

CAD/CAM 밀링 시스템을 활용한 단일 치관과 3본 교의치의 3D 적합도 평가

김소리, 김충명*, 김웅철, 김지환

고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공, 고려대학교 보건과학연구소*

Three-dimensional evaluation of the internal adaptation of single and three-unit fixed dental restoration by CAD/CAM milling system

So-Ri Kim, Chong-Myeong Kim*, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim

Department of Dental Laboratory Science & Engineering, College of Health Science, Korea University*
Institute for Health Science, College of Public Health Science, Korea University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this paper was to evaluate the occurrence of errors regarding adaptation by conducting a three-dimensional assessment comparing the bridge type dental restoration after the cutting process, which has multiple abutments, with a single type dental restoration.

Methods: By using ten identical files obtained by scanning the master model, thirty designs were created consisting of ten maxillary right first premolars and ten maxillary right first molars with single crown abutments, along with ten bridge designs with the identical abutment. A 5-axis milling machine was used to produce the design file. The produced denture prostheses were scanned using a silicone replica for a STL file. An evaluation was conducted using 3D analysis software on the master model and each of the thirty data files.

Results: The RMS value of the pre-molar (14) was $38.4 \pm 4 \mu\text{m}$ for single and $54.7 \pm 6 \mu\text{m}$ for bridge abutment; therefore, a statistically significant difference was observed for single and bridge designs although both shared the same abutment form ($P < .05$). Also, the RMS value of the molar (16) was $47.6 \pm 2 \mu\text{m}$ and $56.6 \pm 5 \mu\text{m}$ for the single and bridge designs, respectively, thereby presenting a statistically significant difference ($P < .05$).

Conclusion: As a result, dental prosthesis fabricated using the single method presented better internal adaptation outcomes.

● **Key words:** CAD/CAM system; Milling system; Three-dimensional evaluation; Gap; Three-unit fixed dental restorations

교신저자	성명	김 지 환	전화	010-6270-0341	E-mail	Kjh2804@korea.ac.kr
	주소	서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 보건과학대학 치기공학과				
접수일	2016. 10. 31	수정일	2017. 3. 2	확정일	2017. 3. 13	

I. 서론

캐드캠 (Computer-aided design / Computer-aided manufacture) 시스템은 수십 년 동안 많은 산업 분야에서 중요한 부분으로 이용되어 왔다. 특히 복잡한 형상을 제작하는 산업분야에서 주로 사용되고 있으며 (Tinschert et al, 2004; Ng et al, 2014), 최근에는 기술이 더욱 개선되어 치과분야에 적용되기 시작했다 (Beuer et al, 2008).

치과분야에 도입되어 사용되고 있는 캐드캠 시스템은 모델의 3차원 스캔과 보철물의 설계, 그리고 가공으로 나눌 수 있다 (Tinschert et al, 2001). 3차원 스캔은 환자의 구강이나 모형을 스캐너로 스캔하여 디지털 데이터로 변환시키는 과정이고, 보철물의 설계는 캐드 프로그램으로 보철물을 환자에 맞게 디자인하는 과정, 그리고 가공은 디자인된 데이터를 보철물에 알맞은 재료로 제작하는 과정으로 구분할 수 있다 (Rekow, 1987; Samet et al, 1995; Beuer et al, 2008; Vafiadis & Goldstein, 2011).

기존의 연구들에서는 절삭 가공 장비 (Milling system)로 제작된 고정성 보철물이 임상에서 허용 가능한 범위에 있다고 제시한 바가 있다 (Kim et al, 2014; Kim et al, 2015; Pradies et al, 2015). 하지만 단일 치관이나 단일 코핑과 같은 하나의 지대치를 가지고 연구한 경우가 대부분이고 (Anadioti et al, 2014; Kim et al, 2014; Pradies et al, 2015; Kim et al, 2015), 여러 개의 지대치를 가지고 있는 교의치 형태의 보철물을 단일 형태의 보철물과 적합도를 비교한 연구는 부족한 실정이다. 또한 단일 치관 보철물과는 다르게 3본 교의치 형태의 크라운 보철물은 절삭하는 공구의 각도가 보철물의 형태나 지대치 축 방향에 따라서 절삭 각도와 밀링 과정 등이 달라지기 때문에 내면의 적합도에 영향을 미칠 수 있다 (Kim et al, 2003). 하지만 이러한 차이를 명확하게 조사한 연구도 많이 부족한 실정이다.

단일 치관 보철물과 지대치와의 오차를 평가하기 위해서는 주로 마진 적합도와 내면 적합도를 직접 확인하는 방법이 사용되어왔다 (Park et al, 2015; Pradies et

al, 2015). 그러나 이러한 방법은 불규칙하고 기하학적인 형태를 평가하기에는 한계가 있다. 이러한 단점을 보완 하기 위해 3차원 방법을 통하여 평가한다면 어느 부분에 얼마나 오차가 있는지 시각적으로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 최종 보철물을 임상적으로 적용하기 앞서 수정도 가능하다 (Tinschert et al, 2001; Shah et al, 2004).

따라서 본 연구의 목적은 캐드캠 밀링 시스템으로 제작된 단일 치관과 3본 교의치 고정성 보철물의 내면적 합도를 3차원으로 평가하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 지대치 제작

본 연구에 사용된 모델은 상악 우측 제1 소구치와 상악 우측 제1 대구치가 있고 상악 우측 제2 소구치가 없는 형태의 모형 (Model #3017, Viade products, California, U.S.A)을 선택하였다.

지대치 형성 (preparation)은 1.5mm로 교합면을 삭제하고, 1.2mm로 360°의 chamfer margin을 형성한 후, 5°의 축벽 각도를 주어서 제작하였다. 주모형을 제작하기 위해서 아크릴 지대치로 10개의 실리콘 (Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany) 몰드를 제작하였고, 에폭시 (Modralit® 3K, DentamidDreve, Unna, Germany)를 실리콘 몰드에 주입하여서 최종적으로 10개의 주모형을 제작하였다.

2. 스캔 및 밀링

10개의 주모형은 치과용 블루 라이트 스캐너 (Identica® BLUE, Medit, Seoul, Korea)로 스캔하였다. 스캔된 지대치 파일로 단일 치관과 3본 교의치 고정성 보철물을 제작하기 위해 주모형에서 스캔하여 얻어진 10개의 동일한 파일을 이용하여 상악 우측 제1 소구치, 상악 우측 제1 대구치의 단일 치관을 디자인하였다. 그리고, 같은 스캔 파일을 이용하여 상악 우측 제

1 소구치와 상악 우측 제1 대구치가 지대치로 되어 있는 교의치 형태의 3본 교의치 고정성 보철물 디자인 하였다. 디자인은 치과용 CAD 프로그램 (Dent CAD,

Delcamplc., Birmingham, UK)으로 디자인하였고, 크라운 디자인을 동일하게 제작하기 위해서 수정을 하지 않고 프로그램 내에 저장되어 있는 형태를 그대로 사



Figure 1. Single and three-unit fixed model.

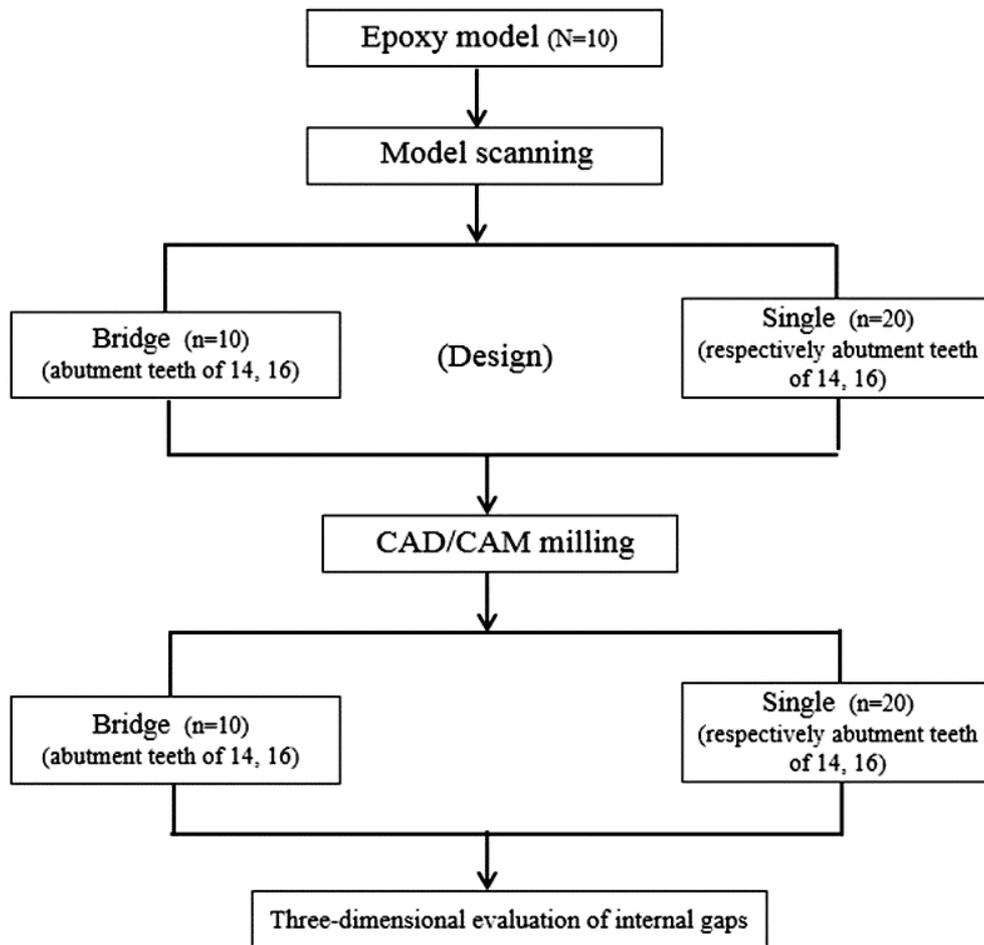


Figure 2. Schematic design of study workflow chart

용 하였다. 디자인 파일은 CAM 프로그램 (GO2dental, GO2cam International, Terreaux, Lyon, France)으로 공구 가공 경로를 생성하였다. 공구 가공 경로의 생성이 완료 되면 각각 NC 파일로 저장하여 5축 밀링 장비 (DWX-50, Roland DG Corporation, Shizuoka, Japan)에 적용 시켜 상악 우측 제1 소구치, 상악 우측 제1 대구치 단일 치관을 각각 10개씩, 3본 교의치 크라운 10개를 밀링 하였다 (Fig. 1), (Fig. 2). 크라운 제작에 사용된 블록은 PMMA 재료 중의 하나인 우레탄 블록 (innoBlanc®model, innoBlanc GmbH, Gewerbepark, Engelsbrand)을 사용하였다.

3. 3차원 측정

밀링된 보철물은 실리кон 인상재 (Aquasil Ultra XLV, Dentsply DeTrey GmbH)를 보철물 내면에 주입한 후 주모형 지대치에 적합시켰다. 10분동안 50N의 동일한 힘으로 실리кон이 완전히 중합 될 때까지 압축장비로 압축 시켰다. 완전히 중합 된 후 보철물을 제거하고 지대치 위에 있는 실리кон의 얇은 막을 치과용 블루 라이트 스캐너로 스캔하여서 STL 파일을 얻었다. 보철

물과 지대치사이의 적합도는 3차원 분석 소프트웨어 (Geomagic Verify 2015; Geomagic GmbH, Leipzig, Germany)를 사용하여 측정하였다. 주모형과 각각 실리кон 스캔 데이터를 Auto Alignment로 배열을 한 후, Align Best Fit을 통해 다시 한번 배열을 해주었다. 그리고 Whole Deviation을 통해 color-map으로 나타내었다 (fig. 3). 중첩을 통하여 얻은 적합도의 차이는 root mean square (RMS)값으로 표현하였다.

4. 통계분석

주모형과 단일 치관과 3본 교의치 스캔데이터를 각각 RMS값, 표준편차, 95% CI 등의 통계량을 제시하였다. 정확한 검증을 위하여 먼저 Levene test를 통하여 그룹간의 분산이 같다고 가정할 수 있었다. t-test를 시행하고 측정 오차를 산출하였으며, 통계적 유의수준은 0.05로 하였다. 측정된 결과들은 통계적 유의성을 검증하기 위하여 통계 프로그램 (SPSS Statistics 20.0, IBM, Chicago, IL, USA)를 이용하여 분석하였다.

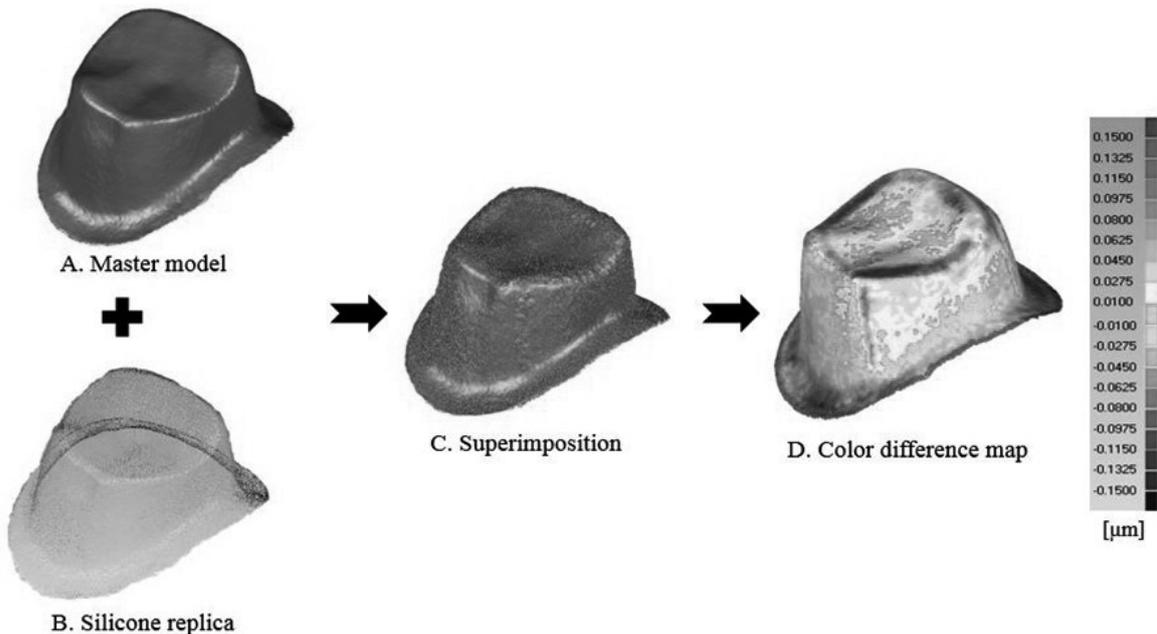


Figure 3. Three-dimensional measurement for internal gap. A, Master model: scanning epoxy model with dental scanner; B, Silicon replica: point cloud data from digital replica; C, Superimposition: master model data and digital silicone replica data was measured by superimposing the two; D, Color difference map.

III. 결과

Table 1에서 소구치의 RMS의 값은 단일 치관일 때, $38.4 \pm 4 \mu\text{m}$ 이고, 3본 교의치일 때 $54.7 \pm 6 \mu\text{m}$ 으로 같은 지대치의 형태를 가지고 있더라도 단일치관과 3본 교의치일 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 대구치의 RMS의 값은 단일 치관일 때 $47.6 \pm 2 \mu\text{m}$ 이고, 3본 교의치일 때 $56.6 \pm 5 \mu\text{m}$ 으로 같은 지대치의 형태를 가지고 있더라도 단일 치관과 3본 교

의치일 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

Color-difference map에서는 단일치관과 3본 교의치를 비교하면 소구치와 대구치 모두 동일하게 3본 교의치가 단일치관에 비해 양의 오차와 음의 오차가 더 진하고 넓게 퍼져있는 것을 확인 할 수 있기 때문에 오차가 더 크다는 것을 확인 할 수 있다. 빨간점은 가장 많이 차이 나는 한 점을 표시한 것이고, 파란점은 가장 적게 차이 나는 한 점을 표시한 것이다. 대부분 변연 부위에서 파란점을 볼 수 있으므로 변연 쪽이 가장 적합이 좋

Table 1. RMS(μm) of three-dimensional gaps associated with single and three-unit fixed dental fabricated with CAD/CAM milling system

	Three-dimensional evaluation of internal Gap (μm)			
	Single		Bridge	
	RMS \pm SD	95% CI	RMS \pm SD	95% CI
Pre-molar(14)	38.4 ± 4	34.9 - 42.0	$54.7 \pm 6^*$	50.1 - 59.3
Molar(16)	47.6 ± 2	45.7 - 49.5	$56.6 \pm 5^*$	52.3 - 60.9

RMS, root mean square ; CI, confidence interval
 *Statistically significant difference ($p < 0.05$).

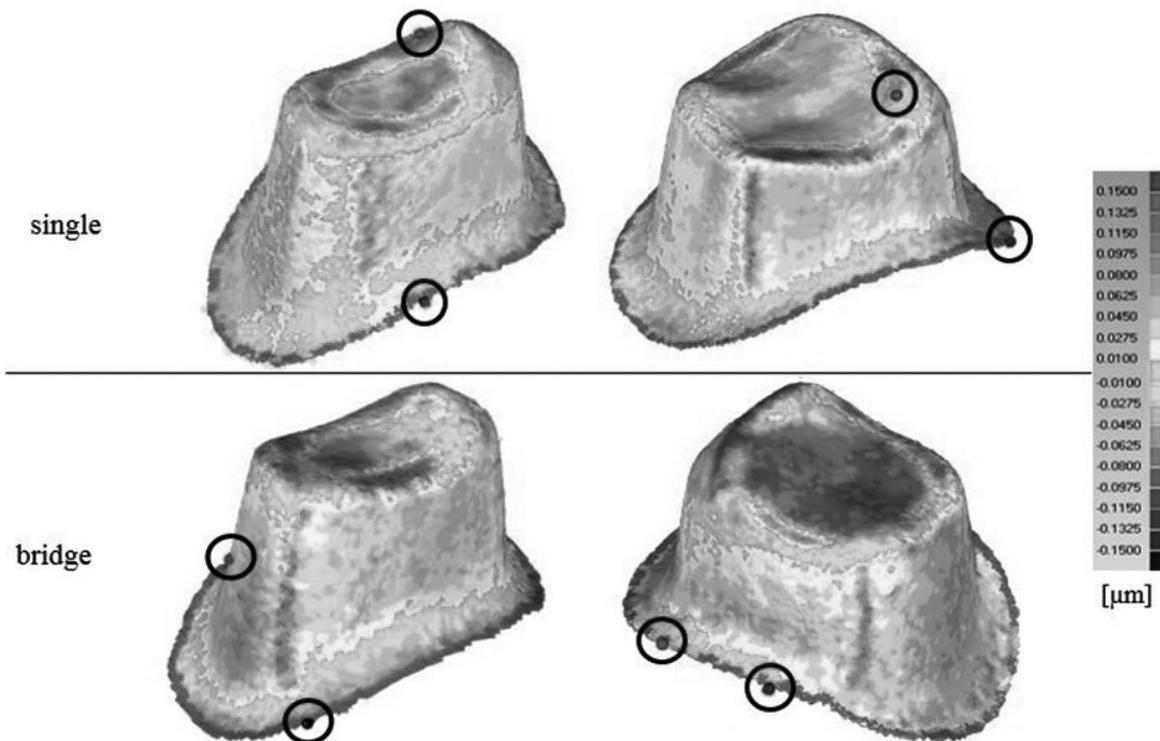


Figure 4. Three-dimensional deviation of single and three-unit fixed dental restoration of color difference map.

다고 볼 수 있겠고, 빨간 점은 대부분 교합면 부위에서 보여지므로 교합면 부분이 가장 적합도가 좋지 않다고 보여진다 (Fig. 4).

IV. 고찰

본 연구의 목적은 캐드캠 밀링 시스템으로 제작된 단일치관과 3본 교의치 고정성 보철물의 내면적합도를 평가한 것이다. 본 연구의 결과에 따르면 단일치관과 3본 교의치를 비교해보니 소구치와 대구치에서 모두 유의한 차이를 보였다. Figure 4에서 보여준 정량적 분석에서도 설명된 것과 같이 대부분 교합면 부분에서 오차가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 단일치관과는 다르게 3본 교의치 형태의 보철물일 경우에는 절삭하는 공구의 각도가 보철물의 형태나 지대치의 축 방향에 따라서 한정한 밀링 블럭의 두께에 맞추어 배열하여 작업하기 때문에 절삭각도나 가공 방향 등이 달라질 수 있다 (de Souza at al, 2014). 또한 선행연구에서 공구는 홀더 파트에서 외팔보 상태로 되어있기 때문에 절삭력 (cutting force)에 의해 원하지 않는 표면의 오차를 발생 시킬 수 있다고 설명하였다 (Kim at al, 2003). 이러한 이유 때문에 단일치관보다 3본 교의치의 보철물이 더 큰 오차를 보인다고 이야기 할 수 있다.

본 연구에 사용된 지대치는 전체 치아 중에서 등글고면적이 있어서 대표성을 떨 수 있다 (Nakamura at al, 2002; Pradies at al, 2015). 기존의 여러 논문에서도 연구에 사용된 지대치를 이용해 스캔의 정확도 및 캐드캠을 이용한 보철물의 정확도 등의 연구가 진행되었다 (Rudolph at al, 2007; Quaaas at al, 2007). 따라서 본 연구를 통해 치아의 대표성을 가진 지대치를 통해 보철물의 적합도 평가는 의미가 있다. 또한 본 연구에서 사용된 5축 밀링 장비는 언더컷의 절삭도 쉽게 제작이 가능하며 복잡한 형상을 가공하기에 적합하다. 또한 오차를 줄이기 위해 그룹별로 크라운의 제작이 완료되면 캘리브레이션을 실시함으로써 본 연구의 신뢰성 제고를 위해 노력했다.

본 연구에서는 우레탄재질의 블럭을 이용해 보철물을

제작하였다. 우레탄 블럭은 Mock-up과 절삭가공 장비의 가공물 테스트를 위한 재료로 사용된다. 본 재료는 1:1로 깎을 수 있는 장점이 있으며, 재료의 표면 거칠기가 우수하여 부드러운 표면을 형성한다. 또한 낮은 열팽창계수로 형태의 안정성이 우수하고, 스캔을 위한 이상적인 색으로 이루어져 있어 3차원 측정을 하기에 가장 적합한 재료로 사용되고 있다 (Kim at al, 2014). 따라서 본 연구에 사용된 우레탄 재질의 블럭은 내면적합도를 3차원 적으로 분석하기 위해 제작되는 보철물의 재료로 적합하다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 있다. 먼저 본 연구를 위해 사용된 지대치는 표준치형(standard die)으로 환자의 임상적인 상태와 다르다. 하지만 표준 치형을 이용해 평가했기 때문에 대표성을 가질 수 있다. 또한 임상에서는 사용되지 않는 재료인 우레탄 재질의 block을 사용했지만, 이는 재료가 가지는 오차를 제거 했기 때문에 의미가 있다. 따라서 향후 연구에서는 임상적인 지대치를 이용할 뿐만 아니라, 좀더 여러 종류의 형태를 가지고 long-bridge의 형태의 보철물까지 연구가 필요하다고 생각한다.

V. 결론

본 연구의 결과에서는 단일치관 보철물이 3본 교의치 보철물보다 내면적합에서 좋은 결과를 보여주었다. 3본 교의치 형태의 보철물일 경우에는 절삭하는 공구의 각도가 보철물의 형태나 지대치 축 방향에 따라서 한정한 밀링 블럭의 두께에 맞추어 배열하여 작업하기 때문에 절삭력 (cutting force)에 의해 원하지 않는 표면의 오차를 발생 시킬 수 있으며, 결과적으로 단일치관으로 제작한 보철물이 더욱 좋은 내면적합의 결과를 보여주었다.

참고문헌

Anadioti E, Aquilino SA, Gratton DG, et al. 3D and

- 2D Marginal Fit of Pressed and CAD/CAM Lithium Disilicate Crowns Made from Digital and Conventional Impressions. *J Prosthodont*. 2014; 23(8): 610-617.
- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br dent J*. 2008; 204(9): 505-511.
- De Souza AF, Diniz AE, Rodrigues AR, Coelho RT. Investigating the cutting phenomena in free-form milling using a ball-end cutting tool for die and mold manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 2014; 71: 1565-1577.
- Kim GM, Kim BH, Chu CN. Estimation of cutter deflection and form error in ball-end milling processes. *Int J March Tools Manufact*, 43: 917-924, 2003.
- Kim JH, Kim KB, Kim WC, Kim JH, Kim HY. Accuracy and precision of polyurethane dental arch models fabricated using a three-dimensional subtractive rapid prototyping method with an intraoral scanning technique. *Korean J Orthod* 2014; 44: 69-76.
- Kim JH, Kim KB, Kim WC, Rhee HS, Lee IH, Kim JH. Influence of various gypsum materials on precision of fit of CAD/CAM-fabricated zirconia copings. *Dent Mater J*, 34(1), 19-24, 2015.
- 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, 1432-1436, 2014.
- Nakamura T, Dei N, Kojima T, Wakabayashi K. Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont*, 16, 244-248, 2003.
- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent*, 112, 555-560, 2014.
- Park JK, Lee WS, Kim HY, Kim WC, Kim JH. Accuracy evaluation of metal copings fabricated by computer-aided milling and direct metal laser sintering systems. *J Adv Prosthodont*, 7(2), 122-128, 2015.
- Pradíes G, Zarauz C, Valverde A, Ferreiroa A, Martínez-Rus F. Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent*, 43, 201-208, 2015.
- Quaas S, Rudolph H, Luthardt RG. Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations. *J Dent*, 35, 903-908, 2007.
- Rekow D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art. *J Prosthet Dent*, 58(4), 512-516, 1987.
- 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, 579-587, 2007.
- Samet N, Resheff B, Gelbard S, Stern N. A CAD/CAM system for the production of metal copings for porcelain-fused-to-metal restorations. *J Prosthet Dent*, 73(5), 457-463, 1995.
- Shah S, Sundaram G, Bartlett D, Sherriff M. The use of a 3D laser scanner using superimpositional software to assess the accuracy of impression techniques. *J Dent*,

32, 653-658, 2004.

Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice K. Marginal fit of alumina- and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper dent*, 26(4), 367-374, 2001.

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

Vafiadis D, Goldstein G. Single visit fabrication of a porcelain laminate veneer with CAD/CAM technology: a clinical report. *J Prosthet Dent*, 106(2), 71-73, 2011.