

# 치과용 지르코니아로 제작된 심미보철물의 임상적 예후에 관한 문헌고찰

김재홍

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

## Review of clinical studies applying yttrium tetragonal zirconia polycrystal-based esthetic dental restoration

Jae-Hong Kim

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

### Article Info

Received October 30, 2020

Accepted November 6, 2020

### Corresponding Author

Jae-Hong Kim

Department of Dental Laboratory Science,  
College of Health Science, Catholic University  
of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu,  
Busan 46252, Korea

E-mail: kjhong@cup.ac.kr

https://orcid.org/0000-0002-2679-8802

\*This paper was supported by 2019  
RESEARCH FUND offered from Catholic  
University of Pusan.

Application of ceramic materials for fabrication of dental restoration materials has been a focus of interest in the field of esthetic dentistry. The ceramic materials of choice are glass ceramics, spinel, alumina, and zirconia. The development of yttrium tetragonal zirconia polycrystal (YTZP)-based systems is a recent addition to all-ceramic systems that have high strength and are used for crowns and fixed partial dentures. Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM)-produced, YTZP-based systems are popular with respect to their esthetic appeal for use in stress-bearing regions. The highly esthetic nature of zirconia and its superior physical properties and biocompatibility have enabled the development of restorative systems that meet the demands of today's patients. Many in vitro trials have been performed on the use of zirconia; however, relatively fewer long-term clinical studies have been published on this subject. The use of zirconia frameworks for long-span fixed partial dentures is currently being evaluated; in the future, more in vivo research and long-term clinical studies are required to provide scientific evidence for drawing solid guidelines. Further clinical and in vitro studies are required to obtain data regarding the long-term clinical use of zirconia-based restorations.

**Key Words:** All-ceramic crown, Clinical study, Esthetic restoration, Fixed partial denture, Zirconia

## INTRODUCTION

심미성, 생체친화성, 색상 안정성, 마모저항성 및 낮은 열전도성 등의 장점을 가진 다양한 종류의 심미적인 전부도재관이 개발되어 임상에 적용되고 있다[1]. 초기에 개발된 전부도재관은 자연치와 유사한 광학적 성질을 보였으나 낮은 물리적 안정성과 깨지기 쉬운 성질로 인하여 전치부 크라운(crown)으로만 실제 사용이 가능하여 제한된 용도로만 보조적으로 사용되었다. 이러한 단점을 보강하고자 유리화 알루미늄이나 결정 함량을 증가하여 개발된 유리침투 알루미늄(InCeram Alumina)은 불투명하여 slip-casting 방법으로 코어(core)로만 사용되어 왔으나 이 또한 구치부의 크라운으로 사용하였을 때 실패율이 높은 것으로 보고되었다[2]. 이후 InCeram Alumina에 지르코니아 성분을 35%

첨가하여 굴곡강도(flexural strength)가 강화된 InCeram Zirconia가 개발되었고, 유사한 굴곡강도를 보이는 Lithium disilicate로 구성된 Empress II가 개발되었는데, 이들 강화된 재료는 구치부 크라운에서는 비교적 높은 성공률을 보였으나 구치부 고정성 국소의치(fixed partial denture, FPD)로 사용하기에는 한계가 있다[3].

가장 최근에 개발된 전부도재관 재료는 지르코니아 계열로서 1998년에 개발된 Cercon을 시작으로 수종이 개발되어 2005년을 전후로 공식적으로 치과용 수복재료로 인정을 받게 되었다[4]. 치과용 지르코니아는 3 mol%의 yttria를 함유한 tetragonal zirconia polycrystal (YTZP)가 주로 사용되고 있으며 굴곡강도가 900~1,200 MPa에 이르며 파절인성(fracture toughness)이 9~10 K<sub>IC</sub>에 이르는 등 매우 우수한 물리적 성질을 가지고 있어 전부도재관의 구치부 크라운 및 FPD의

코어, 치과용 임플란트 등의 폭넓은 사용이 가능한 것으로 평가되고 있다. 현재까지 개발된 최적의 전부도재관의 코어재료로 인식되는 지르코니아는 기존의 전부도재관 시스템의 가장 큰 단점인 굴곡 강도의 취약성을 극복하고 금속과 유사한 충분한 강도, 미세 조정에 편리한 경도, 구조적 안정성 및 우수한 생체적합성 등의 특성[5]으로 전부도재관의 활용범위를 전치부에 국한된 용도에서 구치부를 포함한 전체 부위로, 단일 치관에 국한되지 않고 FPD로 확장하는 등 심미보철의 새로운 지평을 열었다. 충분한 강도와 심미적 요구를 만족시키는 치과재료에 대한 요구에 따라 치과용 지르코니아의 사용은 확대일로에 있으며 최근 급속의 상승, 심미수요의 극대화 및 생체안정성의 추구 등의 대중적 경향 속에 그 사용량이 급증하고 있다.

본 연구는 치과용 지르코니아를 기반으로 제작된 심미보철물의 성공적인 임상 적용에 대한 고찰을 담고 있다. 특히 치과용 지르코니아를 이용한 심미보철물이 가질 수 있는 실패의 원인을 분석해 보았으며 임상 연구에 대한 현황을 국내와 국외로 나누어 문헌 고찰을 수행하였다. 마지막으로 기존 연구들의 문제점을 분석하여 추후 진행해야 될 연구에 대하여 제시해 보았다.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. 치과용 지르코니아를 이용한 심미보철물의 취약성 분석

#### 1) 소결 후 수축의 문제 (sintering shrinkage)

완전소결된 지르코니아는 매우 강도가 높아 절삭가공 과정에 적합하지 않으므로 일반적으로 반소결된 지르코니아를 절삭 가공하여 완전소결 과정을 거쳐 전부도재관의 코어를 제작하며 이러한 완전소결 과정에서 25% 가량의 수축이 일어나고 이에 따라 코어의 변형이 초래될 수 있다[6]. 최근의 연구 중 지르코니아 코어의 변연 부적합의 주된 원인은 반소결 지르코니아 블록의 완전소결 후 수축이라는 보고가 있다[7].

#### 2) 코어와 비니어의 결합력 문제 (core-veneer bonding strength)

지르코니아는 불투명도가 크기 때문에 자연치 색조의 재현이 어렵다는 점과 높은 강도로 인한 대합치 마모 및 임상적으로 안정성에 대한 구조적 기준 등이 마련되어 있지 않다는 점 등으로 인하여 단일구조 전부도재관으로 이용되지 않고 코어의 형태로 사용되고 있으며 통상 지르코니아 코어 위에 포셀린 비니어(porcelain veneer)의 축조가 필요하다[8]. 지르코니아 코어와 축조된 포셀린 비니어 간의 결합강도에 영향을 주는 요인으로는 두 재료 간 기계적, 물리적, 화학적 결합의 강도, 열팽창계수의 차이에 의해 발생하는 수축력, 도재층과 코어의 두께, 탄성계수의 차, 작용하는 힘과 관련된 요인, 수복물과 접착제 계면 사이의 결합 및 기타 환경적 요인 등이 있으며 전부도재관 수복물 시스템에서 도재의 부분적 파절에 의한 실패가 상당한 정도로 보고되고 있다[9].

### 3) 저온열화현상 (low temperature degradation)

지르코니아가 수분이 존재하는 환경에 노출되었을 때 내부에서 미세균열이 진행됨에 따라 강도가 감소되는 현상으로 고관절 등 정형외과 분야에서 임상에 적용하였을 때 기능 후 얼마 지나지 않아 지르코니아가 파절되는 현상이 관찰되었다. 치과용 지르코니아도 수분이 존재하는 구강 내에서 기능하므로 이러한 구조적 저하현상의 가능성이 크다. Kobayashi 등[10]은 습윤한 환경과 저온(250°C 근처)에서 치과용 지르코니아인 YTZP가 서서히 변성과정을 겪으며 미세균열이 진행되어 강도가 감소하는 현상을 발견하고 이를 저온열화현상이라 부르게 되었다. Yoshimura 등[11] (1987)은 지르코니아의 저온열화현상의 특성을 다음과 같이 요약했다. 첫째, 저온열화현상에 의한 물성 저하는 200°C~300°C에서 가장 빠르게 진행되고 시간의 영향을 받는다. 둘째, 이러한 물성저하 원인은 상-전이에 의한 micro/macro-cracking에 의한 것이다. 셋째, 상-전이는 표면에서 내부로 진행이 된다. 넷째, 수분과 수증기하에서 상-전이가 가속화된다. 다섯째, 결정입자 크기를 줄이거나 상-안정화제의 함량을 증가시키면 상-전이를 지연시킬 수 있다. 지르코니아를 치과용 코어로 적용할 경우는 비니어링 세라믹과 합착용 시멘트 등이 습윤한 구강환경에서 지르코니아를 격리하는 역할을 하였기 때문에 수분에 의한 저온열화현상 문제가 있을 수 없다고 예측하

**Table 1.** Fractographic analysis of failure types

Failure type	Fracture cause
Core cracking	Small contact with a hard sharp indenter Sustained increasing load Overloading of the veneer ceramic
Veneer chipping	Surface defects Impact with hard object Improper support by the framework Overloading and fatigue
Veneer delamination	Weak core veneer bond strength and toughness Improper surface finish of the framework Tetragonal monoclinic transformation and surface lifts Flexion of the framework Defects at core veneer interface Improperly applied and sintered liner material Thermal prestresses
Radial cracking	Defects at fitting surface of the framework (particle abrasion or correction grinding) Overloading of thin framework CAD/CAM milling defects
Failure related to generation of hoop stresses	Premature contact with the supporting structure Flexing of the axial walls under load Poor fit and bad design Weak and thin margins
Connector fracture	Insufficient dimensions Veneer ceramic on the tensile surface Positioning outside the arch of occlusion Surface damage Structural defects

CAD/CAM: computer-aided design/computer-aided manufacturing.

였으나 합착용 시멘트는 상아세관을 통해 수분을 흡수할 수 있어 지르코니아 코어의 수분 접촉을 차단할 수 없다는 연구결과가 있다[12]. 특히 치과용 임플란트로 사용되는 지르코니아는 시술 전 130°C 부근에서 autoclave처리를 실시하고 시술 후에는 항상 습윤 상태인 구강 내에서 사용되므로 저온열화현상 가능성을 고려하는 것은 필요하다(Table 1).

## 2. 치과용 지르코니아를 이용한 심미보철물의 임상적 추구조사에 활용되는 측정도구

전부도재관의 임상적 평가를 위하여 기존 연구에서 사용된 측정도구는 매우 다양하다. 먼저 보철물의 상태를 통합적으로 평가하는 대표적인 도구로서 California Dental Association (CDA) system 및 US Public Health Service (USPHS) criteria 도구를 들 수 있는데 보철물의 물리적 변형이나 파절, 색상의 변화, 치주건강상태 및 이차우식 등을 종합적으로 평가하는 데 이용되고 있다. 그 외에 구강위생, 치주건강상태, 보철물에 대한 주관적 만족도 등이 기존 관련 연구에서 빈번하게 사용되었던 측정도구들이다(Table 2).

## RESULTS

### 1. 치과용 지르코니아 코어를 이용한 심미보철물의 임상적용에 관한 체외 연구(in-vitro study)

#### 1) 변연 및 내면 적합도(marginal & internal fit)

일반적으로 변연 적합도는 보철물의 성패를 좌우하는 매우 중요한 요소로 변연 적합도가 낮은 경우 미세누출이 증가하고 지각 과민증을 일으키거나 치태 침착이 증가하여 결과적으로 치아우식증이나 치주염

이 발생될 우려가 크다. 또한 보철물의 적합성 증진을 위해서는 내면 적합도도 중요하다[13]. 지르코니아 코어를 이용한 전부도재관 수복물의 변연 적합도에 관한 다양한 연구가 수행된 바 있는데 연구 재료의 종류와 연구방법에 따라 40 μm에서 115 μm 등의 범위를 보고하고 있으며 대부분이 임상 허용치인 120 μm 이하의 변연 적합도 범위에 있는 것으로 평가되고 있다[14,15].

#### 2) 굴곡강도 및 파절인성(flexural strength and fracture toughness)

굴곡강도와 파절인성은 치과용 세라믹의 한계와 임상적 가능성을 결정할 수 있는 측정도구로 널리 사용되고 있으며[16] 지르코니아의 물리적인 성질은 다른 모든 치과용 세라믹 재료에 비해 탁월하다고 평가되고 있다. 많은 연구 결과에서 지르코니아 코어의 굴곡강도는 900~1200 MPa의 범위를 보이고 파절인성은 9~10 K<sub>IC</sub>의 범위를 보여 인간의 평균 저작압 보다 높은 수치를 보이므로 저작활동에 무리가 없는 물리적 성질을 보이는 것으로 보고되었다[5,12]. 대체로 지르코니아는 InCeram Alumina보다는 3배 이상, InCeram Zirconia에 비해서는 2배 이상의 굴곡강도를 보이며 파절인성에 있어서도 2배 이상 높은 값을 나타내는 것으로 평가된다[17].

#### 3) 투명성 및 심미성(translucency and restoration aesthetics)

세라믹 재료는 자연치아와 유사한 색상을 재현 할 수 있기 때문에 전반적인 심미성이 매우 좋으며 환자의 만족도 또한 매우 높다. 최근에는 다양한 색상의 지르코니아 블록이 개발되어 탁한 흰색 블록보다는 심

**Table 2.** Characteristics of frequently used measurements assessing clinical outcomes of fixed dental restorations in previous studies

Measurement	Characteristic	Rating
California Dental Association (CDA) system	Items evaluated: (1) retention, (2) marginal adaptation, (3) periodontal health, (4) aesthetics, (5) oral hygiene, (6) secondary caries	'Satisfactory': (R) ROMEO: perfect (S) SIERRA: adaptable 'Not satisfactory': (T) TANGO: remake or correction needed
USPHS	Items evaluated: (1) color match, (2) marginal discoloration, (3) anatomic form, (4) marginal adaptation, (5) caries	Alfa: excellent Bravo: acceptable Charlie: unacceptable
Gingival index (GI) & Periodontal index (PI)	Evaluation of state of gingiva or periodontal tissue	GI: 0 (normal)~3 (spontaneous bleeding) PI: 0 (normal)~8 (destruction of alveolar bone)
Satisfaction	Subjective Patient/observer Aesthetics/function	Visual analogue scale (VAS)
Patient Hygiene performance Index (PHP)	Evaluation of oral hygiene	0 (no plaque accumulated) 1 (plaque accumulated)

USPHS: US Public Health Service.

미적인 상아색 블록을 많이 사용하는 방향으로 발전하고 있고 포셀린 비니어와의 결합력을 개선하기 위하여 이용하는 나노 입자가 투명성을 증진시키는 이중의 효과를 보여 지르코니아 코어를 이용한 전부도재관 시스템에 심미성의 증진이 이루어지고 있다[18,19].

## 2. 치과용 지르코니아 코어를 이용한 심미보철물의 임상적용에 관한 체내 연구(in-vivo study)

### 1) 국외 연구현황

대체로 전부도재관 단관의 경우 높은 생존율을 보고하고 있다. Pjetursson 등[20]에 따르면 금속도재관 및 전부도재관 단관의 5년 추정생존율(5-year estimated survival)은 각각 95.6% 및 93.3%으로 보고되었고, 구치부에 전부도재관이 적용된 경우 5년 추정생존율을 상대적으로 낮게 나타나 90.4%~94.9%의 범위를 나타내었다. Sailer 등[21]은 전부도재관 FPD에서 코어 프레임(core frame) 또는 포셀린 비니어 물질의 파절이 빈번하게 나타났다고 보고하였으며 기타 유지의 상실이나 이차우식 및 치수실활(loss of vitality) 등의 실패 원인을 보고하였다.

지르코니아가 개발되어 치과용으로 사용된 시기가 길지 않고, 전향적 장기 추조사에 따르는 어려움이 많은 이유로 현재까지 지르코니아 코어를 이용한 구치부 전부도재관 FPD를 환자가 장착하여 사용하면서 2년 이상의 장기적 임상 평가를 평가하는 전향적 추조 조사(clinical prospective cohort study)는 연구 수행 횟수가 많지 않아 지금까지 전 세계적으로 단지 십 여건 정도의 연구 결과만이 보고되었다. 보고된 연구 결과에 따르면 지르코니아 코어를 이용한 구치부 전부도재관 FPD의 2년 이상 성공률은 대략 74%~100%에 이르는 것으로 집계되었다. 실패 원인을 분석하여 보면 지르코니아 사용 이전의 전부도재관 시스템의 가장 빈번한 실패 원인으로 지적되었던 프레임 파절은 전체 실패 원인 중 큰 비중을 차지하지 않으며 여타의 원인 즉 비니어의 부분적 깨짐, 이차우식의 발생 및 치주병의 문제 등이 실패 원인

중 대부분을 구성하고 있음을 알 수 있다. 그 외 기타의 원인으로 지대치 파절, 지대치의 유지(retention) 부족, 지대치의 실활로 인한 신경치료의 수행 등을 열거할 수 있다(Table 3) [17,18,21-30].

### 2) 국내 연구현황

우리나라에서도 지르코니아가 널리 사용되고 있고 최근 금값의 상승으로 인하여 그 사용이 증가되는 추세에 있으며 국내에서도 in vitro 연구는 매우 활발하여 지르코니아의 제작 즉시 품질연구와 CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing) 시스템별 비교연구가 주로 이루어지고 있다. 대한치과보철학회지에 지난 2010년 이후 발표된 연구 중 약 15%가 지르코니아 코어의 품질평가와 관련된 주제를 다루고 있어 지르코니아가 전부도재관의 제작 영역에서 두각을 나타내고 있음을 반영하고 있다. 다양한 CAD/CAM 시스템으로 제작된 지르코니아 기반 완전도재관에 대한 물성 실험이나 적합도를 측정해 제품별로 비교하여 어느 제품이 더욱 정확하고 적합성이 좋은지에 대한 연구나 전통적인 방식의 금속 도재관의 비교를 통해 임상 적용에 참고자료로 활용하고자 하는 연구내용이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 in vitro 연구는 실제 구강내의 환경이나 조건을 고려하지 못하고 구강 외에서 측정한 결과값을 비교하여 임상적으로 허용 가능한 범위에 포함되는지 여부에 따라 결론을 내리므로 지르코니아 보철물의 장기적 성공여부를 가능하기에는 현저히 부족하다.

한편 지르코니아를 이용한 전부도재관의 임상적 장기적 성공여부와 직접 관련되어 in vivo 연구는 매우 부진하여 국내에서 지르코니아 코어를 이용한 보철물의 전향적 장기 임상평가가 연구 사례는 단 한 건도 보고된 바 없다. 실제 임상에서는 지르코니아 코어를 이용한 보철물의 적용이 매우 빈번하게 이루어지고 또한 급속히 확대되고 있음에도 불구하고 과학적 증거에 기반한 장기적 성공 여부에 관한 근거를 연구의 결과로 전혀 제공하지 못하고 있는 것이다. 단지 보철물의 실패한 사례

**Table 3.** List of long-term clinical prospective cohort studies conducted in all-ceramic fixed partial dentures (FPDs) using zirconia framework

Study	Follow-up period (yr)	Type of FPD (unit)	Number	Success (%)	Reason of failure (n)				
					FF	VC	SC	PE	OTH
Molin and Karlsson [22]	5	3	19	100.0	-	-	-	-	-
Schmitt et al. [23]	3	3-4	27	96.3	-	1	-	-	-
Roediger et al. [24]	4	3-4	99	94.0	1	-	4	1	-
Beuer et al. [25]	3	3-4	21	90.5	1	-	-	-	1
Edelhoff et al. [18]	3	3-6	22	90.5	-	2	-	-	-
Beuer et al. [26]	3	3	68	88.2	1	4	-	3	-
Tinschert et al. [17]	3	3-4	65	86.5	-	4	-	-	5
Vult von Steyern et al. [27]	2	3	20	85.0	-	3	-	-	-
Sailer et al. [28]	3	3-5	46	84.8	-	1	3	-	3
Schmitter et al. [29]	2	3-4	30	82.0	1	1	-	-	4
Raigrodski et al. [30]	3	3	20	75.0	-	5	-	-	-
Sailer et al. [21]	5	3-4	57	73.9	1	1	6	-	4

FF: framework fracture, VC: veneer chipping, SC: secondary caries, PE: periodontal problems, OTH: other reasons including lack of retention, root fracture of abutment, and endodontic treatment.

를 중심으로 한 후향적 연구로서 Shin 등[31]에 의하여 고정정보철물의 수명과 실패원인에 관한 조사가 보고된 바 있다. 지르코니아를 이용한 연구는 아니지만 Ku와 Yang [32]은 '2년 간 sculpture crown의 임상적 연구'를 시행한 바 있는데, CDA system을 보철물의 평가도구로 사용하고 치주조직의 건강상태를 gingival index (GI) 및 periodontal index (PI)를 이용하여 적절하게 평가한 바 있다.

## DISCUSSION

### 1. 심미보철물 관련 기존 연구의 문제점과 전망

상기한 바와 같이 지르코니아를 이용한 전부도재관 연구는 국내외를 막론하고 주로 in vitro 연구에 집중되어 있고 실제 환자를 대상으로 한 임상적 in vivo 연구는 전 세계적으로도 매우 부족한 실정이며 특히 우리나라에서는 지르코니아 코어를 이용한 전부도재관에 대한 전향적인 임상연구는 단 한 건도 없는 실정이다. 그러나 in vitro 연구 결과 CAD/CAM으로 제작된 지르코니아 보철물의 평가가 우수하다고 입증되어 있더라도 실제 임상 연구에서 다수의 지르코니아 보철물이 부적합하거나 다양한 원인, 즉 비니어 파절, 이차우식, 치주질환 등에 의하여 실패하게 되므로[21] 수복물의 장기적인 성공 여부는 반드시 장기적 임상연구에 의한 증거에 기반하여 설명되어야만 한다.

현재 전부도재관을 이용한 전치부 및 구치부 단관은 이미 연구 결과에 의한 증거에 기반하여 문제 없이 활용되고 있고 심미보철물의 확대 과정에 있어서 당면한 핵심적인 쟁점은 바로 3 unit 이상의 long-span의 브리지를 수복할 때 전부도재관을 이용하는 것이 임상적으로 합당하느냐에 대한 것이다. 현재까지 개발된 재료로는 물성이 가장 우수한 지르코니아 코어를 이용한 전부도재관이 가장 적합한 가능성이 크다. 또한 소비자의 보철물에 대한 기대수명을 고려할 때 적어도 5년 이상의 장기 연구 결과가 실제적인 의미를 가질 수 있는 것으로 보이는데 국외에서 연구된 10여 건의 관련 연구의 결과는 70% 이상의 상당한 정도의 성공률을 보고하고 있으나 그 중 5년간의 연구기간을 추적한 연구는 단지 2건뿐이며 그나마 표본 크기가 50개 이상인 신뢰성 있는 연구는 단 한 건이었다. 따라서 가장 큰 쟁점이 되고 관심사가 되고 있는 지르코니아 코어를 이용한 3~5 unit 브리지의 임상 효용성에 대한 적합도를 평가하기에는 아직 연구 결과가 미진하며 충분한 표본을 확보한 최소 5년 이상의 장기간의 임상적 추적 연구가 가장 절실하게 요구된다고 하겠다.

## CONCLUSIONS

우리나라에서 심미적 전부도재관 보철물의 이용은 급격히 증가하고 있으며 CAD/CAM 기법을 주로 사용하는 전문 기공소가 다수 만들어지는 등 전부도재관 관련 산업이 세계시장을 지향하는 미래 산업으로 매우 유망한 것으로 보인다. 그런 점에서 심미보철물의 임상적 안정성

을 확인하고 장기적 예후를 연구결과에 의한 증거에 기반하여 예측하는 일은 매우 핵심적인 연구주제이다. 따라서 연구자가 계획하고자 하는 바와 같이 최소 5년의 장기적인 추적기간을 가지고 지르코니아 코어를 이용한 심미보철물의 충분한 표본을 확보하여 심층적으로 연구하는 임상적 연구방법이 절실하게 요구되는 시점이라고 생각된다.

## CONFLICT OF INTEREST

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

## ORCID

Jae-Hong Kim, <https://orcid.org/0000-0002-2679-8802>

## REFERENCES

1. Sturdevant JR, Bayne SC, Heymann HO. Margin gap size of ceramic inlays using second-generation CAD/CAM equipment. *J Esthet Dent*. 1999;11:206-214.
2. Hwang JW, Yang JH, Lee SH, Chung HY. A study on fracture strength of conventional and copy-milled In-CERAM crowns. *J Korean Acad Prosthodont*. 1997;35:417-430.
3. Cehreli MC, Kökat AM, Akça K. CAD/CAM Zirconia vs. slip-cast glass-infiltrated Alumina/Zirconia all-ceramic crowns: 2-year results of a randomized controlled clinical trial. *J Appl Oral Sci*. 2009;17:49-55.
4. Ban S. Reliability and properties of core materials for all-ceramic dental restorations. *Japanese Dent Sci Rev*. 2008;44:3-21.
5. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*. 2008;24:299-307.
6. Bindl A, Mörmann WH. An up to 5-year clinical evaluation of posterior in-ceram CAD/CAM core crowns. *Int J Prosthodont*. 2002;15:451-456.
7. Kunii J, Hotta Y, Tamaki Y, Ozawa A, Kobayashi Y, Fujishima A, et al. Effect of sintering on the marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia frameworks. *Dent Mater J*. 2007;26:820-826.
8. Braga RR, Ballester RY, Daronch M. Influence of time and adhesive system on the extrusion shear strength between feldspathic porcelain and bovine dentin. *Dent Mater*. 2000;16:303-310.

9. Daftary F, Donovan T. Effect of four pretreatment techniques on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent.* 1986;56:535-539.
10. Kobayashi K, Kuwajima H, Masaki T. Phase change and mechanical properties of ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solid electrolyte after ageing. *Solid State Ion.* 1981;3-4:489-493.
11. Yoshimura M, Noma T, Kawabata K, Sōmiya S. Role of H<sub>2</sub>O on the degradation process of Y-TZP. *J Mater Sci Lett.* 1987;6:465-467.
12. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999;20:1-25.
13. 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.
14. May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the Procera AllCeram crown. *J Prosthet Dent.* 1998;80:394-404.
15. Suttor D, Bunke K, Hoescheler S, Hauptmann H, Hertlein G. LAVA—the system for all-ceramic ZrO<sub>2</sub> crown and bridge frameworks. *Int J Comput Dent.* 2001;4:195-206.
16. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater.* 2004;20:449-456.
17. Tinschert J, Schulze KA, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H. Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont.* 2008;21:217-222.
18. Edelhoff D, Florian B, Florian W, Johnen C. HIP zirconia fixed partial dentures: clinical results after 3 years of clinical service. *Quintessence Int.* 2008;39:459-471.
19. Crisp RJ, Cowan AJ, Lamb J, Thompson O, Tulloch N, Burke FJ. A clinical evaluation of all-ceramic bridges placed in UK general dental practices: first-year results. *Br Dent J.* 2008;205:477-482.
20. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hämmerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18 Suppl 3:73-85.
21. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hämmerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18 Suppl 3:86-96.
22. Molin MK, Karlsson SL. Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int J Prosthodont.* 2008;21:223-227.
23. Schmitt J, Holst S, Wichmann M, Reich S, Gollner M, Hamel J. Zirconia posterior fixed partial dentures: a prospective clinical 3-year follow-up. *Int J Prosthodont.* 2009;22:597-603.
24. Roediger M, Gersdorff N, Huels A, Rinke S. Prospective evaluation of zirconia posterior fixed partial dentures: four-year clinical results. *Int J Prosthodont.* 2010;23:141-148.
25. Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen JA. Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs). *Clin Oral Investig.* 2009;13:445-451.
26. Beuer F, Stimmelmayer M, Gernet W, Edelhoff D, Günther JF, Naumann M. Prospective study of zirconia-based restorations: 3-year clinical results. *Quintessence Int.* 2010;41:631-637.
27. Vult von Steyern P, Carlson P, Nilner K. All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil.* 2005;32:180-187.
28. Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont.* 2007;20:383-388.
29. Schmitter M, Mussotter K, Rammelsberg P, Stober T, Ohlmann B, Gabbert O. Clinical performance of extended zirconia frameworks for fixed dental prostheses: two-year results. *J Oral Rehabil.* 2009;36:610-615.
30. Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, et al. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent.* 2006;96:237-244.
31. Shin WJ, Jeon YS, Lee KW, Lee HY, Han DH. Longevity and failure analysis of fixed restorations serviced in Korea. *J Korean Acad Prosthodont.* 2005;43:158-175.
32. Ku CW, Yang HS. A 2-year clinical evaluation of Sculpture crowns. *J Korean Acad Prosthodont.* 2000;38:806-813.