

## 지르코니아 블록과 CAM 종류에 따른 코핑의 변연적합도와 기계적 특성 비교

정인성, 전병욱, 김원영, 강재민  
부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

### Comparison on marginal fitness and mechanical properties of copings with zirconia block and CAM type

In-Sung Chung, Byung-Wook Jeon, Won-Young Kim, Jae-Min Kang

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

#### [Abstract]

**Purpose:** This study provided the basic data for selection the zirconia block and CAM by means of marginal fitness observations, flexural strength test and hardness test.

**Methods:** Three dental zirconia blocks(ABCera, NaturaZ, ST98) and two dental milling machines(CAD/CAM MS, DWX-50) were used in this study. Metal abutment(diameter 10 mm, height 5 mm, inclined angle 3° taper, 1 mm chamfer margin) was fabricated by Ti customized abutment, and then zirconia copings were fabricated for each ten specimens. Silicone replica technique was used to observe the marginal fitness of cross-sections with a stereomicroscope at ×50 magnification. The dental zirconia blocks was cut into 10 pieces each having a size of 25 mm × 5 mm × 1 mm, and fabricated according to the manufacturer's instructions, and flexural strength was measured using a universal testing machine. For hardness test, a micro Vickers hardness tester was used as it was in the flexural strength test. Statistical analysis was performed by one way ANOVA and post-test was performed by Scheffe test.

**Results:** For marginal fitness of bucco-lingual axial, ZU group( $59.7 \pm 10.3 \mu\text{m}$ ) was the lowest, followed by RA, ZA, ZD, RD, RU. For marginal fitness of mesio-distal axial, ZU group( $59.3 \pm 10.2 \mu\text{m}$ ) was the lowest, followed by RA, ZA, RD, ZD, RU. One-way ANOVA showed statistically significant difference between groups( $p < 0.05$ ). For flexural strength, ABCera block( $718.0 \pm 57.2 \text{ MPa}$ ) was the highest, followed by NaturaZ, ST98. For hardness, ABCera block( $1550.3 \pm 19.8 \text{ Hv}$ ) was the highest, followed by ST98, NaturaZ. There was no significant difference in flexural strength and hardness between blocks( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** Based on the results of this study, the type of dental zirconia block did influence the marginal fitness, and all dental zirconia blocks are expected to be suitable for clinical application. The highest flexural strength and hardness were ABCera block, and no statistically significant difference was observed.

● **Key words:** CAM, Dental zirconia, Flexural strength, Hardness, Marginal fitness

\* 본 연구는 2016년도 부산가톨릭대학교 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

Corresponding author	Name	강재민	Tel.	051-510-0596	E-mail	jmkang0707@hanmail.net
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교				
Received	2017. 4. 29	Revised	2017. 6. 15	Accepted	2017. 6. 19	

## I. 서론

치과용 지르코니아는 zirconium 산화물( $ZrO_2$ )로서 금속에 버금가는 기계적 강도와 투과성 및 내구성이 우수하며, 착색산화물을 혼합하면 색조 조절이 가능해 다양한 색 표현이 가능하다. 현재 단일관 및 교의치의 전치와 구치부, 포스트, 임플란트 지대치 등 다양한 치과수복물 제작에 사용되고 있다(Denry & Kelly, 2008).

치관의 변연적합도는 임상적으로 매우 중요한 요소이며, 변연적합도가 불량할 경우 치은변연 주위 치태 침착, 치은 염증, 치주질환으로의 연조직 변성을 초래하므로, 궁극적인 치과보철물의 성패 여부를 결정한다(Boening 등, 2000; Christina 등, 2001; Sailer 등, 2007). 지르코니아 코핑의 변연적합도에 관한 연구에는 인상 채득 방법인 디지털 인상과 전통적인 인상 간의 비교(Dauti 등, 2016), CAD/CAM 시스템 종류의 차이에 따른 비교(Yamaguchi 등, 2012) 등 다방면으로 많이 이루어지고 있다.

치과보철물의 성공에서 중요한 평가요소 중 하나는 충분한 파절강도를 지녀야 한다는 것이다(Koh 등, 2000). 그래서 굴곡강도와 경도가 치과 재료 선택에 중요한 자료로 작용한다. 선행연구들을 보면 저온열화현상에 따른 굴곡강도 비교(Swab, 1991), 성분에 따른 경도 비교(Pulgarin & Albano, 2014), 표면처리 방법에 따른 굴곡강도 비교(Kosmac 등, 1999) 등 외부적인 요인들에 의한 기계적 물성 변화에 관련된 연구들이 대부분이며, 내부적인 요인들로는 입자크기, 입자크기 분포, 산화물 및 결합제 등의 첨가제, 순도, 방사선 반응도, 제조공정 등이 영향을 미친다. 치과용 지르코니아는 세라믹이면서 금속에 버금가는 기계적 강도를 가지지만, 자연치의 법랑질보다 강하여 대합치를 마모시키고 취성 재료이며 낮은 인장력에 쉽게 파괴되고 수분에 취약하다는 단점이 있다(Agustín-Panadero 등, 2014). 그래서 물성을 개선하기 위해 이러한 단점을 보완하고 치과용 지르코니아 재료의 장점인 생체적합성과 화학적 안정성 및 내변색성의 특성을 잘 활용한다면 치과 재료 분야의 중요한 대체재로 될 수 있으므로 이를 발전시켜 연구를 더 진행해야 할 것이다. 또한, 각 제조사에서 제시

한 지표보다 치과보철물을 제작하였을 때 파절 가능성이 거의 없어야 함에도 임상적 작업 도중이나 진행 후에 파절 양상을 보인다.

본 연구에서는 치과용 지르코니아 블록의 적절한 선택을 위한 기초자료를 제공하기 위해 현재 시판되고 있는 다양한 치과용 지르코니아 블록 중에서 3종의 치과용 지르코니아 블록을 선택하여 2종의 치과 CAM 장비로 가공 후 변연적합도, 굴곡강도 및 경도를 측정하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서는 3종의 치과용 지르코니아 블록(ABCera, Auto Industrial Co., Korea; NaturaZ, Dmax Co., Korea; ST98, Liaoning Upcera Co., China)과 2종의 치과 CAM 장비(CAD/CAM MS, Zirkozahn GmbH, Italy; DWX-50, Roland DG Co., Japan)을 사용하였다.

### 2. 변연적합도 시험

#### 1) 시편 제작

지르코니아 코핑을 제작하기 위해 티타늄 금속 지대주를 제작하였다. 금속 지대주는 직경 10mm, 높이 5mm, 경사각 3° taper, 1 mm chamfer margin의 형태가 되도록 customized abutment Ti 블록(BTBR10S, Shinhung Co., Korea)을 치과 CAM 장비(CAD/CAM MS, Zirkozahn GmbH, Italy)으로 가공하여 제작하였다. 금속 지대주를 고무 인상재(Exafine injection, GC Co., Japan)로 인상을 채득한 후 치과 CAD/CAM 용 석고 모형재(Fugirock EP, GC Co., Japan)로 모형을 제작한 다음, 치과 CAD/CAM용 광학 스캐너(Scanner 600, Zirkozahn GmbH, Italy)를 이용하여 디지털 모형을 제작하였다. 스캔이 완료된 3D 모형은 해당 캐드 프로그램을 이용하여 코핑을 디자인한 후 2종의 치과 CAM 장비를 이용하여 3종의 반소결 상태의

Table 1. Classification of zirconia core

Group	Product name		N
	Milling machine	Zirconia block	
ZA	CAD/CAM MS (Zirkonzahn GmbH)	ABCera(Auto Industrial Co.)	10
ZD		NaturaZ(Dmax Co.)	10
ZU		ST98(Liaoning Upcera Co.)	10
RA	DWX-50 (Roland DG Co.)	ABCera(Auto Industrial Co.)	10
RD		NaturaZ(Dmax Co.)	10
RU		ST98(Liaoning Upcera Co.)	10

치과용 지르코니아 블록을 제조사의 지시대로 가공한 후 전용 소결로(Zirkonofen 600, Zirkonzahn GmbH, Italy)로 14℃/min의 속도로 1,500℃까지 상승시킨 후 1시간 동안 유지하여 소결을 시행하여 지르코니아 코핑을 각 10개씩 제작하였다(Table 1).

2) 변연적합도 관찰

지대주와 지르코니아 코핑간의 변연적합도를 관찰하기 위해 실리콘 복제법(silicone replica technique)을 사용하였다. 지르코니아 코핑 안쪽에 수축 변형이 작은 light body silicone(Imprint II Garant Light, 3M ESPE, U.S.A.)을 채운 후 지대치에 시적하여 압력을 가하였다. 그 후에 light body silicone이 손상되지 않게 지대치에서 지르코니아 코핑을 제거한 후 수축 변형이 작은 medium body silicone(Examixfine Regular,

GC Co., Japan)으로 둘러싸다. 실리콘 복제본이 완성된 후 협설 및 근원심 방향으로 메스로 절단 분리하여 절단한 단면을 지대치의 marginal 부분에서 지르코니아 코핑까지 수직선상으로 연결한 선과 평행선상에 위치한 부분에서 100µm 안쪽에 위치한 부분을 지정하여(Abbate 등, 1989) 실체현미경(SZX7, Olympus, Japan)(Fig. 1)을 이용하여 50배율로 변연간격을 관찰하였다(Fig. 2).

3. 굴곡강도 시험

1) 시편 제작

치과용 지르코니아 블록을 25mm × 5mm × 1mm 크기(ISO 6872)의 직육면체 형태로 반소결 상태에서 저속절단기(Model 650, South Bay Technology Inc., USA)로 각 10개씩을 절단한 후 제조사의 지시대로 전용 소결로(Zirkonofen 600, Zirkonzahn GmbH, Italy)에서 14℃/min의 속도로 1,500℃까지 상승시킨 후 1시간 동안 유지하여 소결한 후 시편의 수평도를 맞추기 위해 표면을 #800, #1,200, #2,000 SiC 연마지를 사용하여 연마하고 초음파 세척하였다(Fig. 3).

2) 3점 굴곡강도 측정

치과용 지르코니아 블록의 3점 굴곡강도 시험을 위해 만능시험기(STM-5, United Calibration Co., U.S.A.) (Fig. 4)를 이용하여 굴곡강도를 측정하였다. 시편을 지시대 중앙에 올려놓고 0.5mm/min의 cross head speed로 시편이 파절될 때까지 시편의 중앙에 수직으로 압축력을 가하여 최대하중을 측정하였다.



Figure 1. Observations of marginal fitness on stereoscopic microscope.



Figure 2. Images of marginal fitness.

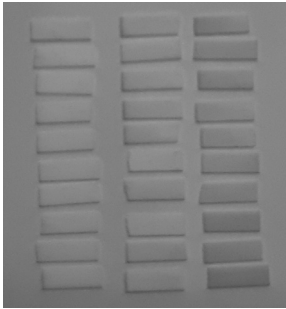


Figure 3. Zirconia specimens.



Figure 4. Test of flexural strength on UTM.

#### 4. 경도 시험

치과용 지르코니아 블록의 경도 시험을 위해 3점 굴곡 강도 시험에서 파절된 시편을 그대로 사용하여 마이크로 비커스 경도계(HM-122, Mitutoyo Co., Japan)를 사용하여 하중 1 kgf, 부하시간 10초의 조건으로 10번을 측정하여 평균을 경도값으로 하였다.

#### 5. 통계 분석

통계 분석은 SPSS ver. 24.0(IBM Co., USA)을 사용하여 변연적합도, 굴곡강도 및 경도의 평균값과 표준편차를 구하고 각 그룹 간의 유의차를 검정하기 위하여 95% 신뢰도 조건에서 일원배치분산분석을 실시하였으며, 사후검정으로 Scheffe test를 시행하였다.

### III. 결과

#### 1. 변연적합도

지르코니아 코핑과 지대주 사이의 변연적합도를 협설 방향에서 관찰한 결과, ZU시편이  $59.7 \pm 10.3 \mu\text{m}$ 로 가장 작게 나타났고, RA시편( $71.6 \pm 6.2 \mu\text{m}$ ), ZA시편( $77.5$

$\pm 6.7 \mu\text{m}$ ), ZD시편( $78.2 \pm 7.1 \mu\text{m}$ ), RD시편( $83.7 \pm 14.5 \mu\text{m}$ ), RU시편( $83.8 \pm 11.6 \mu\text{m}$ ) 순으로 높게 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의차가 있었다(Table 2).

Table 2. Mean and standard deviations of marginal fitness(bucco-lingual axial)

Group	Marginal fitness ( $\mu\text{m}$ )		p
	Mean	SD	
ZA	77.5 <sup>a,b</sup>	6.7	<.001
ZD	78.2 <sup>a,b</sup>	7.1	
ZU	59.7 <sup>c</sup>	10.3	
RA	71.6 <sup>a</sup>	6.2	
RD	83.7 <sup>b</sup>	14.5	
RU	83.8 <sup>b</sup>	11.6	

<sup>a, b, c</sup> Different letters mean significant difference at  $p < 0.05$  level.

지르코니아 코핑과 지대주 사이의 변연적합도를 근원심 방향에서 관찰한 결과, ZU시편이  $59.3 \pm 10.2 \mu\text{m}$ 로 가장 작게 나타났고, RA시편( $70.8 \pm 4.5 \mu\text{m}$ ), ZA시편( $73.6 \pm 18.8 \mu\text{m}$ ), RD시편( $80.0 \pm 12.2 \mu\text{m}$ ), ZD시편( $80.7 \pm 8.1 \mu\text{m}$ ), RU시편( $83.1 \pm 11.6 \mu\text{m}$ ) 순으로 높게 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의차가 있었다(Table 3).

Table 3. Mean and standard deviations of marginal fitness(mesio-distal axial)

Group	Marginal fitness ( $\mu\text{m}$ )		p
	Mean	SD	
ZA	73.6 <sup>b</sup>	18.8	<.001
ZD	80.7 <sup>b</sup>	8.1	
ZU	59.3 <sup>a</sup>	10.2	
RA	70.8 <sup>a,b</sup>	4.5	
RD	80.0 <sup>b</sup>	12.2	
RU	83.1 <sup>b</sup>	11.6	

<sup>a, b</sup> Different letters mean significant difference at  $p < 0.05$  level.

#### 2. 굴곡강도

치과용 지르코니아 시편의 굴곡강도 시험 결과, ABCera 블록이  $718.0 \pm 57.2 \text{MPa}$ 로 가장 높게 나타났고, NaturaZ 블록( $616.8 \pm 79.4 \text{MPa}$ ), ST98 블록

(597.8±90.2 MPa) 순으로 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).

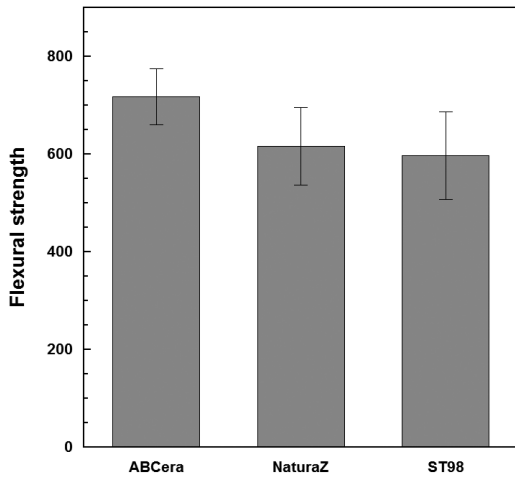


Figure 5. Mean and standard deviations of flexural strength.

### 3. 경도

치과용 지르코니아 블록의 경도 시험 결과, ABCera 블록이 1550.3±19.8 Hv로 가장 높게 나타났고, ST98 블록(1547.3±8.9 Hv), NaturaZ 블록(1543.1±16.1 Hv) 순으로 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의한 차이를 보이지 않았다.

### IV. 고찰

현재 시판되고 있는 다양한 치과용 지르코니아 블록 중에서 치과용 지르코니아 블록의 적절한 선택을 위한 기초자료를 제공하기 위해 3종의 치과용 지르코니아 블록을 선택하여 2종의 치과 CAM 장비로 가공하여 변연적합도, 굴곡강도 및 경도를 측정하여 비교 관찰하였다.

지르코니아 전부도재관의 성공을 결정하는 여러 요인 중 변연적합도는 매우 중요하다. 본 연구에서 지르코니아 코핑과 지대주 사이의 변연적합도를 관찰한 결과, 협설 방향에서는 최소 59.7±10.3 μm(ZU시편), 최대 83.8±11.6 μm(RU시편)로 나타났으며, 근원심 방향에서는

최소 59.3±10.2 μm(ZU시편), 83.1±11.6 μm(RU시편)로 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의차가 있었다(p<0.001). 임상적으로 수용할만한 치과수복물의 변연적합도로는 Rinke 등(1995)은 18~145 μm, Euan 등(2014)은 100 μm 이하라고 하였다. 아직 치과수복물의 임상적으로 수용할만한 변연적합도에 대한 의견이 다양하지만, 많은 연구에서 120 μm 이하로 정의하고 있다(Kim 등, 2015; Ko 등, 2016; Choi 등, 2017). 본 실험에서도 모든 시편이 임상적 허용치인 120 μm 이하의 변연적합도 범위에 있었다. 치과 시스템을 이용하는 치과 보철물은 치과 CAD/CAM용 밀링 머신에서 가공하는 과정에서 밀링바의 형태 결함, 마모, 다이아몬드 바의 다이아몬드 탈락 등으로 차이가 발생할 수 있으며, 절삭 과정에서 밀링 머신의 떨림이나 회전축의 흔들림 등으로 차이가 발생할 수 있다(Mömann & Schug, 1997). 또 다른 원인으로는 절삭가공 기구의 정밀도와 연관이 있는 것으로 보인다. 치과 시스템을 고려할 때는 지대치 형성 시 모든 선각을 둥글게 처리해야 하며(Brunton 등, 1999), 날카로운 부분이 존재하게 되면 코핑의 내면 삭제 시 정확한 가공이 어렵고 변연적합도의 차이를 유발하게 된다. 협설 방향과 근원심 방향에서 변연적합도를 관찰한 결과 Z군에서는 ST98 블록, R군에서는 ABCera 블록의 변연적합도가 우수하였다. 이는 치과용 지르코니아 블록에 따라 변연적합도가 영향을 받는다는 Chung 등(2016)의 연구와 일치된 결과를 보였다. 분말의 조성, 입자크기, 충전밀도, 표면 거칠기 등의 요인들이 영향을 끼친 것으로 생각되며 추후 복합적인 연구가 필요하다고 생각한다. 또한, 차후에 오류를 최소화하기 위해 내면 조정을 허용한다면 좀 더 객관적인 결론을 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

치과 CAD/CAM용 수복재료의 성공에서 기본적인 중요한 평가요소 중 하나는 파절되지 않는 충분한 파절강도를 지녀야 한다는 것이다(Koh 등, 2000). 굴곡강도는 시편에 일정 속도의 힘을 적용하였을 때의 변형에 대한 재료의 응력의 한계가 얼마인지 알아보는 것으로 응력에 대한 저항성을 측정하는 것이다(Ban & Anusavice, 1990). 본 연구에서 측정된 치과용 지르코니아의 굴곡강도는 ABCera 블록(718.0±57.2 MPa),



NaturaZ 블록( $616.8 \pm 79.4$  MPa), ST98 블록( $597.8 \pm 90.2$  MPa) 순으로 나타났으며, 통계학적으로 군별로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). 본 연구에서는 제조사에서 제시한 굴곡강도보다는 낮은 값이 나왔지만, 관찰된 굴곡강도 수치는 국제표준규격 ISO 6872의 코핑용 치과 세라믹의 최소 굴곡강도인 500 MPa를 만족시켰기 때문에 치과보철물 제작에도 충분히 사용할 수 있는 것으로 생각한다. 치과용 지르코니아의 굴곡강도에 영향을 미치는 요인은 내부 결함의 크기, 수, 분포 등의 내부적인 요인이 큰 영향을 미친다(Kelly 등, 1990; Anusavice & Hojjatie, 1991).

본 연구에서는 시편에 9.8 N의 하중을 부여해 측정된 치과용 지르코니아의 경도값은 ABCera 블록( $1550.3 \pm 19.8$  Hv), ST98 블록( $1547.3 \pm 8.9$  Hv), NaturaZ 블록( $1543.1 \pm 16.1$  Hv) 순으로 나타났으며, 블록 간의 경도값은 통계학적 유의차가 없었다( $p > 0.05$ ). 제조사에서 제시한 경도와 유사한 값이 나왔으며, 치과용 지르코니아의 경도는 밀도, 입자의 크기, 상의 조성에 밀접하게 관계하므로(Lee 등, 1996), 본 연구결과만을 토대로 임상적 효율성을 평가하기에는 어느 정도의 한계가 있다. 차후에는 내적인 여러 요인들에 대한 보다 심층적인 추가연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

Lee 등(2012)은 치과 재료의 선택 시 치과보철물에 가해지는 응력과 용도 등을 고려한 올바른 시험법에 의한 종합평가가 필요하다고 하였다. 본 실험에서 측정된 굴곡강도도 역시 시편의 상태가 달랐는지 시편마다 같지 않았다. 본 연구 결과를 일반화하기에는 시편의 개수가 적고 규격화된 모형을 가지고 측정한 점, 단관이며 연구마다 변연적합도를 측정하는 부위에 대한 용어와 정의가 차이가 있고 실험 조건이 다르므로 변연적합도 수치만으로 비교하는 것은 어느 정도 한계가 있다.

본 연구에서는 시판되고 있는 치과용 지르코니아 블록의 변연적합도, 굴곡강도와 경도를 관찰하여 비교하였다. 임상가들이 이러한 결과에 기초하여 전부도재관을 제작할 때 사용되는 치과용 지르코니아 블록의 선택에 기초자료로 활용했으면 한다.

## V. 결론

본 연구는 현재 시판되고 있는 3종의 치과용 지르코니아 블록을 선택하여 2종의 치과 CAM 장비로 가공하여 변연적합도, 굴곡강도 및 경도를 측정하여 비교 분석하였다.

1. 치과용 지르코니아 블록과 CAM 종류에 따라 변연적합도는 ZU시편이 가장 우수하였으며, 유의차 있게 영향을 미쳤다.

2. 치과용 지르코니아 블록에 따라 굴곡강도와 경도는 ABCera 블록이 가장 우수하였으며, 유의한 차이는 나타나지 않았다.

## REFERENCES

- Abbate MF, Tjan AHL, Fox WM. Comparison of the marginal fit of various ceramic crown. *J Prosthet Dent*, 61, 527-531, 1989.
- Agustín-Panadero R, Román-Rodríguez JL, Ferreiroa A, Solá-Ruiz MF, Fons-Font A. Zirconia in fixed prosthesis. A literature review. *J Clin Exp Dent*, 6, e66-73, 2014.
- Anusavice KJ, Hojjatie B. Tensile stress in glass-ceramic crowns: effect of flaws and cement voids. *Int J Prosthodont* 5, 351-358, 1991.
- Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res*, 69, 1791-1799, 1990.
- Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kastner K, Walter MH. Clinical fit of Procera All Ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 84, 419-424, 2000.

- Brunton PA, Smith P, McCord F, Wilson NHF. Procera all-ceramic crowns: a new approach to an old problem? *Br Dent J*, 186, 430-434, 1999.
- Choi JW, Choi BC, Kim SC. Marginal fit of the prosthesis fabricated by dental oral scanner and model scanner. *Kor J Dent Mater*, 44, 79-86, 2017.
- Christina A, Maria R, William HD. Nondestructive, in vitro quantification of crown margins. *J Prosthet Dent*, 85, 575-584, 2001.
- Chung IS, Jeon BW, Kim WY. Comparison of marginal fitness of zirconia copings according to impression techniques and zirconia blocks. *Journal of Contents Association*, 16, 2016.
- Dauti R, Cvinkl B, Franz A, Schwarze UY, Lilaj B, Rybaczek T, Moritz A. Comparison of marginal fit of cemented zirconia copings manufactured after digital impression with lava™ COS and conventional impression technique. *BMC Oral Health*, 16, 129-136, 2016.
- Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*, 24, 299-307, 2008.
- Dentistry-Ceramic materials. ISO 6872:2008.
- Euan R, Figueras-Alvarez O, Cabratosa-Termes J, Oliver-Parra R. Marginal adaptation of zirconium dioxide copings: Influence of the CAD/CAM system and the finish line design. *J Prosthet Dent*, 112, 155-162, 2014.
- Kelly JR, Giordano R, Pober R, Cima MJ. Fracture surface analysis of dental ceramics: Clinically failed restorations. *Int J Prosthodont*, 3, 430-440, 1990.
- Kim DY, Jung ID, Lee JJ, Kim JH, Kim MB, Kim WC. Evaluation of marginal and internal gap of wax coping fabricated by CAD/CAM system using intraoral scanner. *J Kor Aca Dent Tec*, 37, 1-7, 2015.
- Koh JW, Yang JH, Lee SH. Influence of thickness of Empress 2 ceramic on fracture strength. *J Korean Acad Prosthodont*, 38, 446-460, 2000.
- Ko IS, Kim JM, Cho HW. Comparison of micro CT and cross-section technique for evaluation of marginal and internal fit of lithium disilicate crowns. *J Korean Acad Prosthodont*, 54, 226-233, 2016.
- Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater*, 15, 426-433, 1999.
- Lee HH, Lee CJ, Asaoka K. Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. *Dent Mater J*, 31, 157-164, 2012.
- Lee JH, Lee YB, Kim YW, Oh KD, Park HC. Fabrication and characteristics of Y-TZP/Ce-TZP structural ceramics. *Kor Ceram Soc*, 33, 1177-1185, 1996.
- Mömann WH, Schug J. Grinding precision and accuracy of fit of CEREC 2 CAD-CIM inlays. *J Am Dent Assoc*, 128, 47-53, 1997.
- Pulgarin HLC, Albano MP. Sintering, microstructure and hardness of different alumina-zirconia composites. *Ceram Int*, 40, 5289-5298, 2014.
- Rinke S, Hüs A, Jahn L. Marginal accuracy and fracture strength of conventional and copy-milled all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont*, 8, 303-310, 1995.

- Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CHF. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont*, 20, 151–156, 2007.
- Swab JJ. Low temperature degradation of Y-TZP materials. *J Mater Sci*, 26, 6706–6714, 1991.
- Yamaguchi H, Hamano N, Katsumata Y, Ino S. The manufacturing characterization of zirconia core copings of CAD/CAM systems. *Asian Pac J Dent*, 12, 11–16, 2012.