 데이터에 비해 음의 오차를 나타내면 파란색으로 나타낸다. 정성적 분석 결과, 전치부 절단면 부위에서는 주로 양의 오차를, 변연에서는 주로 음의 오차가 나타났다. 구치부에서는 주로 교합면의 인접면 부위에서

Table 2. Mean of the fitted to prepared tooth±SD (unit: %)

Group	Mean±SD		
	Within tolerance	Out of tolerance	Less than tolerance
VA	35.11±7.65	45.79±7.30	19.10±14.35
VP	80.44±64.47	27.38±2.24	13.08±2.15
AA	50.15±18.83	36.34±10.30	13.50±17.15
AP	73.86±1.26	20.73±1.02	5.46±0.93
SA	59.65±5.64	40.48±8.31	16.15±14.65
SP	57.09±31.52	29.29±10.53	11.06±11.37

SD: standard deviation, VA: anterior teeth made with a Veltz 3D printer, VP: posterior teeth made with a Veltz 3D printer, AA: anterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, AP: posterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, SA: anterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer, SP: posterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

Figure 7. Color difference map of anterior interim crown fabricated by additive manufacturing. AA: anterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, VA: anterior teeth made with a Veltz 3D printer, SA: anterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

Figure 8. Color difference map of posterior interim crown fabricated by additive manufacturing. AP: posterior teeth made with a Asiga MAX UV printer, VP: posterior teeth made with a Veltz 3D printer, SP: posterior teeth made with a SprintRay Pro Dental 3D printer.

양의 오차가 나타났다.

DISCUSSION

본 연구에서는 적층가공 방식으로 전치부와 구치부 임시보철물을 제작하고, 적합도를 비교해 봄으로써 임상적 허용 가능성을 평가하였다. 특히 최근 임상에서 사용이 증가하고 있는 장비로 진행된 연구라는 점에서 의미가 있다고 본다. 연구결과, 적층가공 방식으로 제작한 전치부와 구치부의 임시보철물 적합도에 차이가 있는 것으로 나타나 귀무가

설은 기각되었다.

적합도는 성공적인 보철물 제작을 위해서 매우 중요한 요소이다[16]. 보철물의 적합도가 낮은 경우, 임시보철물이나 지대치의 적합 조정이 필요할 수 있다[17]. 특히 공차범위를 초과하는 부적합은 음식물이나 플러그 축적으로 제2의 우식증 발생 위험이 있으니 매우 유의해야 한다. 그러나 아직까지 임상적으로 허용되는 적합도에 대해서는 일치된 의견이 없다. 일부 연구에서는 120 μm 이하의 적합도가 임상적으로 허용되는 적합도라고 보고했지만[18], 다른 연구에서는 임상적으로 허용하기에는 100 μm 이하의 적합도가 더 적절하다고 나타냈다[19]. 또

다른 연구에서는 75 μm 이하의 적합도가 임상적으로 허용되어야 한다고 주장했고[20], 시멘트를 이용해 합착하는 치과보철물은 25~40 μm 의 적합도가 적절하다는 임상 목표가 제안되기도 했지만 이러한 목표는 현실적으로 어렵다는 것을 알 수 있었다[21,22]. 따라서 본 연구에서는 임상적으로 허용되는 적합도는 120 μm 이하로 설정하였다.

적합도의 측정 결과, 모든 그룹에서 전치부는 RMS 값이 120 μm 를 초과함으로써 임상적으로 허용할 수 없는 값을 나타냈다. 특히 전치부 순측에 양의 오차가 높게 나타난 것은 설측에 지지대를 위치시킴으로써 나타난 지지대의 위치나 각도가 영향을 준 것으로 보여진다[23]. 선행연구에서 내면 시멘트의 두께가 151 μm 인 경우에 보철물의 유지력을 저하시키는 변화가 없었다는 보고에 의하면 Asiga와 SprintRay 프린터로 제작한 전치부 임시보철물의 유지력은 저하되지 않았을 것으로 생각된다[24]. 그러나 Veltz 프린터로 제작한 전치부 임시보철물은 적합도와 유지력 모두 임상적으로 허용할 수 없는 것으로 나타났다. 반면에 모든 그룹에서 구치부의 RMS 값은 120 μm 이하로 나타남으로써 임상적으로 허용 가능한 것으로 나타났다. 이는 적층가공 방식으로 소구치와 대구치의 임시보철물을 제작한 선행연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다[13,14]. 특히 color-difference map을 살펴보면, 구치부에서는 교합면 부위의 오차가 두드러지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 치과용 CAD/CAM 시스템에서 나타나는 교합면 적합도의 일반적인 현상으로, 축벽에 비해 고르지 못한 지대치의 교합면 형태가 영향을 미친 것으로 사료된다[25]. 본 연구에서는, 지대치 교합면의 오목한 부위에서는 양의 오차가 나타났고 볼록한 부위에서는 음의 오차가 나타났다. 이러한 결과는 안정적인 적층 가공을 위해 교합면 부위에 제작한 지지구조물(support)로 인해 야기된 것으로 생각된다[26]. 이처럼 전치부와 구치부 RMS 값의 차이는 선행연구와도 일치하는 결과로써 임시보철물의 형태나 모양이 적층가공 결과물에 영향을 미친 것으로 사료된다[23,27].

공차값을 기준으로 공차 범위 내 데이터의 평균 비율을 살펴본 결과, Veltz 프린터로 제작한 구치부가 가장 높은 비율을 나타냈다. 공차 범위 내 데이터의 평균 비율이 가장 낮은 것은 Veltz 프린터로 제작한 전치부로 나타났다. 이를 통해 Veltz 프린터로 제작한 임시보철물의 정확도는 지대치의 형태에 따라 달라진다는 것을 알 수 있었다. 반면에 SprintRay로 제작한 임시보철물의 공차 범위 내 데이터의 평균 비율은 전치부는 59.65%, 구치부는 57.09%로 나타남으로써 전치부와 구치부의 데이터의 평균 비율 차이는 약 2.5% 정도 발생하였고 이로부터 지대치의 형태에 많은 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다(Table 2). 또한 오차 중에서 음의 오차의 비율이 높다면 이것은 허용 공차값 $\pm 50 \mu\text{m}$ 을 기준으로 공차 범위 미만 데이터의 평균 비율이 높다는 것을 의미하며, 본 연구결과로부터 임시 보철물의 크기가 원래 출력되어야 하는 크기보다 작게 출력된 것으로 사료된다(Table 2). 이러한 경우에는 지대치에 임시보철물의 적합이 잘 이루어지지 않기 때문에 적합조정이 필요하게 되고, 이로 인해 결국 적합도가 낮아질 가능성이 많다[17].

Table 2에서 공차 범위 미만 데이터의 평균 비율은 Asiga 프린터로 제작한 구치부의 평균 비율 5.46%를 제외하고는 모두 11.06%~19.10%로 나타났다. 이를 통해 Asiga 프린터로 제작한 구치부 임시보철물이 다른 임시보철물에 비해 상대적으로 높은 적합도를 보여주었다. 이는 Asiga 프린터가 임시보철물을 축성 시 기계적인 수치 값을 자동으로 보정하여 ultraviolet이 균일하게 조사되도록 smart positioning system을 장착한 결과로 보여진다[28].

본 연구의 제한점으로는 싱글 크라운의 적합도만 평가하였기 때문에 일반화하기에는 한계가 있다는 점이다. 따라서 향후에는 교의치의 적합도를 측정하여 다양한 측면에서의 고찰이 이루어져야 할 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 적층가공 방식으로 제작한 임시보철물의 전치부와 구치부 적합도를 비교한 결과, 구치부는 임상적으로 허용 가능한 적합도를 나타낸 반면에 전치부의 적합도는 임상적으로 허용할 수 없는 적합도를 나타냈다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Young-Dae Park, <https://orcid.org/0000-0002-7130-9799>

Wol Kang, <https://orcid.org/0000-0002-1175-8170>

REFERENCES

1. Park JW. Color stability of self-cured temporary crown resin according to the surface treatment [master's thesis]. Seosan: Hanseo University, 2015.
2. Lee SH. Esthetic considerations for porcelain fused to metal restorations. JKDA. 1982;20:127-130.
3. Seol YJ, Park GS, Lee DH. In the anterior region treatment by placement period and immediate provisional crown formation. JKDA. 2004;42:861-872.
4. Lee SH. Retrospective study on marginal bone resorption around immediately loaded implants [master's thesis]. Iksan: Wonkwang University, 2017.
5. Kwak O. Bone formation and stability changes of the immediately loaded implants by crown units [master's the-

- sis]. Seoul: Korea University, 2010.
6. Binkley CJ, Irvin PT. Reinforced heat-processed acrylic resin provisional restorations. *J Prosthet Dent.* 1987;57:689-693.
7. Jeon MH, Jeon YC, Jeong CM, Lim JS, Jeong HC. A study of precise fit of the CAM zirconia all-ceramic framework. *J Korean Acad Prosthodont.* 2005;43:611-621.
8. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina-and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper Dent.* 2001;26:367-374.
9. Son YT, Son KBD, Lee KB. Marginal and internal fit of interim crowns fabricated with 3D printing and milling method. *J Dent Rehabil Appl Sci.* 2020;36:254-261.
10. Park SJ, Lee HA, Lee SH, Seok S, Lim BS, Kwon JS, et al. Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin. *Korean J Dent Mater.* 2019;46:139-152.
11. Son K, Lee S, Kang SH, Park J, Lee KB, Jeon M, et al. A comparison study of marginal and internal fit assessment methods for fixed dental prostheses. *J Clin Med.* 2019;8:785.
12. Bindl A, Mörmann WH. Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil.* 2005;32:441-447.
13. Kim M, Kim WG, Kang W. Evaluation of the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental 3D printers. *J Korean Soc Dent Hyg.* 2019;19:1089-1097.
14. Kang W, Lee HK. A study of three-dimensional evaluation of the accuracy of resin provisional restorations fabricated with the DLP printer. *J Tech Dent.* 2020;42:35-41.
15. Son K, Yu B, Yoon TH, Lee K. Comparative study of the trueness of the inner surface of crowns fabricated from three types of lithium disilicate blocks. *Appl Sci.* 2019;9:1798.
16. Hamza TA, Ezzat HA, El-Hossary MM, Katamish HA, Shokry TE, Rosenstiel SF. Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent.* 2013;109:83-87.
17. Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2014;112:555-560.
18. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J.* 1971;131:107-111.
19. Reich S, Gozdowski S, Trentzsch L, Frankenberger R, Lohbauer U. Marginal fit of heat-pressed vs. CAD/CAM processed all-ceramic onlays using a milling unit prototype. *Oper Dent.* 2008;33:644-650.
20. Hung SH, Hung KS, Eick JD, Chappell RP. Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown. *J Prosthet Dent.* 1990;63:26-31.
21. Council adopts American Dental Association specification no. 8 (dental zinc phosphate cement) and 11 (agar impression material). Council on Dental Materials and Devices. *J Am Dent Assoc.* 1967;74:1565-1573.
22. May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the Procera AllCeram crown. *J Prosthet Dent.* 1998;80:394-404.
23. Yu BY, Son K, Lee KB. Evaluation of intaglio surface trueness and margin quality of interim crowns in accordance with the build angle of stereolithography apparatus 3-dimensional printing. *J Prosthet Dent.* 2021;126:231-237.
24. Passon C, Lambert RH, Lambert RL, Newman S. The effect of multiple layers of die-spacer on crown retention. *Oper Dent.* 1992;17:42-49.
25. Kokubo Y, Tsumita M, Kano T, Sakurai S, Fukushima S. Clinical marginal and internal gaps of zirconia all-ceramic crowns. *J Prosthodont Res.* 2011;55:40-43.
26. Tappa K, Jammalamadaka U. Novel biomaterials used in medical 3D printing techniques. *J Funct Biomater.* 2018;9:17.
27. Jin MC, Yoon HI, Yeo IS, Kim SH, Han JS. The effect of build angle on the tissue surface adaptation of maxillary and mandibular complete denture bases manufactured by digital light processing. *J Prosthet Dent.* 2020;123:473-482.
28. Skliutas E, Lebedevaite M, Kasetaitė S, Rekštytė S, Lileikis S, Ostrauskaite J, et al. A bio-based resin for a multi-scale optical 3D printing. *Sci Rep.* 2020;10:9758.