지르코니아 코어와 전장용 세라믹의 결합 강도에 대한 표면 처리 방법 평가

이광영¹, 홍민호²

¹원광보건대학교 치기공과, ²부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Evaluation of surface treatment methods on the bond strength of veneer ceramic to the zirconia core

Gwang-Young Lee¹, Min-Ho Hong²

¹Department of Dental Laboratory Technology, Wonkwang Health Science University, Iksan, Korea

²Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan, Busan, Korea

Article Info

Received July 24, 2020

Revised August 14, 2020

Accepted August 27, 2020

Corresponding Author

Min-Ho Hong

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

E-mail: mhhong@cup.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-6456-2200>

*This paper was supported by Wonkwang Health Science University in 2020 (No.202031).

Purpose: This study aimed to identify the impact of physical surface roughing with a polishing tool onto the pre-sintering yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals (TZP) core and liner treatment for chemical bonding on the bond strength of TZP core and veneering ceramic.

Methods: Overall, 80 specimens were classified into two groups (non-liner, NL; and using-liner, UL) depending on the use of liner, and these two groups were then subclassified into four groups depending on the polishing tool used. (1) Non-liner groups: NS, non-liner+stone point; NC, non-liner+carbide bur; NP, non-liner+paper cone point; NT, non-liner+silicon point. (2) Using-liner groups: US, using-liner+stone point; UC, using-liner+carbide bur; UP, using-liner+paper cone point; UT, using-liner+silicon point. The pre-sintering surface roughing values and shapes were observed, and after burning up the veneering ceramic, the shear bond strength was measured using a universal testing machine. For significance testing, a one-way analysis of variance and Tukey's multiple comparison test were conducted. An optical microscope was used to observe the fracture plane, and the following results were obtained.

Results: Surface roughness NP ($4.09 \pm 0.51 \mu\text{m}$) represented a higher value than other groups ($p < 0.001$). In shear bond strength, NS ($35.21 \pm 1.44 \text{ MPa}$) of the NL group showed the highest bond strength ($p < 0.001$). The UL group did not show a statistically significant difference between groups ($p = 0.612$).

Conclusion: Our study findings reveal that the bond strength of TZP core and veneering ceramic was improved by pre-sintering physical surface treatment than by chemical bonding with liner surface treatment.

Key Words: Bond strength, Liner, Veneering ceramic, Zirconia

INTRODUCTION

전부도재관(all-ceramic crown) 수복물은 뛰어난 심미성과 생체 적합성으로 인해 임상에서 금속 도재관(porcelain fused metal crown)을 대체해 많이 사용되는 추세이다. 특히 우수한 물리적, 기계적 성질을 가지는 yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal (TZP)

은 전부도재관 core로 임상에서 많이 사용되고 있다[1].

과거에 TZP core는 소결 후 수축, 높은 강도로 인해 가공이 어려워 치과영역에서 상용이 어려웠다. 그러나 CAD/CAM의 도입으로 TZP core의 수복물이 정확도가 높아지고 예비 소결된 TZP core는 소결체의 가공이 쉬워져 높은 강도의 심미적인 보철물 제작이 가능하게 되었다[2].

전부도재관 수복물은 일반적으로 TZP core를 제작한 다음 상부는 veneering ceramic을 축성(build-up)하여 치관의 형태를 완성하는 전부도재관으로 심미성은 우수하나 상부를 구성하는 veneering ceramic은 탄성에너지를 흡수하는 능력이 낮아 비교적 낮은 인장력과 미세한 구조결합에 의한 파절 가능성이 높다는 단점이 있다[3].

TZP core와 veneering ceramic의 계면부의 실패는 임상연구에서 많이 보고되고 있다. 특히 TZP core는 파절되지 않고 veneering ceramic만 떨어져 나가는 파절양상이 주로 보고되고 있다[4]. TZP core와 veneering ceramic 간의 결합력이 낮아 파절되는 원인으로 는 열팽창계수 차이에 의한 응력집중과 TZP core에 대한 veneering ceramic의 낮은 젖음성(wettability), 소성에 따른 수축, 열이나 응력 부하에 의한 TZP core와 veneering ceramic 계면에서의 TZP core 결정 변태와 제작과정에 발생된 결함 등이 보고되고 있다[5].

TZP core와 veneering ceramic 간의 결합력을 향상시키기 위한 연구들은 기계적 결합이나 화학적 결합을 개선하는 방향으로 진행되어 왔다. Zaher 등[6]은 표면처리방법 중 샌드블라스팅법은 veneering ceramic과의 결합강도에 영향을 미치지 못하였으나 liner를 적용했을 때 결합강도가 증가하였음을 보고하였고 Hallmann 등[7]은 110 μ m 크기의 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리했을 경우 결합강도가 우수하였다고 보고하였다. Derand 등[8]은 불규칙한 표면 요철 구조는 표면에너지를 높이고 젖음성을 증가시켜 TZP core와 veneering ceramic의 결합강도가 향상되었다고 보고하였다. 이와 같이 TZP core와 veneering ceramic 간의 결합강도에 관한 많은 실험들이 행해지고 있다.

소결된 TZP core와 veneering ceramic 간의 결합강도에 관한 연구는 활발하게 보고되었으나 소결 전 TZP core 표면처리가 결합강도에 미치는 연구는 미흡한 것으로 판단된다. 본 연구는 TZP core-venneering ceramic 수복물의 실패를 줄이기 위해 소결 전 TZP core에 연마도구를 사용한 물리적인 표면 거칠기와 화학적 결합을 위한 liner 처리가 TZP core와 전장용 세라믹의 결합강도에 미치는 영향을 분석하고 향후 보다 성공적인 보철물 제작의 개발 방향에 대한 기초자료를 마련하고자 시작하였다.

Table 1. Materials used in this study

Brand name	Code	Material	Manufacturer
Fine Base	TZP	Yttria-stabilized tetragonal zirconia	K&F, Korea
Zirliner	UL	Liner	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
Zirmax	NL	Veneering ceramics	Alphadent, Korea

TZP: yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal, UL: using-liner, NL: non-liner.

MATERIALS AND METHODS

1. 시편 준비

Table 1은 연구에 사용된 TZP core, liner, 그리고 veneering ceramic을 나타내고 있다. 연구에서는 소결 전 TZP 블럭(Fine Base; K&F, Daegu, Korea)을 가로 15 mm×세로 15 mm×높이 4 mm로 저속절단기(Model-650; South bay Technology, San Clemente, CA, USA)를 사용하여 직육면체 형태로 각 그룹당 10개씩(n=10) 실험하기 위하여 80개의 시편을 제작하였다. Fig. 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.

Table 2는 연구에 사용된 시편의 코드와 표면 전 처리 상태를 나타내었다. 시편은 각각 10개씩(n=10) liner 사용 유무에 따라 두 개의 그룹으로 나누었고(using-liner group, UL group; non-liner group, NL group) 각 그룹당 표면 거칠기를 다르게 부여하기 위해 4개 군으로 나누었다. 판형 시편 소결 전 TZP core에 stone point (GC#44; Sunil, Seoul, Korea), carbide bur (LK-P21; Zzlinker, Zhengzhou, China), paper cone point (Pure paper cone; Quest Corporation, Komatsushima, Japan), 그리고 silicone point (Eve ecoceram NK; EVE Ernst Vetter GmbH, Keltern, Germany)로 연

Figure 1. Study flow.

Table 2. Treatment condition and code

Group	Code	Condition
NL	NS	Stone point
	NC	Carbide bur
	NP	Paper cone point
	NT	Silicone point
UL	US	Stone point
	UC	Carbide bur
	UP	Paper cone point
	UT	Silicone point

NL: non-liner, UL: using-liner, NS: non-liner+stone point, NC: non-liner+carbide bur, NP: non-liner+paper cone point, NT: non-liner+silicon point, US: using-liner+stone point, UC: using-liner+carbide bur, UP: using-liner+paper cone point, UT: using-liner+silicon point.

마 작업을 각각 시행하였다. 연마 시 방향은 우측에서 좌측으로 10회 시행한 후 소성로(Zirkonofen 600; Zirkonzahn GmbH, Gais, Italy)에 넣고 8℃/minute의 승온 속도로 650℃에서 1,500℃까지 온도를 올렸으며 2시간 동안 소결시켰다. 소결 후 최종 시편의 크기는 가로 6 mm×세로 6 mm×높이 3 mm로 준비되었다.

Table 3은 veneering ceramic과 liner의 소성 스케줄을 보여주고 있다. 모든 시편은 표면 전 처리 시행 후 각 시편에 10분간 초음파 세척(Branson 8210; Branson Ultrasonics Corp, Brookfield, CT, USA)하였다. NL group은 liner (Zirliner; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)를 도포하지 않았고 UL Group은 세척 후 liner를 0.1~0.2 mm 도포하였다. Liner의 두께는 micrometer (MDC-SB; Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 측정하였다.

시편마다 동일한 접촉면적과 크기를 갖는 liner 및 veneering ceramic을 축성하기 위한 원통형 실리콘 몰드를 제작하였다. 내경 4 mm×높이 3 mm의 몰드 내 wetting palet에 일률적인 수분이 혼합되어 있는 veneering ceramic (Zirmax; Alphadent, Goyang, Korea)을 축성하였다. Liner 및 veneering ceramic의 소성은 동일한 소성로(Multimat NTX 230V; Dentsply Sirona, Bensheim, Germany)에서 제조회사가 제시한 소성 온도에 맞게 소성하였다.

2. 표면 형상 및 거칠기 평가

소결 전 연마도구에 의한 표면 거칠기를 비교 관찰하기 위해 표면측정기(SJ-400; Mitutoyo)를 이용하여 0.5 mm/second의 이동 조정된 중앙 부위에서 4.0 mm의 거리를 시편당 5회 측정하여 각 평균 거칠기 roughing값을 기록하였다. 표면 형상은 3D digital microscope (VHX-600; Keyence Co., Osaka, Japan)를 이용하여 표면 형상을 관찰하였다.

3. 전단결합강도 및 파단면 분석

Veneering ceramic 소성을 끝낸 후 80개 모든 시편은 직경 30 mm 및 높이 20 mm의 원기둥 형태가 되도록 아크릴 레진(Jet; Lang Dental Co., Wheeling, IL, USA)으로 포매(embedding)하여 전단결합강도 측정용 지그에 고정될 수 있도록 하였다.

전단결합강도 실험은 하중이 TZP core와 veneering ceramic 사이의 접착면과 평행한 방향으로 전달되도록 전단결합강도 측정용 지그에

고정한 뒤 만능시험기(Model 8871; Instron, Norwood, MA, USA)로 crosshead 속도 0.5 mm/minute의 조건에서 최대하중값을 측정하였다(Fig. 2).

파단면 분석은 전단결합강도 측정 후 접착계면에서의 파절 양상을 광학현미경(SZX7; Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

유의성 검증은 SPSS 통계 프로그램(IBM SPSS ver. 20.0 for windows; IBM Corp., Armonk, NY, USA)에서 일원분산분석(one-way ANOVA test), 다중비교검정(Tukey's multiple comparison test)을 시행하였다.

RESULTS

1. 표면 거칠기 특성

소결 전 TZP core에 물리적인 표면 거칠기 특성 관찰을 위하여 표면측정기(SJ-400; Mitutoyo)와 3D digital microscope를 이용하여 표면 거칠기 관찰실험을 하였다. Stone point로 연마한 NS시편의 표면은 trace line과 함께 작은 입자들이 관찰되었다. Carbide bur로 연마한 NC시편의 표면은 전반적으로 활택한 표면을 가졌다. Paper cone point로 연마한 NP시편은 매우 거친 trace line이 관찰되었고 NS시편에서 보이는 작은 입자는 거친 trace line에 가려져 관찰되지 않았다. Silicone point로 연마한 NT군에서는 얇은 trace line 만이 관찰되었다(Fig. 3). 표면 거칠기를 측정한 결과 NP시편은 $4.09 \pm 0.51 \mu\text{m}$, NS시편은 $1.27 \pm 0.24 \mu\text{m}$, NC시편은 $1.18 \pm 0.15 \mu\text{m}$, 그리고 NT시편은 $1.19 \pm 0.16 \mu\text{m}$ 의 평균거칠기를 가지는 것으로 나타났다(Table 4).

Figure 2. Schematic diagram of the shear bond strength test sep-up on. UTM: universal testing machine.

Table 3. Firing schedule

Firing step	Liner	Ceramic
Pre-drying		
Temperature (°C)	650	650
Time (min)	5	8
Heating rate (°C/min)	45	45
Firing temperature (°C)	920	920
Holding time (min)	1	1

Figure 3. Image of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal after each surface treatment. (A) NS, (B) NC, (C) NP, and (D) NT. NS: non-liner+stone point, NC: Non-liner+carbide bur, NP: non-liner+paper cone point, NT: non-liner+silicon point.

Table 4. Surface roughness according to treatment condition

Group	Surface roughness (μm)	p-value
NS	$1.27 \pm 0.24^{\text{a}}$	$p < 0.001$
NC	$1.18 \pm 0.15^{\text{a}}$	
NP	$4.09 \pm 0.51^{\text{b}}$	
NT	$1.19 \pm 0.16^{\text{a}}$	

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

NS: non-liner+stone point, NC: Non-liner+carbide bur, NP: non-liner+paper cone point, NT: non-liner+silicon point.

^{a,b}The values with different superscripts in the same column are significantly different ($p < 0.05$, Tukey's method).

2. 전단결합강도

TZP core와 veneering ceramic의 전단결합강도는 Fig. 4에 나타내었다. 소결 전 stone point로만 연마한 NS군이 35.21 ± 1.44 MPa로 가장 높게 나타났고, paper cone point로 연마한 NP군 26.62 ± 1.67 MPa, silicone point 연마한 NT군 27.82 ± 1.97 MPa, stone point로 연마 후 liner를 도포한 US군이 22.73 ± 2.92 MPa, paper cone point로 연마 후 liner를 도포한 UP군이 21.90 ± 2.40 MPa, silicone point로 연마 후 liner를 도포한 UT군이 22.10 ± 1.69 MPa로 나타났다.

NL group과 UL group은 통계학적 유의차가 나타났다($p < 0.001$). NL group 내에서 NS군은 NC, NP, 그리고 NT군과 통계학적 유의차를 보였다($p < 0.001$). 하지만 UL group은 군 간 통계학적 차이를 나타내지 않았다($p = 0.612$).

Figure 4. Shear bonding strength of the veneered ceramics after different surface treatments. The values with different letters (a,b,c) in the figure box are significantly different ($p < 0.05$, Tukey's method). Shear bond strength (MPa)=F (load)/A (area). NS: non-liner+stone point, NC: non-liner+carbide bur, NP: non-liner+paper cone point, NT: non-liner+silicon point, US: using-liner+stone point, UC: using-liner+carbide bur, UP: using-liner+paper cone point, UT: using-liner+silicon point.

3. 파단면 분석

TZP core와 veneering ceramic의 전단결합강도 실험 후 파단면은 Fig. 5에 나타내었다. NL group은 파절양상은 veneering ceramic 내에서 시작된 균열이 접착면 쪽으로 진행한 후 접착면이 분리되는 양상으로 나타났으며 접착면은 TZP core가 완전히 노출되지 않고 veneering ceramic 입자들이 남아있는 복합파절양상(mixed failure)을 나타내었다. UL group에서는 모든 시편에서 liner와 veneering ceramic 간의 응집성 파절양상(cohesive failure)을 나타냈다.

Figure 5. View of a debonded veneered ceramic specimen. NS: non-liner+stone point, NC: non-liner+carbide bur, NP: non-liner+paper cone point, NT: non-liner+silicon point, US: using-liner+stone point, UC: using-liner+carbide bur, UP: using-liner+paper cone point, UT: using-liner+silicon point.

DISCUSSION

심미적인 수복물로의 전부도재관의 활용도는 앞으로 보다 증가할 것으로 예상된다. 그러나 전부도재관의 결정적인 문제점은 기능 시 발생할 수 있는 박리현상(chipping)으로 TZP core와 veneering ceramic 사이의 계면이 가장 취약한 부위로 알려져 있다. 수복물의 성공은 TZP core와 veneering ceramic 사이의 안정적인 결합 형성에 따라 달라질 것으로 예상된다[9].

본 연구는 소결 전 TZP에 물리적으로 부여한 표면 거칠기와 화학적 결합을 위한 liner처리가 두 재료 간 결합강도에 미치는 영향을 알아보

기 위한 목적으로 시행되었다. 이전의 많은 실험들이 TZP core를 제작하는 과정 중 소결 이후에 시편절단 및 연속연마 과정을 시행한 것을 볼 수 있다. 이것은 TZP core 표면의 구조적 변화를 일으켜 실험의 부정확성을 야기시킬 수 있다고 생각된다. 이러한 이유로 본 연구에서는 TZP core 제작 및 연마 과정을 가소결 상태에서 진행하였으며 소결 이후에는 더 이상 표면에 스트레스를 발생시키는 과정을 시행하지 않았다.

TZP core에 연마도구를 사용하여 물리적인 표면 거칠기를 형성하고 소결 후 표면 거칠기는 측정결과 NP군에서 다른 그룹보다 높은 표면 거칠기값을 나타냈다. 이와 같은 표면 거칠기의 차이는 연마 도구에 분산된 입자와 바인더의 성분차이에 따른 것으로 판단된다[10].

TZP core와 veneering ceramic의 결합강도 실패 양상에 대해 Aboushelib 등[11], Saito 등[12], Ozkurt 등[13]은 air-borne particle abrasion 또는 liner의 사용에 영향을 받는다고 하였다. Guazzato 등[14]은 air borne particle abrasion이 TZP core의 표면을 거칠게 하여 기계적 결합력을 증가시킨다고 하였고 Fischer 등[15]은 air borne particle abrasion이 결합강도를 증가시키는 데 영향력이 없었다고 하였다. 또한 liner의 적용에 대해 Aboushelib 등[16]은 코어를 차폐(masking)하기 위해 사용하는 것으로 veneering ceramic의 젖음성을 증가시키고 결합강도를 강하게 한다고 하였고 Tinschert 등[17]은 liner의 적용이 오히려 결합강도를 약화시킨다고 보고한 바 있다. 이에 본 연구에서는 소결 전 연마도구를 이용한 표면 거칠기 처리와 liner적용을 각기 다르게 적용한 8개의 군 시편의 TZP core와 veneering ceramic의 전단결합강도를 분석하였다.

Liner 사용 유무에 대한 비교는 NL group의 NS에서 가장 높은 결합강도를 나타내었다. UL group은 그룹 간의 전단결합강도에는 통계학적 유의차는 없었다($p>0.05$). 이 결과를 통해 TZP core와 veneering ceramic은 화학적 결합보다는 물리적 결합에 의존하고 있음을 나타내는 것으로 소결 전 표면 거칠기 처리는 TZP core와 veneering ceramic의 결합강도를 높이는 의미 있는 과정임을 확인할 수 있는 중요한 결과라고 생각된다. 또한 연구 결과 범위 내에서 liner를 적용하는 것으로는 전단결합강도를 높이는 데 큰 영향을 미칠 수 없다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 TZP 표면에 liner를 도포함으로써 표면에 코팅이 되는 역할은 하지만 표면 거칠기에 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.

표면 거칠기 결과와 전단결합강도 결과의 상관관계를 생각해 볼 때 NP군이 다른 그룹보다 표면 거칠기값이 높게 측정되었지만 전단결합강도는 NS군이 다른 군에 비해 높게 나타났다. 이는 TZP core와 veneering ceramic 간의 결합 표면적을 증가시키면 결합강도를 증가시키나, 과도한 표면처리는 결합부위에 응력을 집중시킬 뿐만 아니라 기포형성을 초래하여 오히려 결합강도를 저하시킨 요인으로 작용한 것으로 생각되며 적절한 표면 거칠기 부여는 결합강도를 높이는 중요한 요소가 된다고 판단된다[2]. 또한 TZP core의 소결 과정에서 체적 수

축에 의한 표면 거칠기값의 변수가 발생할 수 있으며 이러한 부분에 대해서 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 실험에서 전단결합강도의 측정을 위해 사용한 shear knife의 끝 부분의 폭은 0.5 mm였다. 하중이 TZP core와 veneering ceramic 사이의 접착면으로 전달하도록 shear knife를 최대한 TZP core에 가깝게 위치시키지만 shear knife의 두께로 인해 veneering ceramic 내부로 응력이 가해질 수밖에 없다. 이 때 TZP core와 veneering ceramic 사이의 결합력이 veneering ceramic의 파절강도보다 높으면 veneering ceramic 내에서 파절이 시작(cohesive failure)될 것이고 TZP core와 veneering ceramic 사이의 결합력이 veneering ceramic의 파절강도보다 낮다면 TZP core와 veneering ceramic 사이에 분리(adhesive failure)가 나타날 것이다.

본 실험에서는 육안으로 관찰시 NL group은 파절이 veneering ceramic 내에서 시작된 후 균열이 접착면 쪽으로 진행한 후 접착면이 분리되는 양상으로 나타났다. 이는 TZP core와 veneering ceramic 사이의 결합력이 veneering ceramic의 파절강도보다 높아서 veneering ceramic 내에서 파절이 시작된 것으로 생각된다. 광학현미경을 이용한 파절면 관찰 시, 분리가 일어난 접착면은 TZP core가 완전히 노출되지 않고 veneering ceramic 입자들이 남아 있는 양상이었다(mixed failure). NL group의 NS군에서 가장 넓은 범위의 veneering ceramic이 잔류하였으며 NP군 NT군 순으로 관찰되었다.

UL group은 NL group과 달리 veneering ceramic의 잔류가 불규칙적인 형상으로 나타났다. 이는 liner와 veneering ceramic의 응집성 파절에 의한 것으로 판단된다.

현재까지 적절한 접착강도 실험기준이나 결과가 문헌으로 정해진 것은 드물다[18]. 그럼에도 불구하고 치과 재료에 대한 권장 사항은 기계적 특성에 대한 실험적 연구 결과를 기반으로 결정되고 있다. 전부도재관 시스템의 TZP core와 veneering ceramic 간의 결합력은 교합력이나 저작력에 저항할 수 있을 정도의 충분한 결합강도를 수복물에 제공할 수 있어야 한다.

Dündar 등[19]은 23~41 MPa, Al-Dohan 등[20]은 22~31 MPa 이 상품으로 사용 가능한 전부도재관 시스템의 전단결합강도라고 보고하였다. 본 연구의 결과 모든 실험군에서 TZP core와 veneering ceramic의 결합강도는 기존 연구 결과와 비슷한 값을 나타냈다.

본 연구 한계 내에서 NS군에서 가장 높은 결합강도를 나타냈지만 UL group 역시 전부도재관 시스템에 적용할 수 있는 결합강도를 나타냈다. 연구 결과를 바탕으로 TZP core와 veneering ceramic의 결합강도는 물리적인 표면처리에 더 영향을 많이 받는다는 것을 확인할 수 있었으며 본 연구가 좀 더 유효한 결과를 얻기 위해서는 구강 내 환경을 재현한 수분 환경하에서 피로강도를 측정하는 실험 및 TZP core와 veneering ceramic 간과 veneering ceramic 내에서의 파절에 관한 문제는 여전히 많은 문제가 제기되고 있어 향후 소결 전후 물리적으로 부여한 표면 거칠기에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

CONCLUSIONS

본 연구의 한계 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TZP core의 증가된 표면 거칠기는 veneer ceramic의 결합강도를 향상시키지 않았다.
2. Liner의 적용은 veneer ceramic의 결합강도를 향상시키지 않았다.
3. TZP core 및 veneer ceramic의 전단결합강도는 화학적 결합보다 물리적 결합에 영향을 받는 것으로 나타났다.

CONFLICT OF INTEREST

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

ORCID

Gwang-Young Lee, <https://orcid.org/0000-0003-1826-6870>

Min-Ho Hong, <https://orcid.org/0000-0002-6456-2200>

REFERENCES

1. Tzanakakis EG, Tzoutzas IG, Koidis PT. Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2016;115:9-19.
2. Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, et al. Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *J Dent Res*. 2002;81:487-491.
3. Santos RLP, Silva FS, Nascimento RM, Souza JCM, Motta FV, Carvalho O, et al. Shear bond strength of veneering porcelain to zirconia: Effect of surface treatment by CNC-milling and composite layer deposition on zirconia. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;60:547-556.
4. Sundh A, Sjögren G. A comparison of fracture strength of yttrium-oxide- partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. *J Oral Rehabil*. 2004;31:682-688.
5. Abrisham SM, Fallah Tafti A, Kheirkhah S, Tavakkoli MA. Shear bond strength of porcelain to a base-metal compared to Zirconia core. *J Dent Biomater*. 2017;4:367-372.
6. Zaher AM, Hochstedler JL, Rueggeberg FA, Kee EL. Shear bond strength of zirconia-based ceramics veneered with

- 2 different techniques. *J Prosthet Dent.* 2017;118:221-227.
7. Hallmann L, Ulmer P, Lehmann F, Wille S, Polonskyi O, Johannes M, et al. Effect of surface modifications on the bond strength of zirconia ceramic with resin cement resin. *Dent Mater.* 2016;32:631-639.
8. Derand T, Molin M, Kvam K. Bond strength of composite luting cement to zirconia ceramic surfaces. *Dent Mater.* 2005;21:1158-1162.
9. Craciunescu E, Sinescu C, Negrutiu ML, Pop DM, Lauer HC, Rominu M, et al. Shear bond strength tests of zirconia veneering ceramics after chipping repair. *J Adhes Sci Technol.* 2016;30:666-676.
10. Gönülol N, Yilmaz F. The effects of finishing and polishing techniques on surface roughness and color stability of nanocomposites. *J Dent.* 2012;40 Suppl 2:e64-e70.
11. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater.* 2005;21:984-991.
12. Saito A, Komine F, Blatz MB, Matsumura H. A comparison of bond strength of layered veneering porcelains to zirconia and metal. *J Prosthet Dent.* 2010;104:247-257.
13. Ozkurt Z, Işeri U, Kazazoğlu E. Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. *Dent Mater J.* 2010;29:233-245.
14. 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.
15. Fischer J, Stawarczyk B, Hämmerle CH. Flexural strength of veneering ceramics for zirconia. *J Dent.* 2008;36:316-321.
16. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: zirconia veneering ceramics. *Dent Mater.* 2006;22:857-863.
17. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina-and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper Dent.* 2001;26:367-374.
18. White SN, Miklus VG, McLaren EA, Lang LA, Caputo AA. Flexural strength of a layered zirconia and porcelain dental all-ceramic system. *J Prosthet Dent.* 2005;94:125-131.
19. Dündar M, Ozcan M, Gökçe B, Cömlekoğlu E, Leite F, Valandro LF. Comparison of two bond strength testing methodologies for bilayered all-ceramics. *Dent Mater.* 2007;23:630-636.
20. Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosthet Dent.* 2004;91:349-355.