

# 드릴 반경 설정이 보철물 가공에 미치는 영향

김충명, 김소리\*, 조미향\*\*

스마일라인 치과기공소 치과보철 연구팀, 스마일라인 치과기공소\*, 원광보건대학교 치기공과\*\*

## Effect of drill radius setting on prosthesis machining

Chong-Myeong Kim, So-Ri Kim\*, Mi-hyang Cho\*\*

Smile Line Dental Lab. Dental Prosthesis Research Team

Smile Line Dental Lab\*

Department of Dental Technology, Wonkwang Health Science University\*\*

### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study is to evaluate the trueness and fitness of machined prostheses according to drill radius setting in CAD software.

**Methods:** For this study, standard abutment were replicated in Type IV stone. The stone abutment were scanned using a dental scanner. The CAD design software was designed using scanned abutment data. When designing, the drill radius was set to 0.3 mm and 0 mm, respectively, and saved. The saved design data was milled using a milling machine (n=13). The inner surface of the milled crown was scanned. The trueness and fitness were measured using the inner scan data of prostheses. Independent t-tests were performed to identify significant differences in each data.

**Results:** Trueness values of the data saved with 0.3 mm and 0 mm drill radius were  $18.9 \pm 2.3 \mu\text{m}$  and  $19.1 \pm 0.9 \mu\text{m}$ , respectively. There was no statistically significant difference between the groups. Fitness values of the data saved with 0.3 mm and 0 mm drill radius were  $65.5 \pm 0.8 \mu\text{m}$  and  $33.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$ , respectively. There was a statistically significant difference between the groups ( $p < .05$ ).

**Conclusion :** Setting the drill radius is important to produce clinically good fit prostheses.

◉ **Key words:** Dental CAD/CAM systems, Milling machine, Fitness, Three-dimensional evaluation, Trueness

Corresponding author	Name	김 충 명	Tel.	02-6407-2845	E-mail	zooco5@korea.ac.kr
	Address	서울 강동구 양재대로 1520, 501호 스마일라인 치과기공소 치과보철연구팀				
Received	2017. 11. 30	Revised	2018. 3. 5	Accepted	2018. 3. 12	

## 1. 서론

최근 치과 캐드캠을 이용한 보철물의 제작이 날로 발전하고 있다(Tinschert et al, 2004; Gaspar & Weichert, 2013; Peñate et al, 2015). 치과 캐드캠을 이용한 보철물 제작은 기존의 전통적인 수작업인 인상 채득, 석고 모델 제작, 왁스 모형 제작, 매몰, 소환, 주조, 그리고 연마의 과정을 거쳐서 최종 보철물을 제작하게 된다(Ka & AA, 2007; Kim et al, 2013; Kim et al, 2014). 하지만 치과 캐드캠을 사용하게 되면 구강 스캔, 디자인, 가공, 소결 과정을 거쳐서 최종 보철물을 제작하게 되면서 제작 과정이 단순하게 된다(Luthardt et al, 2004; Bidra et al, 2013; Kim et al, 2013; Huh et al, 2014). 특히나 치과 캐드캠을 사용하게 되면 밀링장비를 이용해서 보철물을 가공하기 때문에 일률적인 보철물을 제작할 수 있다(Lebon et al, 2015). 따라서 보철물을 다시 제작 해야하는 상황이 발생하더라도 과거에 저장된 데이터를 사용해서 다시 만들 수 있는 장점이 있다. 이러한 치과 캐드캠을 활용한 보철물 제작 과정 중에는 다양한 오차가 존재한다. 먼저 구강이나, 모델을 스캔할때 스캐너에서 발생하는 오차가 있으며, 치과용 스캐너에서 발생하는 오차는 다양한 연구결과를 통해 확인되고 있다(Jeon & Lee, 2015; Lee et al, 2017). 또한 심미적인 재료를 사용해서 보철물을 제작하기 위한 밀링 가공 방법에서도 오차가 발생한다. 특히 밀링 가공 장비 자체의 오차가 존재할 수 있으며, 마모된 공구를 통해서 절삭량의 균일성이 감소되면서 발생하는 오차, 그리고 재료에 맞지 않는 가공속도와 가공에서 발생하는 공구의 변형 등에 의해서 다양한 오차가 발생할 수 있다(Cho & Lee, 2007; Cho et al, 2009; Schaefer et al, 2013).

치과 캐드캠을 사용해서 보철물을 가공하는 방법으로는 3D 프린터를 사용하거나 밀링장비를 사용할 수 있다(Eggbeer et al, 2005). 현재 3D 프린터를 활용한 치과 보철물의 제작보다는 밀링 장비를 활용한 치과 보철물의 제작이 더욱 더 많이 사용되고 있다. 그러한 이유는 심미적인 지르코니아 재료를 사용한 보철물의 요구가 증가하기 때문이다. 지르코니아는 블록 형태로 판매

되고 있어서 밀링 장비로 가공하는 방법이 최선이다. 밀링 장비로 보철물을 가공할 때에는 버의 가공면이 원형인 버를 사용하고 있다. 특히 지름이 2 mm, 1 mm, 0.6 mm의 원형 버를 사용해서 보철물을 제작하고 있다(Rudolph et al, 2007; Batista et al, 2015; He et al, 2015; Kane et al, 2015). 그 결과 밀링 버의 사용으로 생기는 오차를 평가한 논문들이 발표되고 있는 실정이다.

치과 캐드캠으로 제작한 보철물을 평가한 연구들은 다양하게 소개되고 있다. 밀링 장비와 전통적인 방법을 사용해서 제작한 보철물의 적합도를 평가하고(Ng et al, 2014), 밀링 장비와 레이저 신터링 프린터, 전통적인 방법으로 제작한 보철물들의 변연과 내면 적합도를 임상적으로 평가(Tamac et al, 2014), 그리고 다양한 방식으로 제작된 왁스 패턴을 전통적인 주조 방법으로 제작한 후 변연을 평가하였다(Munoz et al, 2016). 최근에는 내면 접합제가 지르코니아 보철물에 미치는 영향을 평가한 논문이 소개 되고 있다(Jang et al, 2017). 그러나 이러한 선행연구들은 주로 2차원적인 방법을 이용하였으며 디자인과 보철물을 3차원적으로 평가한 연구들은 미흡하기 때문에, 디자인 내에서 드릴 반경 설정값이 최종 보철물에 미치는 영향을 알아보기 위해서 3차원적 방법으로 평가하는 연구가 필요한 실정이다.

보철물을 평가하기 위해서는 2차원적인 방법과 3차원적인 방법이 주로 소개되고 있다. 2차원적인 방법은 실리콘을 사용해서 보철물과 지대치 사이의 갭을 재현해서 측정하는 방법과 보철물과 지대치를 세팅한 후 직접 파손하여서 지대치와 보철물의 갭을 보는 방법이 있다(Boyle et al, 1993; Yao et al, 2014). 이러한 방법은 보철물과 지대치 사이의 갭을 정확히 재현하기 어렵고, 시편이 파손되는 단점이 있다(Groten et al, 2000; Schaefer et al, 2012). 이러한 문제를 해결하기 위해 3차원적인 방법으로 평가하고 있다. 3차원적인 평가는 프로그램을 사용해서 보철물의 내면을 스캔 한 스캔 데이터와 지대치를 스캔 한 스캔데이터를 중첩시킨 후 발생하는 차이를 평가하는 방법이다. 이 방법은 보철물과 지대치 사이의 갭을 재현할 필요도 없으며, 시편이 파손되지도 않는다(Luthardt et al, 2004; Schaefer et al,

2012; Bosch et al, 2014).

따라서 본 연구의 목적은 캐드 디자인 프로그램 내에서 드릴 반경을 설정한 보철물과 설정하지 않은 보철물의 정확도와 내면 적합도의 차이를 3차원으로 평가하는 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 석고 지대치 제작 및 스캔

본 연구에서는 치과 캐드캠으로 보철물을 제작하기 위해 상악 우측 제 1대구치 아크릭 모델 (AG-3 ZPVK, Frasaco GmbH, Germany)을 준비하였다. 아크릭 지대치는 빛의 반사에 의해 스캔이 되지 않기 때문에 석고 지대치로 제작했다. 석고 지대치 제작을 위해서 개인 트레이와 고무 인상재를 사용해서 아크릭 지대치를 인상 채득하였다. 채득된 인상체에는 Type IV 경석고 (GC Fujirock EP, GC Corp, Belgium)를 부어서 석고 지대치 모델을 제작하였다. 석고 지대치는 치과용 스캐너 (D700, 3Shape A/S, Denmark)로 스캔해서 지대치 스캔 데이터를 생성하였다(Fig. 1).

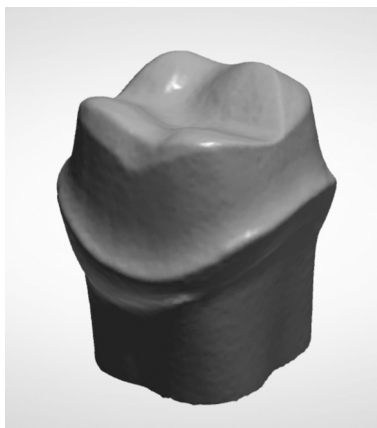


Figure 1. Abutment scan data shape for this study

### 2. 크라운 디자인에서 드릴 반경 설정 및 밀링 가공

지대치 스캔 데이터는 치과용 캐드 소프트웨어(3Shape Dental Designer, 3Shape A/S, Denmark)로 크라운 보철물 형상을 디자인 하였다. 디자인의 오차를 줄이기 위해 지대치 변연은 컴퓨터가 설정한 위치로 지정했으며, 디자인의 형태도 디자인 템플릿에 의해 자동으로 설정하였다. 디자인 과정 중 내면 시멘트 값을 설정하는 부분에서는 변수를 줄이기 위해 접합제 간격, 추가 접합제 간격, 한계선까지의 거리, 부드럽게 하기 거리는 0 mm로 설정했으며, 드릴 반경 설정값 만 입력하였다. 드릴 반경(Drill Radius) 설정값은 0.3 mm와 0 mm로 각각 설정하였다. 드릴 반경 설정값이 0.3 mm인 이유는 밀링 장비를 사용해서 보철물을 제작할 때 사용되는 볼 엔드 밀 버의 최소 지름이 0.6 mm이기 때문이다. 드릴 반경 설정값을 기준으로 DR0.3과 DR0으로 그룹명을 지정하였다. 완성된 디자인은 저장하였다(Fig. 2).

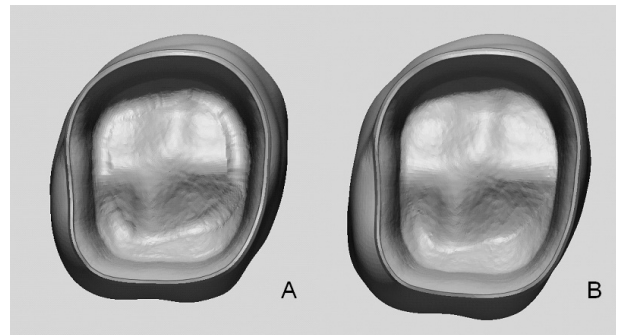


Figure 2. The design internal shape formed by difference in drill radius setting (A: DR 0.3, B: DR0)

저장된 디자인 파일은 밀링 가공을 위해 치과용 캠 소프트웨어(HyperDENT, Follow-Me Dental Engineering, Germany)로 불러 왔다. 보철물을 가공하기 전에 장비에서 오는 오차를 줄이기 위해서 장비 교정을 실시하였다. 장비 교정을 통해 장비가 가지고 있는 기계적인 오차를 줄일 수 있다. 장비 교정이 끝난후, DR0.3 그룹의 디자인 파일을 가공 하였다. 크라운 보철물의 가공을 위해 사용된 블록은 우레탄 블록(innoBlanc® model, innoBlanc GmbH, Germany)

이다. 해당 블록에 총 13개씩 순서대로 제작하였다. DR0.3 그룹의 보철물 가공이 끝난 후, 다시 한번 장비 교정을 실시하였으며, 똑같은 방법으로 DR0 그룹의 디자인 파일도 가공하였다. 가공을 위해 5축 밀링 장비(DWX-50, Roland DG Corporation, Shizuoka, Japan)를 사용하였다.

### 3. 3차원 측정 및 통계분석

우레탄 블록으로 제작된 크라운 보철물은 스캐너를 사용해서 보철물의 내면을 스캔하였다. 스캔된 내면 데이터의 불필요한 부분은 3차원 평가프로그램(Geomagic Verify 2015; Geomagic GmbH, Germany)으로 제거하였다.

드릴 반경 설정이 보철물의 가공에 미치는 영향을 알아보기 위해 보철물의 정확도와 적합도를 평가하였다. 정확도는 평가를 통해 가공된 보철물들이 균일한 형태로 가공되었는지 확인이 가능하며, 적합도 평가를 통해 가공된 보철물들과 지대치 사이의 공간을 확인할 수 있다.

먼저 보철물의 정확도(Trueness)를 평가하기 위해 각 그룹별 디자인 데이터와 내면 스캔 데이터를 중첩시켜 평가하였다. 정확도 평가가 끝난 후, 적합도(Fitness)를 평가하기 위해 각 그룹별 내면 스캔 데이터와 지대치를 중첩시켜서 평가하였다. 평가 후 얻어진 데이터는 root mean square(RMS)와 standard deviation(SD) 값으로 나타내었다.

정확도와 적합도는 root mean square(RMS)로 계산하였는데, 이 데이터는 양의 값과 음의 값의 평균을 구하기 위해 사용되고 다음의 계산식을 따른다(Schaefer et al, 2012; Cho SH et al, 2015).

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

n은 측정에 사용된 총 시편의 개수이며, X<sub>(1,i)</sub>는 대조군의 측정점으로 정확도를 측정할 때에는 디자인 데이터를 의미하고, 적합도를 측정할 때에는 지대치를 의미

한다. X<sub>(2,i)</sub>는 실험군의 측정점으로 정확도와 적합도의 측정에서는 내면 스캔 데이터를 의미한다.

### 4. 통계 분석

DR0.3과 DR0의 디자인 데이터로 제작된 보철물의 정확도와 적합도의 값이 각각 유의한 차이가 있는지 평가하기 위해 통계 프로그램 소프트웨어(IBM SPSS Statistics 22; IBM SPSS Inc., USA)를 사용하다, 각 그룹간의 정규분포 차이를 검정하기 Shapiro-wilk test를 실시하였고, 정규분포를 확인하였다(p>0.05). 나아가 각 그룹간의 차이를 확인하기 위해 독립표본 T-test로 분석하였으며 통계적 유의한 차이는 유의수준 0.05를 기준으로 하였다.

## III. 결과

보철물의 정확도 평가 결과는 다음과 같다. DR0.3 그룹은 18.9 ± 2.3 μm이며, DR0 그룹은 19.1 ± 0.9 μm이다. DR0.3 그룹과 DR0 그룹의 정확도 값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 보철물의 적합도 평가 결과는 다음과 같다. DR0.3 그룹은 65.5 ± 0.8 μm이며, DR0 그룹은 33.8 ± 1.0 μm이다. DR0.3 그룹이 DR0 그룹에 비해 적합도 값은 통계적으로 유의하게 큰 차이를 보였다(p < .05), (Table 1).

Table 1. Trueness and fitness results of milling prostheses (unit: μm)

	RMS ±SD		P value
	DR0.3	DR0	
Trueness	18.9 ± 2.3	19.1 ± 0.9	0.711
Fitness	65.5 ± 0.8	33.8 ± 1.0	< 0.05

보철물의 정확도 평가 결과에 대한 컬러 맵을 살펴보면 다음과 같다. DR0.3 그룹과 DR0 그룹은 전반적으로 양호한 오차를 보이고 있으며, 교합면 융선 부위에서만 작은 음의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다 (Fig. 3). 또한 보철물의 적합도 평가 결과에 대한 컬러 맵을 살펴



보면 다음과 같다. DR0.3 그룹은 교합면의 변연 용선 부위에서 심한 양의 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 반면에 DR0 그룹은 교합면 부위에서 작은 양의 오차와 교합면 변연 용선 부위에서 적은 음의 오차가 발생했지만 전반적으로 양호한 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다 (Fig. 4).

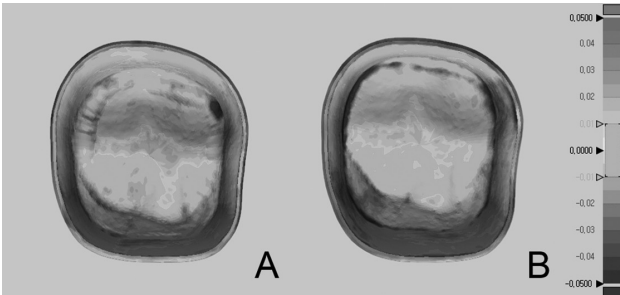


Figure 3. Trueness color map of DR0.3 and DR0(A: DR 0.3, B: DR0)

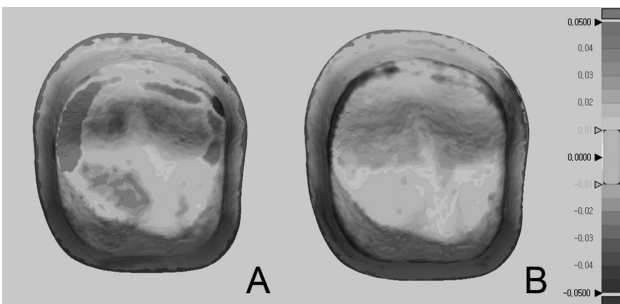


Figure 4. Fitness color map of DR0.3 and DR0(A: DR 0.3, B: DR0)

#### IV. 고찰

본 연구의 목적은 캐드 디자인 프로그램 내에서 드릴 반경을 설정한 보철물과 설정하지 않은 보철물의 정확도와 내면 적합도의 차이를 3차원으로 평가하는 것이었다. 평가 결과, 정확도의 평가에서는 드릴 반경을 설정한 보철물과 설정하지 않은 보철물에서 유의한 차이는 발생하지 않았으며 결과 값도 비슷하게 측정되었다. 컬러 맵을 살펴보면 두 그룹 모두 비슷한 양상을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이러한 결과는 밀링에 의한 보철물의 가공이 캐드 디자인 형태와 근접하게 제작된다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 드릴 반경 값은 밀링 과정에

크게 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다.

하지만 적합도에서는 드릴 반경을 설정한 보철물이 드릴 반경을 설정하지 않은 보철물 보다 적합도의 값이 크게 나왔다. 컬러 맵을 살펴보면 드릴 반경을 설정한 DR0.3 그룹에서는 교합면의 변연 용선 부분에서 양의 오차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 지대치의 형태 때문에 발생한 것으로 확인할 수 있다. 지대치의 교합면 변연 용선이 날카롭게 형성되어 있기 때문에 보철물을 디자인 하는 과정에서 날카로운 지대치 부분을 드릴 반경에 알맞게 자동으로 넉넉하게 설정하기 때문에 디자인을 저장할 때 이미 지대치의 형상과 다르게 저장이 되었다(Fig. 1A). 나아가 밀링 과정에서는 큰 오차를 발생하지 않는 것을 정확도 평가에서 확인했기 때문에 컬러맵에서 발생하는 양의 오차는 디자인에서 설정한 설정 값 때문인 것을 알 수 있다(Fig. 4A). 그에 반해 드릴 반경을 설정하지 않은 DR0 그룹에서는 교합면의 변연 용선이 약한 음의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 앞의 이유와 마찬가지로 지대치의 날카로운 부분 때문이지만, 지대치를 저장하는 상황에서 발생한 것이 아니라 밀링 과정에서 발생한 것으로 알 수 있다(Fig. 4B). 밀링에서 사용되는 버는 가장 작은 직경의 반지름이 0.3 mm 이지만 지대치의 날카로운 부분까지 깊숙히 들어가지 못하기 때문에 지대치의 형상에 비해 덜 밀링 된 것을 의미한다(Rudolph et al, 2007; Schaefer et al, 2012; Huh & Shim, 2014). 따라서 연구 결과, DR0 그룹이 DR0.3 그룹에 비해 적합도의 값이 더 낮은 결과를 보이고 있다.

본 연구는 캐드 디자인 프로그램 내에서 드릴 반경을 설정한 보철물과 설정하지 않은 보철물의 정확도와 내면 적합도의 차이를 3차원으로 평가해서 드릴 반경이 최종 보철물에 미치는 영향을 확인하였다. 본 연구의 의의는 치과 캐드캠을 이용해서 보철물을 제작할 때 디자인 설정이 최종 보철물에서 발생하는 오차를 가늠할 수 있으며, 디자인 설정을 통해 우수한 보철물을 제작할 수 있다.

본 연구는 임상적으로 살펴봤을 때 다음과 같은 한계점이 있다. 먼저 임상적인 지대치에서 제작된 보철물이 내면 조정을 거친 후 지대치와 적합을 살펴보게 된다면,

처음부터 교합면의 변연윤선 같은 날카로운 부분을 밀링 과정에서 넉넉하게 제작하게 된다면 지대치와 적합을 맞추는 시간이 단축 될 수 있다. 하지만 숙련되지 않는다면 보철물의 내면 조정으로 인해 보철물이 지대치에 오히려 헐겁게 들어갈 수도 있다. 그와 반대로 DR0 그룹과 같은 음의 오차가 발생하게 된다면 지대치와의 적합을 맞추기 위해 시간이 소모될 수 있지만, 헐겁게 들어가는 문제는 야기하지 않을 것이다. 또한 본 연구는 싱글 크라운을 제작해서 평가 했기 때문에 브릿지와 같은 삽입로가 일정하지 않은 보철물에는 적용하기 힘든 한계가 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 캐드 디자인 프로그램 내에서 드릴 반경 설정이 최종 보철물의 정확도와 적합도에 영향을 줄 수 있는지 확인하였다. 연구 결과, 임상적으로 우수한 적합도의 보철물을 제작하기 위해서는 드릴 반경 설정이 중요한 것을 확인하였다.

## REFERENCES

- AlWazzan Ka, AA AlNazzawi. Marginal and internal adaptation of commercially pure titanium and titanium-aluminum-vanadium alloy cast restorations. *J Contemp Dent Pract*, 8(1), 19-26, 2007.
- Batista MF, Rodrigues AR, Coelho RT. Modelling and characterisation of roughness of moulds produced by high-speed machining with ball-nose end mill. *Proc IMechE Part B: J Eng Manuf*, 231(6), 933-944, 2017.
- Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent*, 109(6), 361-366, 2013.
- Bosch G, Ender A, Mehl A. A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM milling processes. *J Prosthet Dent*, 112(6), 1425-1431, 2014.
- Boyle JJ, Naylor WP, Blackman RB. Marginal accuracy of metal ceramic restorations with porcelain facial margins. *J Prosthet Dent*, 69(1), 19-27, 1993.
- Cho BM, Lee DJ. A study on cutting characteristics according to cutting direction in ball-end milling. *Trans. of KSMTE*, 16, 191-197, 2007.
- Cho BM, Yoo IS, Lee DJ. A study on the geometric characteristics according to semi-cylindrical tool path in ball-end milling. *Trans. of KSMTE*, 5, 362-367, 2009.
- 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(4), 310-315, 2015.
- Eggbeer D, Bibb R, Williams R. The computer-aided design and rapid prototyping fabrication of removable partial denture frameworks. *Proc Inst Mech Eng H*, 219(3), 195-202, 2005.
- Groten M, Axmann D, Pröbster L, Weber H. Determination of the minimum number of marginal gap measurements required for practical in vitro testing. *J Prosthet Dent*, 83(1), 40-49, 2000.
- Gaspar M, Weichert F. Integrated construction and simulation of tool paths for milling dental crowns and bridges. *Comput-Aided Des*, 45(10), 1170-1181, 2013.
- He G, Ma W, Yu G, Lang A. Modeling and

- experimental validation of cutting forces in five-axis ball-end milling based on true tooth trajectory. *Int J Adv Manuf Technol*, 78(1-4), 189-197, 2015.
- Huh JB, Shim JS. The factors caused errors in the production process of CAD/CAM prosthesis based on experience. *J Kor Dent Assoc*, 52(6), 332-345, 2014.
- Jang SW, Jeon HW, Mun SJ, Lee HJ, Kim JY, Lee JS, Bae EJ. Evaluation on the internal fitness of the zirconia prosthetic using dental CAD/CAM of cement space. *Korean J Dent Mater*, 44(4), 359-366, 2017.
- Jeon JH, Choi BY, Kim CM, Kim JH, Kim WC. Three-dimensional evaluation of the repeatability of scanned conventional impressions of prepared teeth generated with white-and blue-light scanners. *J Prosthet Dent*, 114(4), 549-553, 2015.
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim HY, Kim JH. Evaluation of the marginal and internal gap of metal-ceramic crown fabricated with a selective laser sintering technology: two- and three-dimensional replica techniques. *J Adv Prosthodont*, 5(2), 179-186, 2013.
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent*, 112(6) 1432-1436, 2014.
- Kane LM, Chronaios D, Sierraalta M, George FM. Marginal and internal adaptation of milled cobalt-chromium copings. *J Prosthet Dent*, 114(5), 680-685, 2015.
- Lebon, N, Tapie L, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations-dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. *Int J Comput Dent*, 19(2), 115-134, 2016.
- Lee JJ, Jeong ID, Park JY, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Accuracy of single-abutment digital cast obtained using intraoral and cast scanners. *J Prosthet Dent*, 117(2), 253-259, 2017.
- Munoz S, Ramos V, Dickinson DP. Comparison of margin discrepancy of complete gold crowns fabricated using printed, milled, and conventional hand-waxed patterns. *J Prosthet Dent*, 118(1), 89-94, 2017.
- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent*, 112(3), 555-560, 2014.
- Peñate L, Basilio J, Roig M, Mercadé M. Comparative study of interim materials for direct fixed dental prostheses and their fabrication with CAD/CAM technique. *J Prosthet Dent*, 114(2), 248-253, 2015.
- Rudolph H, Luthardt RG, Walter MH. Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. *Comput Biol Med*, 37(5), 579-587, 2007.
- Schaefer O, Watts DC, Sigusch BW, Kuepper H, Guentsch A. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility. *Dent Mater*, 28(3), 320-326, 2012.
- 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(8), 851-858, 2013.
- Tamac E, Toksavul S, Toman M. Clinical marginal

and internal adaptation of CAD/CAM milling, laser sintering, and cast metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 112(4), 909–913, 2014.

Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, Spiekermann H. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Computer Dent*, 7(1), 25–45, 2004.

Yao J, Li J, Wang Y, Huang H. Comparison of the flexural strength and marginal accuracy of traditional and CAD/CAM interim materials before and after thermal cycling. *J Prosthet Dent*, 112(3), 649–657, 2014.