



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학 석사학위논문

**Aging이 샌드블라스팅 된  
지르코니아 세라믹의 굽힘 강도에  
미치는 효과**

2015 년 2 월

서울대학교 치의학대학원

치 의 학 과

서 희 원

**Aging이 샌드블라스팅 된  
지르코니아 세라믹의 굽힘 강도에  
미치는 효과**

지도교수 김 성 훈

이 논문을 치의학 석사 학위논문으로 제출함  
2014 년 10 월

서울대학교 치의학대학원  
치 의 학 과  
서 회 원

서회원의 석사 학위논문을 인준함  
2014 년 11 월

위 원 장 이 재 봉 (인)

부위원장 김 성 훈 (인)

위 원 한 중 석 (인)

## 국문초록

# Aging이 샌드블라스팅 된 지르코니아 세라믹의 굽힘 강도에 미치는 효과

서 희 원  
치의학과  
치의학대학원  
서울대학교

### 목적

미세기계적인 결함을 증가시키기 위해 샌드블라스팅 된 지르코니아 세라믹의 aging에 따른 굽힘 강도의 변화를 관찰하고자 한다.

### 재료 및 방법

바 형태의 지르코니아 시편을 무작위로 8개의 군( $n=4$ )으로 나뉘어 각기 다른 열처리를 하였다(C-1에서 C-5까지, T-1에서 T-5까지). 실험군은 50  $\mu\text{m}$  알루미나 입자를 이용해 4 bar로 20초 간 90도의 각도로 샌드블라스팅 하였다. C-0과 T-0군을 제외한 나머지 군은 고온고압의 멸균기를 이용해 134°C 에서 0.2 MPa 의 압력으로 0, 1, 3, 5 시간 동안 aging 하였다. 각각의 표면 처리가 끝난 후, 만능시험기를 이용하여 삼점 굽힘시험을 시행하였다. T검정과 일원 분산 분석을 이용하여 통계처리하였다( $\alpha = .05$ ).

## 결과

대조군과 실험군 간의 유의한 차이를 나타내지 않지만, 데이터의 경향을 반영하는 회귀선은 두 군 모두에서 aging 시간의 증가에 따른 굽힘 강도의 감소를 나타내고 있다. 측정된 각 군의 굽힘 강도 평균은 다음과 같다: C-0 (1281.9 MPa); C-1 (1272.0 MPa), C-3 (1250.3 MPa); C-5 (1240.5 MPa); T-0 (1290.6 MPa); T-1 (1252.1 MPa); T-3 (1254.9 MPa); T-5 (1194.7 MPa)

## 결론

본 실험 결과, 지르코니아는 aging 후 굽힘 강도가 감소하는 경향을 보였다. 샌드블라스팅 한 그룹이 대조군보다 굽힘 강도의 급격한 변화를 보였다.

---

주요어 : 지르코니아, 굽힘 강도, 저온열화, 샌드블라스팅  
학 번 : 2011-22458

## 목 차

1. 서론 .....	1
2. 재료 및 방법 .....	3
3. 결과 .....	5
4. 고찰 .....	7
5. 결론 .....	10
6. 참고문헌 .....	11
Abstract .....	16

## 표 목 차

[Table I ] .....	3
[Table II] .....	5

## 그 림 목 차

[Figure 1] .....	5
------------------	---

## 서론

치과분야에서 세라믹 재료는 뛰어난 심미성과 임상적 안정성 그리고 생체적합성으로 인해 널리 사용되고 있다. 그러나 올세라믹 시스템은 전치부의 수복에서 유용하게 사용되는 반면, 구치부 고정성 수복물에서는 그 사용이 비교적 제한적인데, 일부 세라믹 재료는 구치부의 강한 부하를 견딜 만큼 견고하지 않아 파절이 일어날 수 있는 위험이 크기 때문이다. 구치부 수복물로서 역할을 하려면 저작 기능 중 강한 교합력에 견딜 수 있어야 하는데, 지르코니아는 심미성과 생체적합성을 물론, 파절에 대한 저항성이 크기 때문에 최근 전치부는 물론 구치부 수복물 재료로 그 사용이 꾸준히 증가되고 있다.

지르코니아 결정은 온도에 따라 다른 상으로 존재하는 것이 특징적이다. 지르코니아 결정은 온도에 따라 3가지 상으로 존재한다.<sup>(1)</sup> 1170°C 보다 온도가 낮을 때, 단사정계로 존재하고, 그보다 온도가 높아지면 2370°C 까지는 정방정계로 존재한다. 마지막으로 지르코니아의 녹는점인 2680°C 까지는 입방정계로 존재한다. 지르코니아를 CaO, MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO 등의 안정화 산화물과 섞으면 정방정계로 실온에서 존재할 수 있으며, 균열의 진행을 효과적으로 막을 수 있다. 그 중 Yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline(Y-TZP)는 안정화 산화물을 섞어 안정화된 지르코니아로서 정방정계 지르코니아의 일종이다.

TZP(Tetragonal Zirconia Polycrystal)에 가해지는 응력은  $t \rightarrow m$ 으로 상전이를 야기하는데, 이것은 각 단위격자들의 부피 증가에 영향을 주어, 균열의 확산을 막아준다. 이러한 상전이는 Y-TZP가 수분, 혈액, 윤활액 등에 장시간 노출되어 있을 때에도 일어나 지르코니아의 표면을 손상시킨다. 이러한 현상을 저온열화(low temperature degradation, LTD), 혹은 aging이라고 하며, 지속적인  $t \rightarrow m$ 으로의 상전이를 의미한다.<sup>(2)</sup> 상전이는 200°C 에서 300°C 사이에서 수분이 있을 때 입자크기를 감소시키며



더 활발하게 일어난다.<sup>(3)</sup>

CAD/CAM으로 제작된 지르코니아 수복물은 삭제된 지대치와 레진시멘트로 접착되어야 한다. 지르코니아 수복물과 레진시멘트의 미세 기계적인 결합을 증가시키는 방법 중 하나가 50  $\mu\text{m}$ 의 알루미나로 샌드블라스팅 하는 것이다. 이러한 표면 처리는 지르코니아의 굽힘 강도를 증가시킨다고 알려져 있다.<sup>(2)</sup>

더불어, 지르코니아는 구치부의 기능 시 저작력을 잘 견딜 수 있어야 한다. 일반적으로 이러한 기계적인 성질을 평가하는 방법으로 굽힘 강도의 측정이 이용된다. 현재 샌드블라스팅 된 지르코니아의 aging 시간에 따른 굽힘 강도의 변화에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 샌드블라스팅 된 지르코니아의 aging 시간에 따른 굽힘 강도의 변화를 관찰하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

지르코니아(Zmatch, Dentaim, Seoul, Korea)를 고밀도로 소결하여 막대 형태(45 mm x 4 mm x 3 mm)의 시편을 제작하였다. 시편은 95% ZrO<sub>2</sub>와 HfO<sub>2</sub>, 0.2% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 그리고 0.25% 이하의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 구성된 지르코니아를 사용하였다.

시편은 무작위로 8개의 군( $n=4$ )으로 나누어 각기 다른 열처리를 하였다(C-1에서 C-5까지, T-1에서 T-5까지). C-0와 T-0은 대조군으로서 표면 처리를 하지 않고 원래의 상태 그대로 두었다. 시편은 고정된 채로 10 mm 거리에서 5 mm의 노즐로 sandblaster unit(AX-B3, Axian Medical Co., Tianjin, China)을 이용해 처리하였다. 50  $\mu$ m 알루미나 입자(Corba, Remfert GmbH, Hilzingen, Germany)를 이용해 90도의 각도에서 4 bar로 20초간 분사하였다.

C-0와 T-0를 제외한 나머지 군은 고온고압멸균기를 이용해 열처리를 시행하였다. 실험군은 134°C의 autoclave chamber(SAG-230G, Shinhung, Korea)에서 0.2 MPa의 압력으로 0, 1, 3, 5 시간 동안 aging 하였다. (Table I)

**Table I.** 실험군과 대조군 편성

Group	Aging periods (h)			
	0	1	3	5
Control	C-0	C-1	C-3	C-5
Test	T-0	T-1	T-3	T-5

각각의 처리가 끝난 후, 3점 굽힘시험을 시행하였다. 만능시험기 (Model 3345, Instron, Canton, MA, USA)를 ISO 6872:2008에 맞추어 1 mm/min의 속도로 하여 최대부하를 기록하였다. 굽힘 강도( $S_f$ )를 MPa 단

위로 다음 식을 이용하여 계산하였다(Eq.1).

$$\sigma_f = 3Pl / (2wb)^2 \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

$P$ 는 파괴하중(N),  $l$ 은 길이(30 mm),  $w$ 는 시편의 너비(45 mm),  $b$ 는 두께(3 mm)이다.

통계처리는 SPSS v20 software (SPSS, Chicago, IL, USA)를 통한 T검정과 일원 분산 분석을 이용하여  $\alpha = .05$ 의 범위 내에서 하였다.

## 실험결과

본 실험에서, aging 시간에 따른 지르코니아의 굽힘 강도의 변화를 살펴 보았을 때, 대조군과 실험군 모두에서 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않았다. 그러나 통계적인 유의성이 없음에도 불구하고, 데이터의 경향성을 반영하는 회귀선은 aging 시간의 증가에 따른 굽힘 강도의 감소를 두 군 모두에서 나타내고 있다(Figure 1). 3점 굽힘시험의 결과를 통해 구한 굽힘 강도는 Table II에 표기하였다.

Aging 처리를 하지 않았을 때, 실험군과 대조군의 평균 굽힘 강도는 각각 1290.6 MPa와 1281.9 MPa였다. 굽힘 강도는 표면처리를 한 시편이 표면처리를 하지 않은 시편보다 높았는데, 이러한 결과는 알루미나를 이용한 샌드블라스팅이 지르코니아의 강도를 증가시킨다는 의견과 일치한다는 것을 보여준다.<sup>(1)</sup>

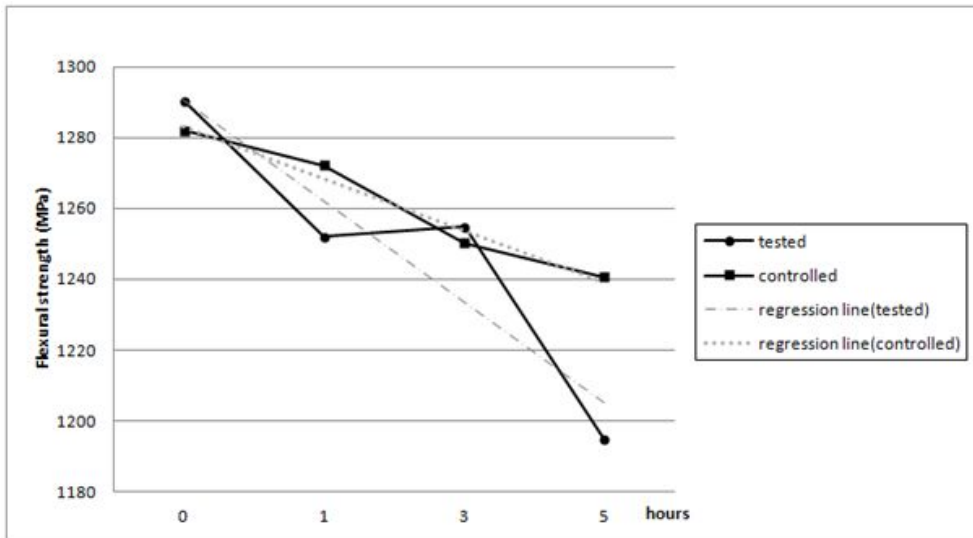
그러나 aging 처리 후, 알루미나를 이용한 샌드블라스팅의 효과는 처리 전과 다른 결과를 보여 주었다. 1시간 autoclaving 후, 평균 굽힘 강도가 실험군에서는 1252.1 MPa, 대조군에서는 1272.0 MPa 로 대조군의 굽힘 강도가 더 컸다. 이것은 샌드블라스팅으로 인해 생성된 미세 균열이 지르코니아의 강도에 영향을 주는 것으로 생각된다. aging을 하는 동안 지르코니아에  $t \rightarrow m$  상전이가 더 많이 일어나 굽힘 강도에 영향을 준 것으로 볼 수 있다.

3시간 후에는, 대조군은 1250.3 MPa, 실험군은 1254.9 MPa 의 강도를 나타냈다. 5시간 aging이 된 후의 평균 굽힘 강도는 대조군에서 1240.5 MPa, 그리고 실험군에서 1194.7 MPa 로 관찰되었다.

3시간 열처리 시, 실험군의 굽힘 강도가 대조군보다 높게 측정이 되었는데, 이것은 시편의 수가 적어 나타난 오류라고 볼 수 있다.

**Table II. 굽힘 강도 (MPa)**

Group	Aging periods (h)			
	0	1	3	5
Control	1281.94	1271.98	1250.30	1240.49
Test	1290.55	1252.12	1254.92	1194.73



**Figure 1. 굽힘 강도 (MPa)**

## 고찰

Y-TZP는 100°C에서 500°C 사이의 온도에서 습도가 있는 환경일 때, 지속적으로 상전이하여 결과적으로 저온열화현상이 일어나게 된다.<sup>(4)</sup> 이러한 지르코니아의 정방정계에서 단사정계로의 상전이는 심지어 100°C 이하에서도 일어난다고 보고된 적이 있다.<sup>(5)</sup> 정방정계 지르코니아의 상전이는 지르코니아의 구성, 입자크기, 종류, 안정화 산화물, 제작방법 등의 영향을 받는다고 알려져 있다.<sup>(4)</sup> 소결 시간이 증가하면 입자의 크기가 증가하고, 지르코니아의 표면 또한 거칠어지게 되어, 강도에 영향을 미치게 된다.<sup>(5)</sup>

많은 기존의 연구들에서는 이러한 저온열화현상이 지르코니아의 강도를 약화시킨다고 보고되어왔다.<sup>(1-13)</sup> Ce-TZP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우에는 aging 시에도 그 강도가 큰 차이가 없다고 보고된 바도 있으나, Y-TZP의 경우 시간이 지날 수록 굽힘 강도가 약화되었다.<sup>(14)</sup>

지르코니아 수복물은 구강 내의 습한 환경에 노출되고, 기능 중에 지속적인 하중을 받게 된다. 구강 내에서 지르코니아 사용시간이 증가함에 따라 저온열화현상이 가속화되고, 이것은 지르코니아의 굽힘 강도를 약하게 만든다. 따라서 표면 처리한 지르코니아의 기계적 성질을 평가하는 것은 성공적인 지르코니아 수복물 적용을 위해 필수적이다. 구강 내에서 사용한 효과를 지르코니아에 재현하기 위해 aging하는 방법으로는 흔히 고온고압멸균기가 추천된다. 고온고압멸균기를 이용한 열처리는 지르코니아의 저온열화현상을 가속화하는데, 이론적으로 134°C 멸균기에서 1시간의 열처리 효과는 체내에서의 3, 4 년의 효과와 같다고 알려져 있다.<sup>(6)</sup>

습도가 있는 환경에서 어떠한 원인으로 인해 지르코니아가 정방정계에서 단사정계로 상전이를 하는지에 대해서는 아직 보편적으로 받아들여지는 이론은 없으나, 세 가지 메카니즘이 제안되었다.<sup>(3)</sup> 첫 번째는 물(H<sub>2</sub>O)이 Yttria(Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)와 반응해 Yttrium hydroxide가 되고, 이것이 단사정

계로의 상전이를 촉진한다는 것이다. 두 번째는 물이 Zr-O 결합을 파괴시켜 -OH기가 결정구조로 이동하게 함으로써 스트레스의 축적이 일어나고, 이러한 이동이 결정구조의 결합을 유발함으로써 정방정계에서 단사정계로의 상전이의 중심 핵으로 작용한다는 것이다. 마지막 메카니즘은 물로부터 해리된 O<sub>2</sub>-기가 산소의 빈 공간을 채우게 되는 것이다.

모든 연구자들이 항상 동의하는 바는 아니지만, 저온열화현상의 특징<sup>(7)</sup>은 시간 의존적이고, 정방정계에서 단사정계로의 상전이가 외부 표면으로부터 내부로 일어나며, 물이나 습한 환경은 정방정계에서 단사정계로의 상전이를 유발하고, 안정화 물질과 지르코니아의 입자 크기는 상전이를 일으키는데 중요한 역할을 한다는 것이다. 65°C 에서 500°C 사이에서 더욱 빠르게 일어나며, 250°C 에서 가장 빠른 속도로 저온열화가 일어난다.

샌드블라스팅으로 인한 미세균열이 지르코니아의 강도를 약화시키는 것이 아니냐는 의문이 있었지만, 많은 연구를 통해 오히려 샌드블라스팅이 지르코니아의 굽힘 강도를 증가시킨다는 것이 밝혀졌다. 샌드블라스팅으로 인한 표면손상에도 불구하고 이 과정은 기존의 실험들에서 표본의 평균 굽힘 강도를 크게 증가시켰다.<sup>(8)</sup> 또한 Kosmac은 샌드블라스팅이 연마하는 것보다 효과적으로 상전이를 유도함으로써 더 큰 강도의 증가를 일으킨다고 밝혔다.<sup>(2)</sup>

본 실험에서는 샌드블라스팅을 이용한 표면 처리와 aging 처리가 지르코니아의 굽힘 강도에 어떠한 영향을 주는지에 대해 알아보았다. 그 결과 aging이 굽힘 강도를 저하시키는 현상이 관찰되었다. 이는 저온열화현상이 불필요한 상전이를 일으킬 뿐만 아니라, 표면을 거칠게 만들고, 미세균열, 강도저하 등을 야기하며 이로 인해 내마모성이 약화되고, 지연 파괴가 유발된다는 기존의 연구결과와 부합한다.<sup>(4)</sup>

aging을 하기 전, 실험군과 대조군을 비교해 보았을 때, 기존의 연구와 마찬가지로 샌드블라스팅이 표본의 굽힘 강도를 증가시키는 것을 관찰할 수 있었다.<sup>(2)</sup> 이러한 결과는 미세기계적 결합을 위한 샌드블라스팅이 사용 전 지르코니아의 강도에 유해한 효과를 끼치지 않는다는 것을

다시 한 번 확인할 수 있었다.

그러나 샌드블라스팅이 굽힘 강도를 증가시키는 효과적인 방법임에도 불구하고, aging 과정은 샌드블라스팅으로 인한 효과를 상쇄시킨 것으로 나타났다. 이것은 aging이 지르코니아의 바깥 표면에서부터 저온열화를 유도함과 동시에, 샌드블라스팅에 의한 균열이 aging과정 동안 바깥 표면의 상태를 악화시키기 때문인 것으로 생각된다. 실험군과 대조군과의 통계적 차이는 없음에도 불구하고 회귀선(Figure 1)은 굽힘 강도의 감소경향을 명확하게 보여주고 있다. 이는 샌드블라스팅이 마모와 측면 파절을 유발하지만 효과적으로 상전이를 유도함으로써 더 큰 강도의 증가를 일으킨다고 밝힌 기존의 연구들과 차이를 보였다.<sup>(28)</sup>

그럼에도 불구하고, 5시간 후의 굽힘 강도는 실험군과 대조군 모두에서 여전히 높게 관찰된다. 이는 수복물의 임상적 수명이 7-12년이라고 가정했을 때, 이와 비교해 보아 물리적 특성 상 지르코니아의 수명이 더 길 것이라고 예상할 수 있다. 표면 처리와 열처리에도 불구하고 높은 강도를 갖는 지르코니아는 구치부 수복물의 재료로서 우수한 재료라고 할 수 있다.

본 실험에서는 작은 표본의 수로 인해 통계적 결과가 다소 만족스럽지는 못하지만, 표본의 수를 늘리고 aging 시간을 증가시킨다면 더욱 만족할만한 결과가 나올 것으로 예상된다. 따라서 샌드블라스팅에 대한 aging 과정의 효과를 확인하기 위해서 더 많은 표본의 연구가 필요하며, aging 시간이 굽힘 강도에 미치는 영향과 aging의 장기적 효과에 대한 연구 또한 필요할 것이다.



## 결론

샌드블라스팅 된 표본은 aging한 시간에 비례하여 굽힘 강도가 대조군에 비해 급격히 감소하였다. 5시간의 aging 후, 열처리 시간에 따른 굽힘 강도의 감소에도 불구하고 대조군과 실험군은 각각 1240.49 MPa와 1149.73 MPa로 모두 여전히 높은 굽힘 강도를 나타냈다.

## 참 고 문 헌

1. 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* 1999;15:426-33.
2. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. *J Biomed Mater Res* 2000;53:304-13.
3. Alghazzawi TF, Lemons J, Liu PR, Essig ME, Bartolucci AA, Janowski GM. Influence of low-temperature environmental exposure on the mechanical properties and structural stability of dental zirconia. *J Prosthodont* 2012;21:363-9.
4. Lee TH, Lee SH, Her SB, Chang WG, Lim BS. Effects of surface treatments on the susceptibilities of low temperature degradation by autoclaving in zirconia. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2012;100:1334-43.
5. Ban S, Sato H, Suehiro Y, Nakanishi H, Nawa M. Biaxial flexure strength and low temperature degradation of Ce-TZP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite and Y-TZP as dental restoratives. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2008;87:492-8.
6. Deville S, Gremillard L, Chevalier J, Fantozzi G. A critical comparison of methods for the determination of the aging sensitivity in biomedical grade yttria-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005;72:239-45.
7. Papanagiotou HP, Morgano SM, Giordano RA, Pober R. In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2006;96:154-64.
8. Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2005;33:9-18.
9. Kohorst P, Borchers L, Stempel J, Stiesch M, Hassel T, Bach FW, Hubsch C. Low-temperature degradation of different zirconia ceramics for dental applications. *Acta Biomater* 2012;8:1213-20.
10. Flinn BD, deGroot DA, Mancl LA, Raigrodski AJ. Accelerated aging characteristics of three yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline dental materials. *J Prosthet Dent*

- 2012;108:223-30.
11. Pittayachawan P, McDonald A, Young A, Knowles JC. Flexural strength, fatigue life, and stress-induced phase transformation study of Y-TZP dental ceramic. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009;88:366-77.
  12. Borchers L, Stiesch M, Bach FW, Buhl JC, Hubsch C, Kellner T, Kohorst P, Jendras M. Influence of hydrothermal and mechanical conditions on the strength of zirconia. *Acta Biomater* 2010;6:4547-52.
  13. Ardlin BI. Transformation-toughened zirconia for dental inlays, crowns and bridges: chemical stability and effect of low-temperature aging on flexural strength and surface structure. *Dent Mater* 2002;18:590-5.
  14. Roy ME, Whiteside LA, Katerberg BJ, Steiger JA. Phase transformation, roughness, and microhardness of artificially aged yttria- and magnesia-stabilized zirconia femoral heads. *J Biomed Mater Res A* 2007;83:1096-102.
  15. Keuper M, Eder K, Berthold C, Nickel KG. Direct evidence for continuous linear kinetics in the low-temperature degradation of Y-TZP. *Acta Biomater* 2013;9:4826-35.
  16. Lin WS, Ercoli C, Feng C, Morton D. The effect of core material, veneering porcelain, and fabrication technique on the biaxial flexural strength and weibull analysis of selected dental ceramics. *J Prosthodont* 2012;21:353-62.
  17. Preis V, Behr M, Hahnel S, Handel G, Rosentritt M. In vitro failure and fracture resistance of veneered and full-contour zirconia restorations. *J Dent* 2012;40:921-8.
  18. Zarone F, Russo S, Sorrentino R. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: clinical and experimental considerations. *Dent Mater* 2011;27:83-96.
  19. Chevalier J, Loh J, Gremillard L, Meille S, Adolphson E. Low-temperature degradation in zirconia with a porous surface. *Acta Biomater* 2011;7:2986-93.
  20. Hallmann L, Mehl A, Ulmer P, Reusser E, Stadler J, Zenobi R, Stawarczyk B, Ozcan M, Hammerle CH. The influence of grain size on low-temperature degradation of dental zirconia. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2011;100B:447-56
  21. Beuer F, Stimmelmayer M, Gernet W, Edelhoff D, Guh JF, Naumann M. Prospective study of zirconia-based restorations: 3-year clinical results. *Quintessence Int* 2010;41:631-7.
  22. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil* 2010;37:641-52.

23. Schley JS, Heussen N, Reich S, Fischer J, Haselhuhn K, Wolfart S. Survival probability of zirconia-based fixed dental prostheses up to 5 yr: a systematic review of the literature. *Eur J Oral Sci* 2010;118:443-50.
24. Heintze SD, Rousson V. Survival of zirconia- and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review. *Int J Prosthodont* 2010;23:493-502.
25. Lughì V, Sergo V. Low temperature degradation -aging- of zirconia: A critical review of the relevant aspects in dentistry. *Dent Mater* 2010;26:807-20.
26. Tholey MJ, Berthold C, Swain MV, Thiel N. XRD2 micro-diffraction analysis of the interface between Y-TZP and veneering porcelain: role of application methods. *Dent Mater* 2010;26:545-52.
27. Monaco C, Tucci A, Esposito L, Scotti R. Microstructural changes produced by abrading Y-TZP in presintered and sintered conditions. *J Dent* 2013;41:121-6.
28. Schmitt J, Wichmann M, Holst S, Reich S. Restoring severely compromised anterior teeth with zirconia crowns and feather-edged margin preparations: a 3-year follow-up of a prospective clinical trial. *Int J Prosthodont* 2010;23:107-9.
29. 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;13:445-51.
30. Wolfart S, Harder S, Eschbach S, Lehmann F, Kern M. Four-year clinical results of fixed dental prostheses with zirconia substructures (Cercon): end abutments vs. cantilever design. *Eur J Oral Sci* 2009;117:741-9.
31. Denry I, Kelly J. State of the art of zirconia for dental applications. *Dental Mater* 2008;24:299-307.
32. 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;21:217-22.
33. Kelly JR, Denry I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dent Mater* 2008;24:289-98.
34. Wang H, Aboushelib MN, Feilzer AJ. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. *Dent Mater* 2008;24:633-8.
35. Benzaid R, Chevalier J, Saadaoui M, Fantozzi G, Nawa M, Diaz LA, Torrecillas R.

- Fracture toughness, strength and slow crack growth in a ceria stabilized zirconia-alumina nanocomposite for medical applications. *Biomaterials* 2008;29:3636-41.
36. Molin MK, Karlsson SL. Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int J Prosthodont* 2008;21:223-7.
  37. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007;35:819-26.
  38. Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007;20:383-8.
  39. Studart AR, Filser F, Kocher P, Gauckler LJ. In vitro lifetime of dental ceramics under cyclic loading in water. *Biomaterials* 2007;28:2695-705.
  40. Chowdhury S, Vohra YK, Lemons JE, Ueno M, Ikeda J. Accelerating aging of zirconia femoral head implants: change of surface structure and mechanical properties. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007;81:486-92.
  41. Beuer F, Stimmelmayer M, Gueth JF, Edelhoff D, Naumann M. In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. *Dent Mater* 2012;28:449-56.
  42. Denry IL, Holloway JA. Microstructural and crystallographic surface changes after grinding zirconia-based dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006;76:440-8.
  43. Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 2006;27:535-43.
  44. Deville S, Chevalier J, Gremillard L. Influence of surface finish and residual stresses on the ageing sensitivity of biomedical grade zirconia. *Biomaterials* 2006;27:2186-92.
  45. 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;20:449-56.
  46. Kelly JR. Dental ceramics: current thinking and trends. *Dent Clin North Am* 2004;48:513-30.
  47. Santos EM, Vohra S, Catledge SA, McClenny MD, Lemons J, Moore KD. Examination of surface and material properties of explanted zirconia femoral heads. *J Arthroplasty* 2004;19:30-4.
  48. Hernigou P, Bahrami T. Zirconia and alumina ceramics in comparison with stainless-steel

- heads. Polyethylene wear after a minimum ten-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85:504-9.
49. Catledge SA, Cook M, Vohra YK, Santos EM, McClenny MD, David Moore K. Surface crystalline phases and nanoindentation hardness of explanted zirconia femoral heads. *J Mater Sci Mater Med* 2003;14:863-7.
50. Tanaka K, Tamura J, Kawanabe K, Nawa M, Uchida M, Kokubo T, Nakamura T. Phase stability after aging and its influence on pin-on-disk wear properties of Ce-TZP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite and conventional Y-TZP. *J Biomed Mater Res A* 2003;67:200-7.
51. Vaquero-Aguilar C, Jimenez-Melendo M, Torres-Lagares D, Llena-Blasco O, Bruguera A, Llena-Blasco J, Garcia-Caldron M, Velazquez-Cayon R, Gutierrez-Perez J. Zirconia implant abutments: microstructural analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:785-91.

## **Abstract**

# **The effect of aging process on the flexural strength of airborne particle abraded zirconia ceramics**

Heewon Suh  
Department of Dentistry  
The Graduate School  
Seoul National University

## **Objectives**

The aim of this study was to evaluate the effect of aging process on the flexural strength of zirconia ceramics which were sand-blasted to achieve micromechanical bonding between zirconia and resin cement.

## **Material and methods**

Bar-shaped specimens of zirconia ceramic were randomly divided into 8 groups ( $n=4$ ), (Group C-0 to C-5 and T-0 to T-5). Group C-0 was the control with surface remaining in the 'as-received' state. For sand-blasting,

specimens were abraded with 50  $\mu\text{m}$  alumina particles at an air pressure of 4 bar for 20 seconds. C-0 and T-0 were not used in aging treatments. The other six groups were autoclaved at 134°C with 0.2 MPa for 0, 1, 3, and 5 hours. Three-point bending test was performed, and the flexural strength ( $s_f$ ) was calculated in MPa. Data were analyzed using one-way ANOVA and t-test ( $\alpha = .05$ ).

## **Results**

Even though there was no statistical significance, the regression line showed that the flexural strength decreased as autoclaving time increased in both Control and Test groups. The following values of mean flexural strength of zirconia were measured for each group: C-0 (1281.9 MPa); C-1 (1272.0 MPa), C-3 (1250.3 MPa); C-5 (1240.5 MPa); T-0 (1290.6 MPa); T-1 (1252.1 MPa); T-3 (1254.9 MPa); T-5 (1194.7 MPa)

## **Conclusion**

Aging process produced monolithic phase transformation which induced lower flexural strength. However, depending on aging hours, flexural strengths of the sand-blasted specimens were decreased more rapidly than the control group.

**Keywords :** Zirconia, Flexural strength, Low temperature degradation (LTD), Sand-blasting

***Student number : 2011-22458***