

## 치과용 3D 프린팅 시스템에 의해 출력된 보철물의 품질 평가

한 만 소

대전보건대학교 치기공과

### An evaluation of quality of dental prostheses printed by dental 3-dimensional printing system

Man-So Han

Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

#### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study were to evaluate the quality of dental prostheses printed by 3-dimensional printing system.

**Methods:** Mater model was prepared and ten study models were fabricated. Ten single crowns were printed by 3D-printing system(Resin group) and another ten single crowns using casting method were manufactured(Metal group). The marginal adaptation of single crowns were measured using by silicone replica technique. Silicone replicas were sectioned four times. The marginal adaptations were evaluated using by digital microscope. Statistical analyses were performed with Mann-Whitney test( $\alpha=0.05$ ).

**Results:** Mean  $\pm$  standard deviations of all marginal adaptations were 92.1(20.0) $\mu\text{m}$  for Metal group and 69.7(12.3) $\mu\text{m}$  for Resin group. Two groups were no statistically significant differences( $p>0.05$ ).

**Conclusion:** Marginal adaptation of single crowns printed by 3D-printing system were ranged within the clinical recommendation.

○**Key words** : Additive manufacturing, Fitness, Marginal fit, Marginal gap

교신저자	성명	한 만 소	전화	042-670-9180	E-mail	mshan@hit.ac.kr	
	주소	대전시 동구 충청로21 대전보건대학교					
접수일	2016. 7. 25		수정일	2016. 8. 22		확정일	2016. 9. 12

## I. 서론

최근 치과용 보철물의 제작 기술 및 재료의 지속적인 발전으로 인해 기공소에도 많은 변화가 일어나고 있다. 대표적인 치과 보철물의 재료들인 금속, 레진, 도재 등은 그동안 그들의 재료학적 성질을 이용한 주조법, 전입법, 소결법에 의해 제작되었다. 이러한 방법들은 비교적 정밀한 방법인 반면 철저히 수작업에 의존한다. 또한 보철물이 완성되기까지 많은 시간이 소요된다는 점과 재료의 낭비가 심한 점, 작업자의 숙련도에 의해 보철물의 질적인 부분이 결정되는 것은 위 방법들의 단점이다(Miyazaki et al, 2009).

치과 재료가 발전하면서 금속, 도재, 레진의 큰 틀 안에서 재료들의 다양성이 확보됨에 따라 다양한 형태의 재료들이 소개되고 있고, 이들 재료들을 제어하기 위해 제조업에서 활발히 활용되는 자동화 시스템이 치과기공계로 적용되고 있다. 컴퓨터를 활용한 보철물의 스캐닝 작업부터 전용 CAD(Computer Aided Design) program을 활용한 보철물의 설계 방법, CNC(Computer Numerical Control) 기반의 가공방법 그리고 3D 프린팅 방법을 활용한 출력방법 등이 최근의 보철물 제작 기술로 활발히 이용되고 있다(Kim et al, 2012). 이러한 방법들은 앞서 설명한 여러 단점들을 보완하여 준다. 환자의 인상채득 작업이 스캐너를 활용한 스캐닝 형식으로 변화되면서 석고 모형이 아닌 컴퓨터 파일로 환자의 구강 정보가 기록되므로 환자 정보의 저장이 물리적 환경에 영향을 받지 않게 되었으며, 특히 환자의 치료 시간 및 기공사들의 보철물 제작 소요시간을 획기적으로 단축하여 주며, 제작자들의 숙련도에 크게 의존하지 않는 것은 가장 큰 장점이다(Kim et al, 2014).

석고 모형에 치과용 왁스를 이용하여 보철물을 설계하던 것이 CAD program을 활용한 컴퓨터 모니터 상의 설계 과정으로 바뀌었고, 주조, 중합, 소성에 의해 제작되던 보철물들은 밀링 장비의 가공, 3D 프린터의 출력 방법으로 바뀌었다. 초창기 대부분의 치과용 캐드캠들은 보철물을 블록형태의 재료를 이용하여 불필요한 부분을 절삭, 삭제하는 방법에 의해 보철물을 완성하였다. 그러나 재료의 낭비가 심한 점과 함몰부위(under cut)의 양이 많은

경우 재현이 불가능한 점 등은 이 방법의 단점으로 지적되었다. 이 단점들은 보완하고자 3D 프린팅 기법을 활용한 보철물 제작 기술이 도입이 되었는데, 이 방법의 경우 블록형태의 재료가 아닌 가루 혹은 액상의 재료를 필요한 부분만 고온의 레이저를 이용하여 부분적으로 소결하는 방법을 통해 보철물을 제작하게 된다. 재료의 낭비가 없으며, 보철물 형태의 재현 능력이 비교적 우수한 것이 장점이다.

현재 3D 프린팅 출력 기법은 치과계에 다양한 형태로 활용되고 있는데, 치과용 모형(model), 인레이(inlay), 관교의치(crown and bridge), 부분의치(partial denture), 총의치(full denture) 그리고 교정장치물(orthodontic appliance)의 출력 등, 활용 범위가 매우 넓으며, 이는 앞으로 더욱 확대될 전망이다. 이에 반해 이와 관련한 연구는 현재 부족한 실정이다. 최신 기술과 재료들이 끊임없이 개발될수록 이와 관련한 활발한 연구 진행이 무엇보다 중요하다고 생각한다.

무엇보다 제작되는 보철물의 품질과 관련한 연구가 중요하다고 생각하는데, 보철물의 품질이 좋고, 나뻐에 따라 환자가 받는 의료 서비스의 만족도가 좌우되기 때문이다. 때문에 본 연구에서는 3D 프린팅 장비에 의해 출력된 레진 계열 단관의 품질을 평가해보고자 한다. 단관의 품질을 평가하는 기준은 여러 가지가 있지만, 무엇보다 중요한 것은 해당 단관의 변연 적합도라고 생각한다(Tuntiprawon and Wilson, 1995). 본 연구의 목적은 치과용 3D 프린팅 시스템에 의해 출력된 단관의 품질 평가를 변연 적합도에 의해 가능하여 보고자 함이며, 연구 결과를 통해 해당 분야에 종사하는 임상가들에게 참고자료를 제시하고자 함이다.

## II. 연구 방법

### 1. 주 모형과 연구 모형

연구 진행을 위한 주 모형으로써 환자의 치아를 가장한 가상의 상악 우측 제1대구치 치형(Frasaco GmbH, Tettngang, Germany)을 선택하였다. 지대치로 삭제하고자 치형의 치면은 1.2 mm의 깊이로 삭제하였고, chamfer

형태로 변연을 형성하였다. 치아의 측벽 각도는 12°로 설계하였으며, 설계가 끝난 후 티타늄 블록을 이용해 Fig. 1과 같은 주 모형을 제작하였다. 주 모형으로부터 연구 모형을 제작하고자 치과용 실리콘(Deguform; DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)을 활용해 5개의 몰드를 제작하였고, 경화가 끝난 실리콘 몰드 내에 치과용 스캐너 전용 석고(Everast Rock; KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Germany)를 권장 혼수비를 숙지하여 진공 혼합 뒤 주입하였다. 석고의 최종 경화가 끝난 뒤 몰드에서 분리하는 방식으로 10개의 연구 모형이 제작되었다.



Fig. 1. The titanium master model

**2. 시편 제작(실험군: 3D 프린팅, 대조군: 주조법)**

실험군을 제작하고자 3D 프린팅 기법을 이용하였다. 석고를 이용하여 제작한 5개의 연구모형들을 기공소용 스캐너(D-700, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 활용하여 디지털 모형으로 변환하였고, 디지털 모형은 치과용 CAD 프로그램(Dental designer, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)으로 해당 보철물을 설계하였다. 설계가 끝난 후 해당 정보를 파일로 저장한 뒤 저장된 파일은 치과용 3D 프린터(ProJet 3500 HD max, CEP tech, Seoul, Korea)를 활용하여 실험군 시편 10개를 완성하였다(Resin group).

설계된 정보를 토대로 광중합 레진을 고온의 레이저를 이용하여 조사를 하게 되면, 조사된 부분만 한정적으로 약 20µm 두께의 얇은 층으로 중합이 완료되는데, 이와 같은 과정을 반복함으로써 최종 보철물이 완성된다(Fig. 2). 제작된 실험군들의 품질을 비교 평가하기 위한 대조군을 제작하였다. 대조군의 제작은 전통적인 제작 방식인 주조법에 의하여 대조군 총 10개를 제작하였다(Metal group).

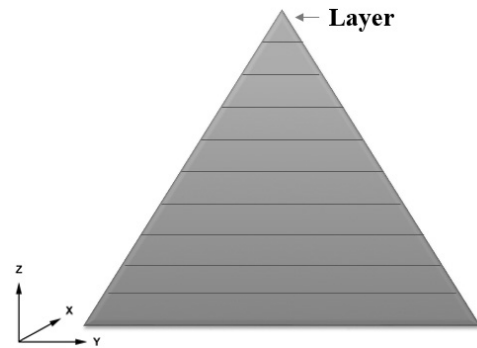


Fig. 2. The principle of 3-dimensional printing method

**3. 변연 적합도의 정의와 측정**

3D 프린팅에 의해 제작된 레진 단관의 변연 적합도를 분석하기 위해 본 연구에서는 치경선에서 보철물까지 수직적인 거리로 변연 적합도를 정의하였다(Fig. 3). (Kokubo et al 2005). 측정의 신뢰도를 위해 각 시편 당 <Fig. 4>와 같이 총 8군데를 측정하였으며, 측정은 실리콘 복제 방법을 이용하였다. 이 방법의 경우 적합도와 관련한 많은 선행 연구에서 신뢰성과 정확성이 검증된 방법으로써 보철물과 지대치와의 공간을 연질의 실리콘으로 복제한 뒤 복제된 실리콘의 두께를 측정하는 방법이다.

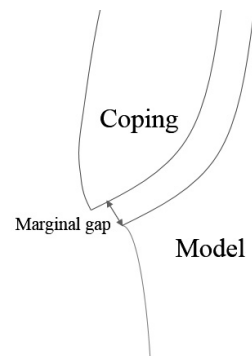


Fig. 3. The definition of marginal adaptation

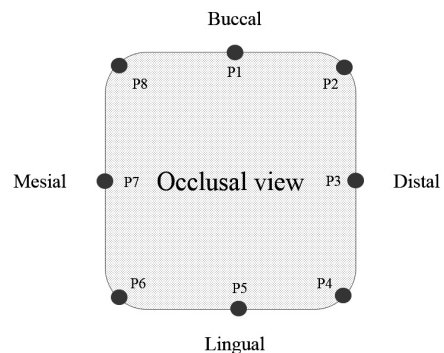


Fig. 4. The measurements of marginal gap

제작된 시편은 신뢰성 있는 변연 적합도의 측정을 위해 별도로 추가 정리를 하지 않았다. 각각의 단관 내면에 연질의 실리콘(Aquasil Ultra XLV, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 가득 채운 후 각자 할당된 연구 모형에 압력을 가하였다. 압력은 치아 장축 방향으로 일정한 압력을 부여하였으며, 압력 방법은 손가락의 힘을 이용하였다. 압력은 실리콘의 최종 경화가 끝날 때까지 지속하였다. 연질의 실리콘이 최종적으로 경화된 후 연구모형에서 보철물만 조심스레 분리하였다. 경화가 끝난 연질 실리콘 위에 경질의 실리콘을 도포하였으며, 도포의 목적은 내면의 공간이 복제된 연질의 실리콘의 경우 두께가 매우 얇아 형태 유지가 어려우므로 측정이 무리가 있기 때문이다. 연질 실리콘 위에 경질 실리콘을 도포하면 형태 유지가 가능하며, 비교적 측정이 용이해진다. 경질 실리콘까지 최종 경화가 끝나면 실리콘 복제본이 완성되는데 완성된 실리콘 복제본은 8개의 조각으로 절단하였으며, 절단된 단면에서 관찰되는 연질 실리콘의 두께를 디지털 전자 현미경으로 160배 확대하여 측정하였다(Fig. 5).

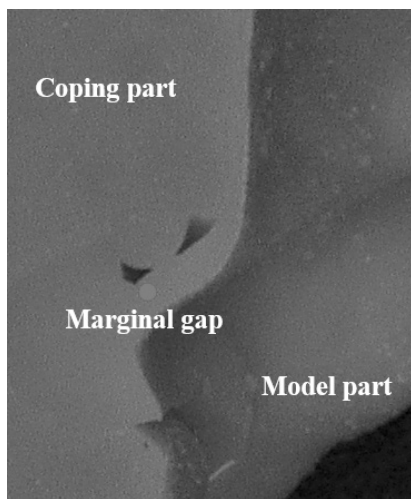


Fig. 5. The evaluation of marginal gap (Orange color: light body silicone, Sky color: heavy body silicone)

#### 4. 통계 분석

실험군(AM group), 대조군(CM group) 총 20개의 시편에서 측정된 부위별 내면간격의 평균과 표준편차를 산출한 후 두 집단의 내면간격의 평균이 유의한지 알아보기 위하여 독립표본 t-검정을 수행하였다(제1종 오류수준:

0.05). 본 연구에서 수행된 모든 통계분석은 전용 프로그램(IBM SPSS statistics ver. 22.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다.

### III. 결 과

3D 프린팅 기술에 의해 제작된 보철물의 변연 적합도는 <Table 1>과 같다. P1의 변연 적합도의 평균  $\pm$  표준편차는  $87.3 \pm 5.1 \mu\text{m}$ 이었고, P2는  $76.0 \pm 10.7 \mu\text{m}$ , P3  $86.9 \pm 5.6 \mu\text{m}$ , P4  $80.0 \pm 8.9 \mu\text{m}$ 이었으며, P5는  $83.0 \pm 9.0 \mu\text{m}$ , P6  $75.6 \pm 9.7 \mu\text{m}$ , P7  $80.5 \pm 7.4 \mu\text{m}$ 이었고, P8은  $90.4 \pm 9.7 \mu\text{m}$ 로 조사되었다(Resin group, Table 1). 대조군인 주조 방식에 의해 제작된 metal group의 변연 적합도는 P1은  $65.5 \pm 6.3 \mu\text{m}$ 이었고, P2  $55.0 \pm 8.7 \mu\text{m}$ , P3  $69.1 \pm 6.6 \mu\text{m}$ , P4는  $56.9 \pm 7.6 \mu\text{m}$ 이었으며, P5에서는  $74.0 \pm 7.6 \mu\text{m}$ , P6은  $60.2 \pm 10.1 \mu\text{m}$ , P7  $72.1 \pm 5.4 \mu\text{m}$ 이었으며, P8은  $57.2 \pm 9.0 \mu\text{m}$ 으로 조사되었다(Metal group, Table 1). 두 집단에서 측정된 8군데의 평균을 비교 평가하기 위하여 실시한 Mann-Whitney test 결과에서는 측정된 8군데에서 모두 유의하지 않았다( $p > 0.05$ , Table 1).

Table 1. Mean  $\pm$  standard deviations of marginal gaps of metal group and resin group at 8 points

Point	N			p-value
		Metal group	Resin group	
1	10	$65.5 \pm 6.3$	$87.3 \pm 5.1$	0.338
2	10	$55.0 \pm 8.7$	$76.0 \pm 10.7$	0.199
3	10	$69.1 \pm 6.6$	$86.9 \pm 5.6$	0.481
4	10	$56.9 \pm 7.6$	$80.0 \pm 8.9$	0.548
5	10	$74.0 \pm 7.6$	$83.0 \pm 9.0$	0.437
6	10	$60.2 \pm 10.1$	$75.6 \pm 9.7$	0.937
7	10	$72.1 \pm 5.4$	$80.5 \pm 7.4$	0.157
8	10	$57.2 \pm 9.0$	$90.4 \pm 9.7$	0.479

각 부위 별로 두 집단을 비교 평가한 후 측정된 모든 값을 대상으로 두 집단을 비교하였다. 80군데에서 측정된 변연 적합도를 비교한 결과 resin group은  $82.5 \pm 9.6 \mu\text{m}$ 으로 조사되었고, metal group은  $63.8 \pm 10.2 \mu\text{m}$ 로 조사되었다(Fig. 6). 두 집단의 평균을 비교 평가하기 위해 실

시한 Mann-Whitney test에서는 두 집단의 평균이 서로 유의하지 않은 것으로 조사되었다( $p=0.396$ ).

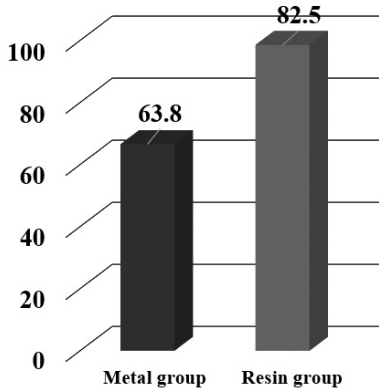


Fig. 6. Total mean of marginal gaps of metal group and resin group at 8 points (N=80), ( $p=0.396$ )

#### IV. 고찰

최근 제조기술의 눈부신 발전에 힘입어 치과 보철물 제작 기술 또한 빠르게 발전하고 있다. 특히 치과용 CAD-CAM과 3D 프린팅 기술은 다양한 신재료와 제작 기술의 발전을 주도하고 있으며, 이들 기자재들은 다양한 형태로 시판되고 있다. 때문에 최신 기자재들을 이용하여 제작된 보철물들의 임상적 허용 가능 여부의 평가는 무엇보다 중요하다 생각한다. 본 연구에서는 최근 도입된 3D 프린팅 기술로 제작된 보철물의 품질 평가를 보철물의 변연 적합도를 가늠하여 보고자 하였다.

실험군으로써 3D 프린팅 기술로 단관을 10개 제작한 후 실험군을 비교 평가하기 위한 대조군은 동일한 증례의 모형을 대상으로 주조 기술을 통해 단관 10개를 제작하였다. 제작된 총 20개 시편의 변연 적합도를 실리콘 복제 방법을 이용해 측정하였다. 측정은 각 시편 별로 총 8군데를 측정하였으며, 그 결과 측정된 모든 부위에서 실험군인 3D 프린팅 기술에 의해 제작된 집단이 주조 기술에 의해 제작된 집단보다 변연 간격이 큰 것으로 조사되었으나 통계적으로 유의하진 않았다.

연구 결과를 볼 때 3D 프린팅으로 제작된 보철물들이 비록 주조방식에 의해 제작된 것들보다 적합도가 우수하지 못한 것으로 조사되었는데, 이에 대한 원인으로는 다

양하겠지만, 가장 큰 원인 중에 하나는 3D 프린팅 기술로 출력된 보철물의 재료가 레진인 것이 하나의 원인인 것으로 사료된다. 레진 프린팅의 경우 광중합 레진계열의 재료를 이용하게 되는데, 출력 당시 100% 중합이 완료되는 것이 아니므로 출력이 끝난 보철물들의 수축과 뒤틀림 변형이 있었을 것으로 예상되며, 이런 변형들이 최종 보철물의 적합도에 좋지 못한 영향을 미친 것으로 생각된다.

이외에도 보철물의 적합도에 영향을 미치는 요인으로는 지대치의 형태, 변연 설계의 형태, 보철물의 크기, 재료, 적합도 측정 방법, 측정 시 사용되는 재료 등 다양한 요인이 있으므로 원인을 정확하게 규명하기 힘든 것이 사실이다(Shillingburg et al, 1973). 본 연구에서는 언급된 다양한 요인들을 모두 제어하지 못했으며, 이는 본 연구의 한계점으로 지적된다. 지대치의 형태로는 측정의 표준화를 위해 하나의 증례를 선택하였으며, 변연 설계도 chamfer type으로 통일하였다. 보철물의 크기에서도 long span이 아닌 single case를 채택하였으므로 추후의 연구에서는 다양한 case의 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 사용된 적합도 측정 방법은 실리콘 복제 기술로서 이미 많은 연구에서 정확도와 신뢰성이 검증된 방법이다(Reich, 2008). 이 방법의 측정 방법의 편리함, 측정 재료의 비파괴 등의 장점(Harris and Wickens, 1994) 때문에 적합도 관련 연구에서 가장 많이 활용되는 방법 중 하나이다(Wettstein et al, 2008). 단점으로는 내면이 복제된 실리콘의 두께를 측정하는 방법을 이용하므로 실리콘의 변형 등으로 인한 측정 값의 오차 등이 우려된다. 또한 적합도의 측정을 다양하게 할 수 없다는 것은 본 측정 방식의 한계점으로 지적된다. 선행 연구에서는 보철물의 적합도를 신뢰도 있게 논하기 위해서는 적어도 single case 하나 당 50군데 이상은 측정되어야 한다고 보고되었다(Groten et al, 2000). 실리콘 복제 기술은 위의 조건을 만족시키기에는 다소 무리가 있으며, 이런 방식의 보완법으로써 최근 컴퓨터를 이용한 적합도 측정법이 보고되었다(Luthardt et al, 2004).

본 연구의 의의는 최근 임상적으로 도입되고 있는 3D 프린팅으로 제작된 단관의 임상적 품질 평가를 변연 적합도를 기준으로 하였다는 점에서 의의가 있다. 비록 주조

방식에 의해 제작된 보철물보다 변연 적합도가 우수하지 못한 것으로 조사되었으나 임상적으로 허용이 가능하였다. 고정성 보철물들의 임상적 허용 수치로서는 의견이 다양하다. 어떤 연구자는 50 $\mu$ m을 제시하였으나(Ostlund, 1985) 이는 현실적으로 불가능한 수치로 여겨져 100 $\mu$ m(Moldovan et al, 2006), 120 $\mu$ m(McLean and von fraunhofer, 1971), 200 $\mu$ m, 300 $\mu$ m(Moldovan et al, 2006)까지도 추후 임상적 허용 수치로 적절하다는 연구가 보고되었다. 선행 연구에 비추어 볼 때 3D 프린팅으로 제작된 단관의 변연 적합도는 대부분의 연구자가 주장한 임상적 허용 수치 내에 존재하는 것으로 평가됨에 따라 임상적으로 허용이 가능할 것으로 사료된다. 다만 주조 방식의 적합도 만큼 우수하기 위해서는 다양한 연구를 토대로 보완되어야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 최신 기술인 치과용 3D 프린팅 기술을 이용해 제작한 보철물의 품질 평가를 변연 적합도를 기준으로 가늠해보고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 3D 프린팅 기술로 제작된 보철물이 주조를 통해 제작된 보철물의 변연 적합도 보다 우수하지 못하였으나 통계적으로 유의하지 않았다.

측정된 수치는 몇몇 연구자들이 제시한 임상적 허용 수치 내에 존재하는 것으로 볼 때 임상적으로 허용이 가능할 것으로 보이나 주조 기술만큼의 높은 정확도를 위해서는 앞으로 다양한 연구를 통해 해당 기술이 개선되어야 할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 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, 40-49, 2000.
- Harris IR, Wickens JL. A comparison of fit of spark-eroded titanium copings and cast gold alloy copings. *Int J Prosthodont*, 7, 348-355, 1994.
- Kim KB, Lee GT, Kim HY, Kim JH. The influence of different gypsum materials on the accuracy from complete arch digital impression. *J Dent Hyg Sci*, 12, 617-623, 2012.
- Kim JH, Kim WS, Kim KB. Evaluation of marginal gap of fixed dental prostheses fabricated by soft metal material using dental CAD/CAM. *J Dent Hyg Sci*, 14, 349-355, 2014.
- Kokubo Y, Nagayama Y, Tsumita M, Ohkubo C, Fukushima S, Vult von Steyern P. Clinical marginal and internal gaps of in-ceram crowns fabricated using the GN-I system. *J Oral Rehabil*, 32, 753-758, 2005.
- Luthardt RG, Bornemann G, Lemelson S, Walter MH, Hüls A. An innovative method for evaluation of the 3-D internal fit of CAD/CAM crowns fabricated after direct optical versus indirect laser scan digitizing. *Int J Prosthodont*, 17, 680-685, 2004.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107-111, 1971.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28, 44-56, 2009.
- Moldovan O, Rudolph H, Quaas S, Bornemann G, Luthardt RG. Internal and external fit of CAM-made zirconia bridge frameworks - a pilot study. *Dtsch Zahnztl Z*, 61, 38-42, 2006.
- Ostlund LE. Cavity design and mathematics: their effect on gaps at the margins of cast

restorations. Oper Dent, 10, 122-137, 1985.

Reich S, Kappe K, Teschner H, Schmitt J. Clinical fit of four-unit zirconia posterior fixed dental prostheses. Eur J Oral Sci, 116, 579-584, 2008.

Shillingburg HT, Hobo S, Fisher DW. Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. J Prosthet Dent, 29, 276-284, 1973.

Tuntiprawon M, Wilson PR. The effect of cement thickness on the fracture strength of all-ceramic crowns. Aust Dent J, 40, 17-21, 1995.

Wettstein F, Sailer I, Roos M, Hammerle CH. Clinical study of the internal gaps of zirconia and metal frameworks for fixed partial dentures. J Oral Sci, 116, 272-279, 2008.