

이중 지대주에서 티타늄 링크 높이가 지르코니아 지대주와의 유지력에 주는 영향

신홍수, 허수복, 석수황, 이유미, 임범순 *

서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실, 치학연구소

Effect of height of titanium link on the retention of zirconia abutment in the titanium-zirconia bicomponent abutments

Hong-Soo Shin, Soo-Bok Her, Soo-Hwang Seok, Yu-Mi Lee, Bum-Soon Lim *

Dept. of Dental Biomaterials Science and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, 110-749, Korea.

(Received: Aug. 30, 2013; Revised: Sep. 25, 2013; Accepted: Sep. 25, 2013)

ABSTRACT

The aim of present study was to evaluate the effects of link height and dental cements on the retention force between titanium link and zirconia abutment in the Ti-Zr bicomponent abutment system. Three different height (2.0, 2.5 and 3.0 mm with 0o taper) of titanium links (MonoDent, Korea) were machined and pertinent zirconia abutments (Acucera, Korea) were fabricated with CAD/CAM. One hundred thirty five titanium links and zirconia abutments were prepared. Zirconia abutments were cemented on their respective titanium links with three different types of dental cements, such as zinc phosphate (Fleck's), resin-modified glass ionomer (RMGI, RelyX Luting 2), self-adhesive resin cement (RelyX U200). Specimens were stored in deionized water (37°C) for 24 hours until testing. Pull-off test was performed using a universal testing machine (Instron 4466, USA) with a crosshead speed of 1 mm/min. Fifteen specimens were tested at each experimental group. The data were analyzed using t-test and Newman-Keuls multiple comparisons test (p=0.05). RMGI showed the lowest retention force (p<0.05) and ZPC showed similar retention force with resin cement (p>0.05) regardless of link heights. For ZPC groups and self-adhesive resin cement groups, 3.0 mm height showed significantly higher retention force than both 2.5 mm and 2.0 mm groups which were not significantly different (p>0.05). For RMGI groups, the retention force increased significantly with increasing of link height (p<0.05). To obtain the proper retention in clinical situation, height of titanium link should be no less than 3.0 mm.

Key Words : titanium abutment link, zirconia abutment, surface area, height, retention force

서론

임플란트 수술은 자연치의 삭제없이 상실된 자연치의 기능 회복 뿐 아니라 자연치와 유사하게 심미성을 재현할 수 있어 임상에서 중요한 분야가 되었다. 임플란트 시스템은 고정체, 지대주 (abutment) 및 상부 보철물 등으로 구성되는데, 임플란트가 도입된 초기에는 임플란트

고정체에 관한 연구가 대부분 발표되었으나, 최근에는 지대주와 상부 보철물의 형태와 문제점 등에 관한 연구도 크게 증가하고 있다 (Taylor와 Agar, 2002; Sailer 등, 2007; Nakamura 등, 2010).

티타늄 지대주는 세라믹 지대주에 비하여 심미성이 부족하여 심미성에 대한 관심이 증가하면서 전치부 뿐 아니라 강한 응력을 받는 구치부에도 금속 대신 세라믹을 적용하려는 경향으로 강도가 우수한 지르코니아를 임플란트 고정체, 지대주 및 상부 보철물 등에 적용하는

* 교신저자 : 서울시 종로구 연건동 28 서울대학교 치과대학 치과생체재료과학교실, 임범순

연구가 진행되고 있다 (Piconi와 Maccauro, 1999; Chevalier, 2006; Andreiotelli 등, 2009). Sailer 등 (2007)은 전치부 임플란트의 경우 우수한 심미성 재현을 위하여 웃을 때 노출되는 부위, 치은의 바이오타입, 인접치아의 색 및 환자의 기대감 등을 고려하여야 한다고 하였다. Bressan 등 (2011)은 어떤 수복재료를 선택하더라도 자연치 주위의 연조직 색상과 임플란트 주위 연조직 색상은 차이가 있다고 하였는데, 티타늄 지대주의 경우 금 합금 또는 지르코니아 지대주보다 차이가 더 크다고 하였다. Nakamura 등 (2010)은 티타늄 또는 알루미늄 지대주 모두 임플란트 주위 점막이 유사하게 발달한다고 하였으며, 3-4년간의 임상연구에서 알루미늄 지대주 주위 임플란트 연조직은 안정적이라고 하였지만, 기계적 특성이 부족한 알루미늄 지대주 보다는 지르코니아 지대주의 성공 가능성을 예상할 수 있다고 하였다. Andersson 등 (2001)은 알루미늄 지대주를 사용한 단독 치아수복에서 지대주 파절율이 7 %라고 하였고, Andersson 등 (2003)은 짧은 고정성 보철물의 5년간 전향적 연구에서 티타늄 임플란트 지대주 파절율은 0 %인 반면 세라믹 임플란트 지대주 파절율은 1.9 %라고 하였다. 알루미늄 지대주의 심미성은 티타늄 지대주보다 우수하지만 기계적 강도는 다소 기대에 미치지 못하였다. 이를 극복하기 위하여 지르코니아 지대주 적용이 시도되었으며 임상 성공 가능성이 높을 것으로 예상하고 있다.

전치부 단일치 임플란트 수복에서 티타늄 지대주를 사용하는 경우 금속 색조가 치은을 통해 노출되지 않도록 수복물의 변연부를 치은연하부로 넣어 심미성을 개선하기도 하였으나, 이 경우에는 치은연하에 시멘트가 들어가면 제거하기 어려우며, 잔류하는 경우 병적 요인으로 작용할 위험성도 있다. 또한 치은이 얇은 환자의 경우는 이러한 술식이 심미성 개선에 도움이 될 수 없다 (Yildirim 등, 2000; Heydecke 등, 2002; Wadhvani 등, 2011). 지

르코니아 지대주는 이러한 비심미적인 부분을 보완할 수 있고 수복물의 변연 형태를 자연스럽게 부여할 수 있지만 세라믹의 단점인 취성과 저온열화 (low temperature degradation)에 따른 문제점으로 장기간 임상 적용 가능성에 대한 우려가 제기되기도 하였다. Gomes와 Montero (2010)와 Nakamura 등 (2010)는 1999년에서 2009년까지 발표된 지르코니아 지대주에 관한 논문을 분석한 결과 지르코니아 지대주는 생체적합성이 뛰어나고 심미적으로 우수하며 높은 누적성공률을 보인다고 하였다. Kim 등 (2013)은 1998년에서 2010년까지 외부연결형 임플란트 상부에 지르코니아 지대주를 이용한 보철물 328개를 시술하여 5년 이상 경과된 경우를 관찰한 연구에서 지르코니아 지대주 생존률은 95% 이상이었다고 하였다. 이와 같이 외부-연결형 임플란트에서 지르코니아 지대주의 임상 성공 가능성은 신뢰할 만하다고 할 수 있다. 그러나, 내부-연결형에서는 임플란트 고정체 내부로 연결되는 부분 (insert)까지 지르코니아로 구성된 경우에는 그 연결 부분이 파절이 시작되는 취약 부위가 될 수 있으므로 이 연결 부위를 금속으로 제작한 티타늄 링크 (titanium base, metal insert, metal secondary component)에 지르코니아 지대주를 합착한 티타늄-지르코니아 이중 지대주 (Ti-Zr bicomponent abutment)를 선호하는 추세이다 (Fig. 1). Sailer 등 (2009)은 임플란트의 지르코니아 지대주 연결 방식에 따른 파절강도에 관한 연구에서 외부-연결형과 내부-연결형 모두에서 지르코니아 지대주 파절이 관찰되었다고 하였으며, 내부연결형인 경우 2차 금속 연결부가 결합된 지대주가 가장 높은 굴곡강도를 보였다고 하였다. Truninger 등 (2012)도 일체형 지르코니아 지대주와 티타늄-지르코니아 이중 지대주의 굽힘 모멘트를 측정할 결과 이중 지대주가 높은 값을 보였다고 하였다. 따라서 내부 연결형 임플란트에서 기계적 특성이 우수한 티타늄 링크 (link)와 심미성이 우수한 지르코니아 지대주를 접

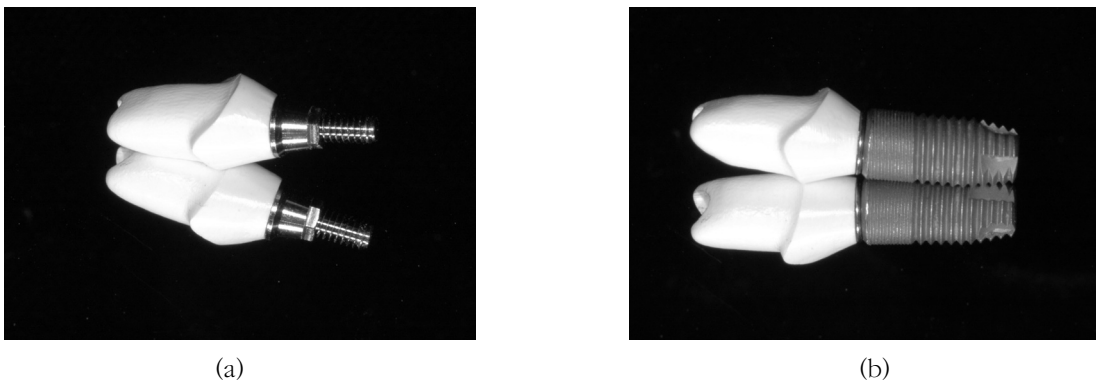


Fig. 1. Picture of titanium-zirconia bicomponent abutments system: a) titanium- zirconia bicomponent abutment, b) implant fixture with titanium-zirconia bicomponent abutment.

착한 이중 지대주의 적용이 현재로서는 가장 적절한 방법으로 제시될 수 있다 (Canullo 등, 2007; Canullo 등, 2013; Gehrke 등, 2013). 이 경우 적절한 기능을 발휘하기 위해서 티타늄 지대주 링크와 지르코니아 지대주간의 우수한 접착력이 필수적이지만 지르코니아와 티타늄의 접착에 관한 연구 문헌은 많지 않은 실정이다.

치과용 수복물 및 보철물의 접착력은 접착제의 화학적 결합력 뿐 아니라 피착체의 표면 거칠기와 피착체에 대한 접착제의 적심성 등과 같은 다양한 요소에 영향을 받을 수 있다. Asmussen 등 (2005)은 티타늄 합금, 글라스 섬유 콤포짓트 및 지르코니아 표면을 다양한 방법으로 처리한 후 접착각과 접착강도의 상관성을 검토한 결과 피착체의 표면 에너지 특성 외에 다른 요소가 접착강도에 영향을 줄 수 있다고 하였다. 일반적으로 전부 금관의 유지력은 지대치의 기하학적 구조와 표면적, 표면 거칠기, 수복물의 내면 적합성 및 적용한 시멘트의 종류 등에 의해 영향을 받는다고 하는데 (Goodacre 등, 2001; Bernal 등, 2003; Martins-Pinto 등, 2008), 지르코니아 전부-세라믹관의 경우에서는 기존의 치과용 도재와는 달리 화학적 접착력 효과를 거의 기대할 수 없으므로 지대치의 기하학적 구조가 유지력 획득에 매우 중요한 역할을 한다.

Jørgensen (1955)은 시멘트로 접착한 전부-세라믹관의 유지력은 삭제된 치아의 마주보는 두 측면 사이에서 이루어지는 각도인 지대치의 수렴각 (convergence angle) 이 작을수록 우수한 결과를 얻을 수 있다고 하였다. 치아를 삭제하는 측면에서 최대 유지력을 얻기 위한 최소한의 지대치 형성 수렴각은 4° ~ 10° 범위라고 했지만 (Tylman, 1963), 임상적으로 이러한 최소한의 각도는 얻기 힘들다고 한다 (Weed와 Baez, 1984). Shillingburg 등 (1997)은 최대 유지력을 얻기 위하여 수렴각이 6°가 되어야 한다고 제시하였으나, Nordlander 등 (1988)은 실제 임상에서는 일반적으로 평균 20°의 수렴각으로 지대치를 삭제한다고 하였다. 수렴각이 크게 지대치를 삭제하는 경우에는 유지력 향상을 위하여 추가로 표면을 거칠게 시키는 방법을 사용하고 있다 (Tuntiprawon, 1999). Beuer 등 (2008)은 CAD/CAM으로 제작된 지르코니아 코핑은 지대치 수렴각이 12°인 경우에 가장 정밀한 적합

도를 보인다고 하였다. 자연치가 아닌 임플란트 지대주에 시멘트로 합착한 보철물의 유지력도 시멘트의 종류, 피막도, 지대주 표면의 거칠기, 지대주의 접착되는 면적 (또는 높이) 및 지대주의 경사도 (taper) 등이 영향을 줄 수 있다고 한다 (Hebel과 Gajjar, 1997; Covey 등, 2000; Bernal 등, 2003; Bresciano 등, 2005; Kim 등, 2006; Özcelik와 Yilmaz, 2009; Heintze, 2010). Heintze (2010)는 수렴각이 작을수록 지대주의 높이 (또는 표면적)가 큰 경우 기계적 유지력이 증가될 것이라고 하였다. 그러나 Güncü 등 (2011)은 지대주의 표면적이 증가되어도 유지력은 증가하지 않는다는 연구 결과를 발표하였고, Carnaggio 등 (2012)은 레진 시멘트로 접착하는 경우 지대주의 표면적 영향이 적어진다고 하였다.

현재 임상에서 보철물 접착에 사용하고 있는 치과용 시멘트로는 인산아연 시멘트, 글라스아이오노머 시멘트 및 레진 시멘트 등이 있다. 이중 인산아연 시멘트는 치수를 자극하는 문제가 있으나, 작업시간이 충분하고 피막도가 얇은 장점으로 가장 오랫동안 임상에 사용되고 있다. 1972년 치과용으로 소개된 글라스아이오노머 시멘트는 초기 용해도가 높은 단점이 있지만 불소 유출과 치질과의 화학적 결합 등의 장점이 있으며, 레진 성분이 추가되어 수분 민감성과 용해도를 감소시키고 기계적 특성이 개선된 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트가 소개되어 사용되고 있다. 최근에는 접착력이 우수한 다양한 성분의 레진 시멘트가 개발되어 대부분의 보철물 접착에 사용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 현재 임상에서 사용하고 있는 3종의 치과용 시멘트로 이중 지대주에서 티타늄 링크와 지르코니아 지대주를 접착시켜 시멘트의 종류와 링크 연결부 높이가 유지력에 주는 영향을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

연구재료

본 연구에서는 연결부 링크 높이가 다양한 티타늄 링크 (MonoDent, Korea)를 제작하고, 이에 적합한 지르코니아

Table 1. Dental cements used in this study

Dental cements	Brand name	Manufacturer
Zinc phosphate cement	Fleck's	Mizzy, USA
Resin-modified glass ionomer cement	RelyX Luting2	3M ESPE, USA
Self-adhesive resin cement	RelyX U200	3M ESPE, Germany

아 지대주 (Acucera, Korea)를 CAD/CAM으로 제작한 다음 3종의 치과용 시멘트 (인산아연시멘트, 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트 및 자가-접착형 레진 시멘트)로 접착시켜 유지력을 측정하였다 (Table 1).

연구방법

1) 링크 높이가 다양한 티타늄 지대주 제작

원통형 티타늄 (grade V)을 기저부는 직경 4.9 mm와 높이 9.0 mm가 되도록 하고, 지르코니아 지대주와의 연결부인 링크는 직경 3.6 mm와 3가지 높이 (2.0 mm, 2.5 mm 및 3.0 mm)로 각각 가공하여 135개의 티타늄 지대주를 제작하였다. 가공한 티타늄 링크의 양쪽 측면은 경사도 (taper) 0°가 되어 서로 평행이 되도록 하였으며, pull-off test로 유지력을 측정하기 위한 장치 연결용 구멍을 기저부에 형성하였다 (Fig. 1a). 티타늄 링크의 피착면은 아무처리하지 않은 기계 가공상태를 실험에 사용하였다.

2) 지르코니아 지대주 제작

제작한 각 티타늄 링크에 맞는 지르코니아 지대주는 CAD/CAM으로 Zirace 블록 (Acucera, Korea)을 두께 0.5 mm가 되도록 음각 가공하여 링크의 연결부 높이에 따라 각각 50개를 제작하였다. 지르코니아 지대주에도 유지력 측정을 위한 장치 연결용 구멍을 형성하였고 (Fig. 2a), 티타늄 링크와 접착될 지르코니아 지대주 내면도 아무처리하지 않은 기계 가공상태로 실험에 사용하

였다. 각 티타늄 링크와 지르코니아 지대주의 적합도는 8배 실체 현미경에서 검사한 적절한 조합만 유지력 측정에 사용하였다.

3) 티타늄 링크와 지르코니아 지대주 합착

티타늄 링크와 지르코니아 지대주를 연결부 높이에 따라 15개씩 3개의 군으로 분류하고, 인산아연 시멘트 (Fleck's), 레진-강화형 글라스아이오노머 (RelyX Luting2) 및 자가-접착형 레진 시멘트 (RelyX U200)를 제조회사의 설명서에 따라 티타늄 링크 측면에만 도포한 다음 지르코니아 지대주를 접착하였다. 티타늄 링크 윗면은 접착이 되지 않도록 바세린을 얇게 도포하였다. 자가-접착형 레진 시멘트로 접착한 경우에는 LED 광중합기 (Elipar, 3M ESPE, USA)로 3방향에서 2초간 광조사한 다음 과량의 시멘트를 제거하였다. 모든 시편은 합착 후 정하중 압축시험기 (Seiki, Japan)에서 5 kg 하중으로 가압하였는데, 광중합형 (이중중합형)인 경우 3방향에서 30초씩 다시 광조사한 다음 다른 시편과 유사하게 10분간 가압하여 영구 접착이 되도록 하였다 (Fig. 2b).

4) 티타늄 링크와 지르코니아 지대주의 유지력 측정

티타늄 링크에 지르코니아 지대주를 합착한 시편은 37 °C 증류수에 24시간 보관한 다음 만능시험기 (Instron 4466, USA)에 장착시킨 후, 1 mm/min의 crosshead speed로 지르코니아 지대주가 티타늄 링크에서 분리될 때까지 인장응력을 적용하는 pull-off test를 시행하였다 (Fig. 3).

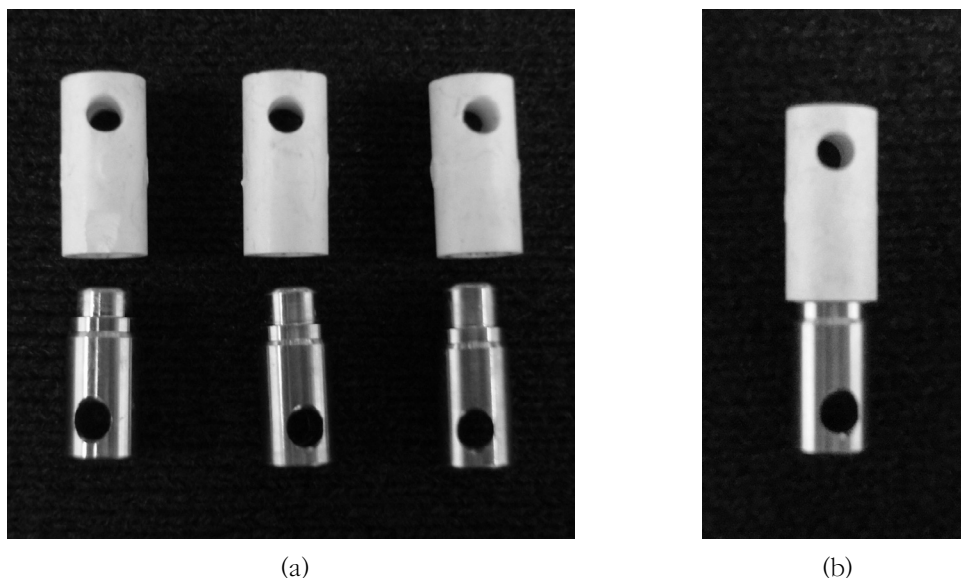


Fig. 2. Picture of specimens; a) zirconia coping and titanium link with different height of adhesion part (2.0 mm, 2.5 mm and 3.0 mm), b) zirconia coping cemented to titanium link.

합착한 지르코니아 지대주가 티타늄 링크에서 분리되는 순간의 최대 하중값 (N)을 기록하였다. 각 실험군 당 15 개 시편을 측정하여 평균값과 표준편차를 계산하였으며, Newman- Keuls multiple comparisons test로 통계 분석 하였다 (p = 0.05).

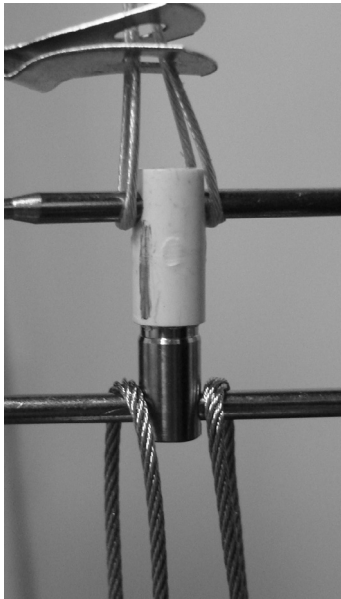


Fig. 3. Retention force test between titanium link and zirconia abutment by tensile load using universal testing machine.

연구결과

Table 2에는 티타늄 링크와 지르코니아 지대주와의 유지력 (N)을 pull-off test로 측정한 결과를 정리하였다. 합착부위인 티타늄 링크의 높이가 증가할수록 유지력은 증가하는 양상을 보였는데, 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트로 접착한 경우에 티타늄 링크의 높이에 따라 지르코니아 지대주의 유지력은 유의한 차이를 보였다 (p<0.05). 인산아연 시멘트로 합착한 실험군의 경우에는 링크의 높이가 증가함에 따라 유지력이 증가하는 양상을 보였으나, 티타늄 링크 높이가 2.0 mm와 3.0 mm

실험군 사이에서만 유의한 차이를 보였다 (p<0.05). 자가-접착형 레진 시멘트로 접착한 실험군에서도 티타늄 링크의 높이가 증가함에 따라 유지력이 증가하는 양상을 보였는데, 높이가 2.0 mm와 2.5 mm인 실험군 간에는 유의한 차이가 없었고 (p>0.05), 높이가 3.0 mm인 실험군은 2.0 mm 및 2.5 mm인 실험군 보다 유의하게 높은 유지력을 보였다 (p<0.05).

접착에 사용한 모든 시멘트에서 합착부위인 티타늄 링크의 높이 (표면적)와 지르코니아 지대주의 유지력은 높은 상관성을 보였다. 인산아연 시멘트로 합착시킨 실험군의 경우는 Pearson 상관계수가 0.9976였으며 (Fig. 4), 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트로 접착한 실험군의 경우는 상관계수가 0.9966 (Fig. 5)이었다. 자가-접착형 레진 시멘트로 접착한 실험군의 경우는 상관계수가 0.9913 (Fig. 6)으로 지르코니아 지대주 접착에 사용한 시멘트 중에서 가장 낮았지만, 모든 시멘트에서 링크 높이와 유지력은 매우 높은 상관성을 보였다.

티타늄 링크에 지르코니아 지대주를 인산아연 시멘트로 합착시킨 실험군의 유지력은 자가-접착형 레진 시멘트로 접착한 실험군과 유의한 차이가 없었지만 (p>0.05), 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트로 접착한 실험군보다는 유의하게 높은 유지력을 보였다 (p<0.05).

인산아연 시멘트 또는 자가-접착형 레진 시멘트로 접착한 실험군에서 접착력이 큰 시편의 경우 pull-off test로 유지력을 측정하는 과정 중 접착 하단 부위 또는 만능시험기 연결용 구멍 부위에서 지르코니아 지대주가 파절되는 경우가 관찰되었다 (Fig. 7).

총괄 및 고찰

임플란트 기술에서 심미성 개선을 위하여 세라믹 지대주 사용이 필요하기는 하지만 지르코니아 지대주 단독으로 사용할 경우 지대주의 파절 가능성 때문에 티타늄 링크에 지르코니아 지대주를 연결하여 사용하는 티타늄-

Table 2. Retention force (N) between titanium link and zirconia abutments as a function of link height

Groups	Height (surface area) of link		
	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
zinc phosphate cement	318.5 ± 58.5 ^{a,1}	354.5 ± 57.8 ^{c,1,2}	385.5 ± 59.6 ^{e,2}
resin modified glass ionomer	178.7 ± 28.1 ^{b,3}	214.6 ± 37.8 ^{d,4}	241.5 ± 48.2 ^{f,5}
self-adhesive resin cement	294.8 ± 53.1 ^{a,6}	334.9 ± 61.3 ^{c,6}	417.0 ± 60.7 ^{e,7}

Note: the same superscript letters within the same column are not significantly different (p>0.05), and the same superscript numbers within the same row are not significantly different (p>0.05).

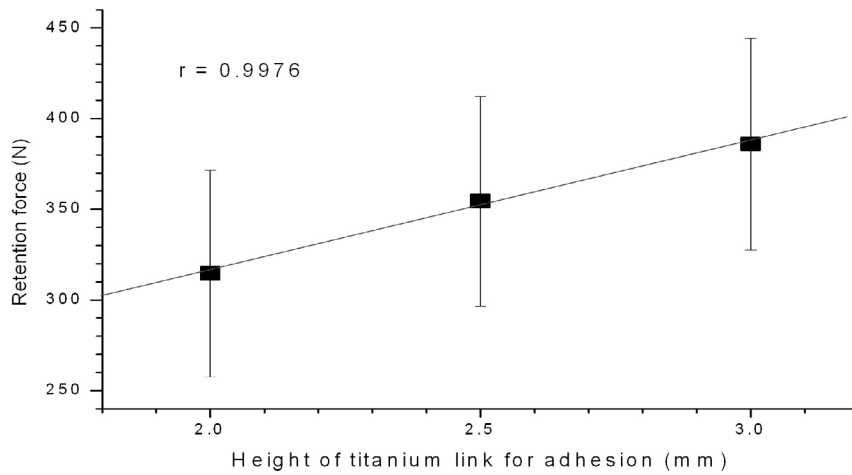


Fig. 4. Correlation between height of titanium link for adhesion and retention force of zirconia abutment cemented with Fleck's zinc phosphate cement).

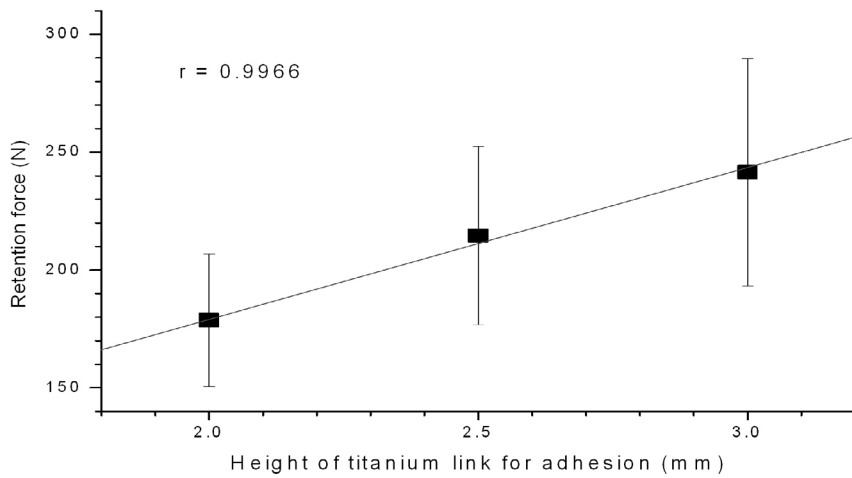


Fig. 5. Correlation between height of titanium link for adhesion and retention force of zirconia abutment cemented with RelyX Luting2 (resin-modified glass ionomer cement).

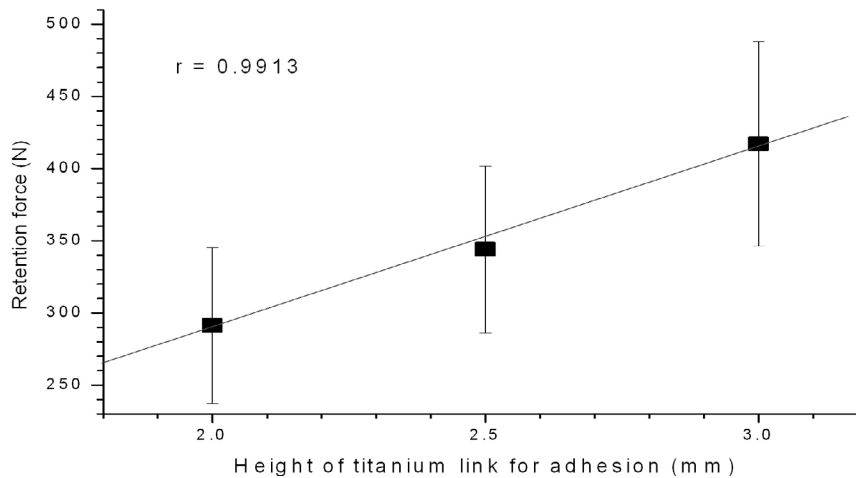


Fig. 6. Correlation between height of titanium link for adhesion and retention force of zirconia abutment cemented with RelyX U200 (self-adhesive resin cement).

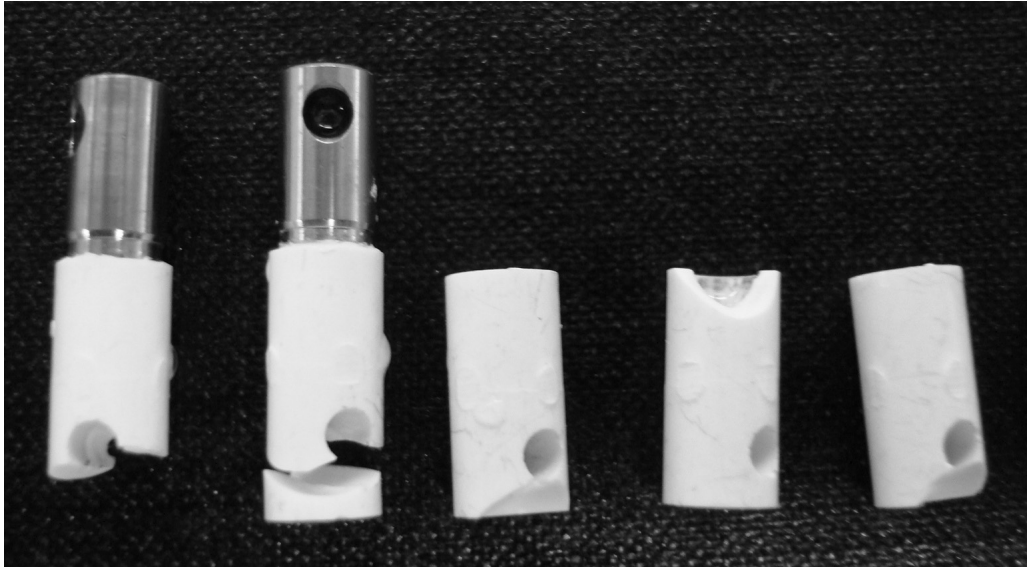


Fig. 7. Photographs of the fractured specimens during pull-off test.

지르코니아 이중 지대주 적용이 소개되었다 (Canullo 등, 2013; Gehrke 등, 2013). 본 연구에서는 내부연결형 임플란트 시스템에서 티타늄 링크에 지르코니아 지대주를 접착하여 지르코니아만으로 제작된 지대주에서 연결부의 파절가능성을 감소시키고, 티타늄으로만 제작된 지대주의 심미성을 개선시킬 수 있는 이중 지대주의 임상 적용 가능성을 평가하고자 티타늄 링크와 지르코니아 지대주의 유지력을 측정하였다.

임상에서 상용중인 레진 시멘트들은 화학성분, 필러 함량, 필러 크기 및 중합 개시 시스템 등이 상이하며, 이러한 차이점들은 치과용 세라믹에 대한 접착력에 영향을 줄 수 있고, 레진 시멘트 제조사에 따라 그 사용법이 큰 차이가 있다. 현재 지르코니아 접착에 사용하는 레진 시멘트들은 Bis-GMA, 4-META (4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride) 또는 MDP (methacryloxydecyl phosphoric acid) 단량체중 하나를 함유하고 있다. 특별한 기능성 단량체를 함유하지 않는 일반 Bis-GMA계 레진 시멘트는 화학 결합력이 부족하여 지르코니아와의 결합력은 낮으며 대부분 조기 파절 양상을 보인다고 한다 (Kern과 Wegner, 1998; Lüthy, 2006). MDP의 phosphate ester 단량체는 크롬, 니켈, 알루미늄, 주석, 티타늄 및 지르코늄 산화물 등과 같은 금속산화물과 적접 결합할 수 있다고 하는데 (Wada, 1986), Kern과 Wegner (1998)는 MDP 함유 레진 시멘트가 샌드블라스팅 처리한 지르코니아에 우수한 결합력을 보였다고 하였다. Yoshida 등 (2006)의 연구에서도 MDP 단량체는 지르코니아 층에 화학적 결합을 하는 것이 관찰되어 샌드블라스팅 처리한 지르코니아와 강한 결합을 하는 이전의 연구와 유사한 결과를

보고하였다. Derand와 Derand (2000)는 4-META 함유 레진 시멘트 (Superbond C&B)의 결합력이 Panavia 21로 접착한 경우 보다 유의하게 높았다고 하였고, Kappert와 Krah (2001)는 레진 시멘트뿐 아니라 채래형 시멘트 (인산아연 시멘트 또는 글라스아이오노머 시멘트) 모두 고강도 세라믹의 합착용으로 사용될 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 실제 임상에서 많이 사용되는 인산아연 시멘트, 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트 및 자가-접착형 레진 시멘트를 적용하여 티타늄에 대한 지르코니아의 유지력을 비교하고자 하였다.

지대치에 접착하는 크라운의 경우 유지력에 영향을 주는 요소로는 지대치의 기하학적 구조와 표면적, 표면 거칠기, 수복물의 내면 적합성 및 적용한 시멘트의 종류 등이 있다. Kaufman 등 (1961)은 지대치의 경사도가 적을수록 합착에 사용한 시멘트 유형에 관계없이 크라운의 유지력은 증가한다고 하였고, Carter와 Wilson (1996)은 크라운과 지대치의 내면 적합성이 우수하여 계면에서 틈 (gap)이 감소할수록 인산아연 시멘트로 합착한 수복물의 유지력은 증가하였다고 하였다. Pameijer와 Jefferies (1996)는 발치된 자연치에 경사도 33°와 3 mm의 높이로 지대치를 형성한 후 18종의 치과용 시멘트로 합착한 크라운의 유지력을 평가한 결과 인산아연 시멘트 (Fleck's)로 합착한 실험군 보다 글라스아이오노머 시멘트 (Ketac-Cem), 레진-변형 글라스아이오노머 시멘트 (Vitremmer, Fuji Duet) 또는 레진 시멘트 (Panavia 21, Cement it 등) 등으로 접착한 실험군이 유의하게 높은 유지력을 보였다고 하였다. Ernest 등 (1998)은 자연치에 접착한 크라운의 유지력을 평가한 결과 글라스아이오노머 시멘트 (Ketac Cem)

로 접착하거나 콤포머 (Dyract)로 접착한 실험군이 레진 시멘트 (F21)로 접착한 실험군 보다 더 높은 유지력을 보였다고 하였는데, 글라스아이오노머 시멘트 또는 콤포머의 입자 크기가 레진시멘트 입자 보다 커서 접착 계면에서 기계적 유지력을 더 발휘한 것으로 보인다고 하였다. Rosenstiel 등 (1998)은 Panavia 21 등과 같은 특수 기능기 함유 레진 시멘트가 인산아연 시멘트, 글라스아이오노머 시멘트 또는 일반 레진 시멘트 보다 높은 유지력을 보였다고 하였는데, 유지력은 다소 낮을 수 있지만 방사선 불투과성과 시멘트 제거가 용이한 인산아연 시멘트는 시멘트-유지형 상부 보철물의 합착에 유용하게 사용될 수 있다고 하였다. Ernst 등 (2005)은 자연치에 형성한 지대치 (경사도 5°, 높이 3 mm)에 다양하게 표면을 처리한 지르코니아 코핑을 합착시킨 다음 유지력을 pull-off test로 비교하였는데, Rocatec으로 표면처리한 경우에도 레진 시멘트 (Superbond C&B, Panavia F 및 RelyX Unicem), 레진-강화형 글라스아이오노머 (RelyX Luting) 및 콤포머 (Dyract Cem Plus) 실험군간 유지력의 유의한 차이가 없었다고 하였다. Martins-Pinto 등 (2008)은 자연치를 4.0 mm와 5.0 mm 높이로 삭제한 지대치에 크라운을 3종의 치과용 시멘트로 접착하여 유지력을 비교한 결과 지대치 높이가 5.0 mm인 실험군의 유지력이 4.0 mm인 실험군 보다 높았으며, 레진 시멘트 (RelyX Unicem, Relyx ARC)로 접착한 실험군이 인산아연 시멘트 (Hy-Bond Zinc)로 합착한 실험군 보다 유의하게 높은 유지력을 보였다고 하였다 ($p < 0.01$).

지대치가 아닌 지대주인 경우에서도 유사한 요소들이 접착에 주로 영향을 줄 수 있다. Kent 등 (1997)은 티타늄 지대주를 이용한 연구에서 지대주의 높이 또는 높이대 너비비율이 증가할수록 유지력이 증가하였지만, 지대주의 전체 표면적과는 상관관계를 찾을 수 없었다고 하였으며, Covey 등 (2000)도 티타늄 지대주의 직경이 증가하여 표면적이 증가한 경우에도 유지력의 증가에는 기여하지 못한 것이 관찰되었는데, 이 경우 지대주의 높이 또는 높이와 직경의 관계가 전체 표면적 보다 유지력에 더 결정적인 역할을 하기 때문인 것으로 설명하였다. Bresciano 등 (2005)은 경사도 (0°, 4° 및 8°)와 높이 (5 mm, 7 mm 및 9 mm)를 변화시킨 티타늄 지대주에 고금계 합금으로 제조한 크라운을 시멘트 (TempBond, Zinc-phosphate, ImProv)로 합착하여 유지력을 측정된 결과 경사도가 증가할수록 유지력은 감소하고, 높이가 증가할수록 유지력이 증가하는 것을 관찰하였으며, 동일한 티타늄 지대주 조건에서는 인산아연 시멘트의 유지력이 가장 높았다고 하였다. Palacios 등 (2006)은 5,000회 열순

환 처리한 다음 pull-off test로 지르코니아 코핑 (경사도 10°)의 유지력을 측정된 결과 레진 시멘트인 Panavia F, RelyX Unicem 및 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트인 RelyX Luting의 평균 유지력은 유의한 차이를 보이지 않았다고 하였다 ($p > 0.05$). Ebert 등 (2007)은 티타늄 지대주와 지르코니아 코핑의 적합도 간격이 30 μ m인 실험군과 60 μ m인 실험군을 Panavia F로 접착시킨 후 유지력을 비교하였는데, 적합도 간격이 30 μ m인 실험군의 유지력이 유의하게 높은 값을 보였다고 하였다. Abbo 등 (2008)은 티타늄 지대주에 접착한 지르코니아 코핑의 유지력을 평가하였는데, 지대주 높이가 5.5 mm인 경우 유지력이 124.89 N, 6.5 mm인 경우는 198.09 N으로 지대주 높이 1 mm를 증가시키면 유지력을 크게 증가시킬 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 티타늄 지대주 링크 높이가 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm인 시편의 유지력을 평가한 결과 높이가 0.5 mm 증가한 경우에는 유의한 증가를 보이지 않았으나, 1.0 mm 증가한 경우 적용한 시멘트에 관계없이 유지력은 유의하게 증가함을 관찰할 수 있었다. Heintze (2010)는 pull-off test의 경우 시편의 형태, 높이, 경사도, 표면적 및 표면 거칠기 등이 유지력에 영향을 줄 수 있다고 하였지만, 티타늄 링크 높이를 변화하며 지르코니아 지대주와의 유지력을 평가한 연구는 많지 않은 실정이다.

Cano-Batalla 등 (2012)은 4 mm, 5 mm 및 6 mm 높이로 제작한 지대주에 코발트-크롬 합금으로 제작한 코핑을 접착하여 지대주의 높이와 샌드블라스팅처리 및 적용한 시멘트의 유형이 유지력에 주는 영향을 평가하였는데, 적용한 시멘트의 유형에 관계없이 높이가 4.0 mm인 실험군과 6.0 mm인 실험군의 유지력만 유의한 차이를 보였고, 4.0 mm와 5.0 mm 또는 5.0 mm와 6.0 mm 실험군은 유의한 차이를 보이지 않았다고 하였으며, 샌드블라스팅 처리는 유지력에 유의한 영향을 주는 것으로 관찰되었다고 하였다. Saber 등 (2012)은 경사도 0°와 높이 2.0 mm, 3.0 mm, 4.0 mm 및 5.0 mm로 지대주 (NP = 직경 3.5 mm와 WP = 5 mm)를 제작하고, 니켈-크롬계 합금으로 금속 코핑을 제작하여 임시 시멘트 (TempBond)로 합착한 다음 100% 상대습도 (37°C)에서 24시간 보관한 후 인장 응력을 가하여 유지력을 측정된 결과 직경이 작은 NP 지대주에서는 높이에 따른 유지력의 유의한 차이를 보였으나 (2.0 mm와 3.0 mm간에는 유의한 차이 없음), 직경이 큰 WP 지대주에서는 높이가 4.0 mm와 5.0 mm 실험군간에서만 유지력의 유의한 차이를 보였다고 하여, 임상 적용에 적절한 지대주의 최소 높이로 NP의 경우 3 mm, WP의 경우는 4.0 mm를 제시하였다.

본 연구에서는 티타늄 링크와 지르코니아 지대주를 안정적으로 접착하기 위하여는 연결부 링크의 높이가 최소 3 mm가 되어야 할 것으로 보였다. Mehl 등 (2012)은 경사도 6°와 높이를 2 mm, 3 mm 및 4 mm로 조절한 티타늄 지대주에 코발트-크롬 합금으로 제작한 크라운을 치과용 시멘트 (글라스아이오노머 시멘트, 폴리카복실레이트 시멘트 및 레진 시멘트)로 접착한 다음 다양한 시효처리와 열순환처리 후 유지력을 측정하였는데, 높이가 가장 작은 2 mm 지대주의 경우는 적절한 유지력 확보를 위하여 레진 시멘트로 접착하여야 한다고 하였다. Truninger 등 (2012)은 내부연결형 및 외부연결형 지르코니아 지대주, 티타늄 지대주 및 이중 지대주를 구강내 환경과 유사한 조건에서 시효처리한 다음 굽힘 모멘트를 측정하였는데, 내부연결형 이중 지대주의 굽힘 모멘트는 380-430 N으로 측정되었다고 하였다. 이 결과를 적용하면, 본 연구에서 티타늄 링크의 높이가 3.0 mm인 경우 인산아연 시멘트와 레진 시멘트로 지르코니아 지대주를 접착한 실험군은 380 N 이상을 보여 임상 적용에 문제가 없을 것으로 예상할 수 있다.

Nejatidanesh 등 (2013)은 경사도 8°와 높이 5.5 mm인 티타늄 지대주와 지르코니아 코핑을 샌드블라스팅 처리한 후 9종의 시멘트 (Clearfil SA, Panavia F2.0, Fuji Plus, Fleck's, Poly F, Fuji I, TempBond, GC free eugenol 및 TempSpan CMT)로 합착한 다음 5,000회 열순환 처리한 다음 유지력을 측정하였는데, 레진 시멘트 (Clearfil SA, Panavia F2.0) 또는 레진-강화형 글라스아이오노머 시멘트 (Fuji Plus)로 접착한 경우 172-203 N 범위의 가장 높은 유지력을 보였고, 그 다음으로 인산아연 시멘트 (Fleck's)로 합착한 경우 72 N의 유지력을 보였다고 하였다. 그러나, 본 연구에서는 경사도 0°와 링크 높이가 2.0 mm, 2.5 mm 및 3.0 mm인 티타늄 링크와 지르코니아 지대주를 접착하여 37°C 증류수에 24시간 보관한 후 유지력을 측정한 결과 인산아연 시멘트 (Fleck's)와 자가-접착형 레진 시멘트 (RelyX Unicem)의 유지력은 298-417 N으로 레진-강화형 글라스아이오노머 (RelyX Luting2)로 접착한 실험군의 유지력 179-242 N보다 유의하게 높은 값이 관찰되었다. Gehrke 등 (2013)은 티타늄 insert (티타늄 링크에 해당)와 지르코니아 코핑 연결부위를 샌드블라스팅 처리하고 3종의 레진 시멘트로 접착한 다음 15,000회 열순환 처리한 후 유지력을 측정하였는데, Panavia 21로 접착한 경우 유지력은 924.9±N, Multilink Implant로 접착한 경우는 878.1 N, SmartCem2로 접착한 경우는 650.8 N로 유의한 차이는 없이 (p=0.131) 모두 만족할만한 유지력을 보여 이중-구조 지르코니아

지대주를 임상 적용하는 경우 문제가 없을 것으로 예상하였다. 하지만, 그들이 실험에 사용한 지르코니아 연결부의 기하학적 특징 (높이, 경사도 등)에 관한 설명이 없어서 본 연구에서 측정한 유지력과 직접 비교할 수는 없었다.

Clayton 등 (1997)은 경사도가 0°인 티타늄 지대주의 유지력 평가에서 인산아연 시멘트로 합착한 경우가 레진 시멘트나 강화형 글라스아이오노머 시멘트로 합착한 경우보다 높은 유지력을 보였으나, Squier 등 (2001)은 경사도가 8°인 티타늄 지대주와 고급계 합금으로 주조한 수복물간의 유지력을 평가한 결과 레진 시멘트가 가장 높은 유지력을 보였고, 인산아연 시멘트와 강화형 글라스아이오노머 시멘트, 글라스아이오노머 시멘트, 산화아연 유지용 시멘트 순서로 낮은 유지력이 관찰되었다고 하였다. 경사도가 0°인 지대주의 경우에는 합착에 사용한 시멘트의 인장강도보다 압축강도가 유지력에 중요하게 작용하기 때문에 압축강도가 우수한 인산아연 시멘트로 합착한 실험군에서 높은 유지력이 관찰된 것이라고 설명하였다. 경사도가 0°인 티타늄 지대주 링크에 지르코니아 지대주를 합착한 본 연구에서도 인산아연 시멘트의 유지력이 레진-강화형 글라스아이오노머 보다 우수한 유지력이 관찰되었다. 경사도가 0°인 경우 합착 계면에서 마찰력에 의한 기계적 유지력이 중요하게 작용된 것으로 보였다.

결론

본 연구에서는 합착에 사용한 치과용 시멘트 유형과 티타늄 링크 높이가 지르코니아 지대주와의 유지력에 주는 영향을 pull-off test로 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 티타늄 링크 높이가 2.0 mm와 2.5 mm인 경우 레진-강화형 글라스아이오노머가 유의하게 가장 낮은 유지력을 보였고 (p<0.05), 인산아연 시멘트의 평균 유지력 가장 높았으나 자가-접착형 레진 시멘트의 평균 유지력과는 유의한 차이가 없었다 (p>0.05).
2. 티타늄 링크 높이가 3.0 mm인 경우는 레진-강화형 글라스아이오노머가 유의하게 가장 낮은 유지력을 보였고 (p<0.05), 자가-접착형 레진 시멘트의 평균 유지력 가장 높았으나 인산아연 시멘트의 평균 유지력과는 유의한 차이가 없었다 (p>0.05).
3. 인산아연 시멘트 또는 자가-접착형 레진 시멘트로 합착한 경우 티타늄 링크 높이가 증가함에 따라 평균

유지력은 증가하는 양상을 보였으나, 링크 높이가 2.0 mm 및 2.5 mm인 실험군의 유지력은 유의한 차이가 없었으며 ($p>0.05$), 3.0 mm인 실험군만 유의하게 높은 유지력을 보였다 ($p<0.05$).

4. 레진-강화형 글라스아이오노머로 접착한 경우 티타늄 링크 높이가 증가함에 따라 평균 유지력은 유의하게 증가하였다 ($p<0.05$).

참고문헌

- Abbo B, Razzoog ME, Vivas J, Sierraalta M (2008). Resistance to dislodgement of zirconia copings cemented onto titanium abutments of different heights. *J Prosthet Dent* 2008;99:25-29.
- Andersson B, Taylor A, Lang BR, Scheller H, Schärer P, Sorensen JA, Tarnow D (2001). Alumina ceramic implant abutments used for single-tooth replacement: a prospective 1- to 3-year multicenter study. *Int J Prosthodont* 14:432-8.
- Andersson B, Glauser R, Maglione M, Taylor A (2003). Ceramic implant abutments for short-span FPDs: a prospective 5-year multicenter study. *Int J Prosthodont* 16:640-6.
- Andreietelli M, Wenz HJ, Kohal RJ (2009). Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. *Clin Oral Impl Res* 20(suppl 4):32-47.
- Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A (2005). Bonding of resin cements to post materials: influence of surface energy characteristics. *J Adhes Dent* 7: 231-234.
- Bernal G, Okamura M, Munoz CA (2003). The effects of abutment taper, length and cement type on resistance to dislodgement of cement-retained, implant supported restorations. *J Prosthodont* 12:111-115.
- Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Naumann M. Effect of preparation angles on the precision of zirconia crown copings fabricated by CAD/CAM system. *Dent Mater J*. 2008;27(6):814-820.
- Bresciano M, Schierano G, Manzella C, Screti A, Bignardi C, Preti G (2005). Retention of luting agents on implant abutments of different height and taper. *Clin Oral Implants Res*. 16:594-598.
- Bressan E, Paniz G, Lops D, Corazza B, Romeo E, Favero G (2011). Influence of abutment material on the gingival color of implant-supported all-ceramic restorations: a prospective multicenter study. *Clin Oral Implants Res*. 22:631-637.
- Cano-Batalla J, Soliva-Garriga J, Campillo-Funollet M, Munoz-Viveros CA, Giner-Tarrida L (2012). Influence of abutment height and surface roughness on in vitro retention of three luting agents. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:36-41.
- Canullo L (2007). Clinical outcome study of customized zirconia abutments for single-implant restorations. *Int J Prosthodont* 20:489-493.
- Canullo L, Morgia P, Marinotti F (2007). Preliminary laboratory evaluation of bicomponent customized zirconia abutments. *Int J Prosthodont* 20:486-8.
- Canullo L, Coelho PG, Bonfante EA (2013). Mechanical testing of thin-walled zirconia abutments. *J Appl Oral Sci* 21:20-24.
- Carter SM, Wilson PR (1996). The effect of die-spacing on crown retention. *Int J Prosthodont* 9:21-29.
- Carnaggio TV, Conrad R, Engelmeier RL, Gerngross P, Paravina R, Perezous L, Powers JM (2012). Retention of CAD/CAM all-ceramic crowns on prefabricated implant abutments: An in vitro comparative study of luting agents and abutment surface area. *J Prosthodont* 2012;21:523-528.
- Chaar MS, Att W, Strub KR (2011). Prosthetic outcome of cement-retained implant-supported fixed dental restorations: a systematic review. *J Oral Rehabil* 38:697-711.
- Chevalier J (2006). What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 27: 535-543.
- Clayton GH, Driscoll CF, Hondrum SO (1997). The effect of luting agents on the retention and marginal adaptation of the CeraOne implant system. *Int J Oral Maxillofac Implants* 12:660-665.
- Covey DA, Kent DK, St Germain HA Jr, Koka S (2000). Effects of abutment size and luting cement type on the uniaxial retention force of implant-supported crowns. *J Prosthet Dent*. 83 :344-348.
- Derand P, Derand T (2000). Bond strength of luting

- cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 13:131-135.
- Ebert A, Hedderich J, Kern M (2007). Retention of zirconia ceramic copings bonded to titanium abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22:921-927.
- Ernst CP, Cohnen U, Stender E, Willershhausen B (2005). In vitro retentive strength of zirconium oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 93:551-558.
- Ernst CP, Wenzl N, Stender E, Willershhausen B (1998). Retentive strengths of cast gold crowns using glass ionomer, compomer, or resin cement. *J Prosthet Dent* 9:472-476.
- Gehrke P, Alius J, Fischer C, Erdelt KJ, Beuer F (2013). Retentive strength of two-piece CAD/CAM zirconia implant abutments. *Clin Implant Dent Relat Res* (Epub ahead of print).
- Gomes AL, Montero J (2011). Zirconia implant abutments: a review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 16: e50-55
- Goodacre CJ, Campagni WV, Aquilino SA (2001). Tooth preparations for complete crowns: An art form based on scientific principles. *J Prosthet Dent* 85:363-376.
- Güncü MB, Çakan U, Canay Ş (2011). Comparison of 3 luting agents on retention of implant-supported crowns on 2 different abutments. *Implant Dent* 20:349-353.
- Hebel KS, Gajjar RC (1997). Cement-retained versus screw-retained implant restorations: achieving optimal occlusion and esthetics in implant dentistry. *J Prosthet Dent* 77:28-35.
- Heintze SD (2010). Crown pull-off test (crown retention test) to evaluate the bonding effectiveness of luting agents. *Dent Mater* 2010;26:193-206.
- Heydecke G, Sierraalta M, Razzoog ME (2002). Evolution and use of aluminum oxide single-tooth implant abutments: a short review and presentation of two cases. *Int J Prosthodont* 15:488-493.
- Jørgensen KD (1955). The relationship between retention and convergence angle in cemented veneer crowns. *Acta Odonto Scand* 13:35-40.
- Kappert HF, Krahe M (2001). Keramiken-eine Übersicht. *Quintessenz Zahntechnik* 2:668-704.
- Kaufman EG, Coelho DH, Colin L (1961). Factors influencing the retention of cemented gold castings. *J Prosthet Dent* 11:487-502.
- Kent DK, Koka S, Froeschle ML (1997). Retention of cemented implant-supported restorations. *J Prosthodont*. 1997;6:193-196.
- Kern M, Wegner SM (1998). Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 14:64-71.
- Kim SS, Yeo IS, Lee SJ, Kim DJ, Jang BM, Kim SH, Han JS (2013). Clinical use of alumina-toughened zirconia abutments for implant-supported restorations: prospective cohort study of survival analysis. *Clin Oral Impl Res* 24:517-522.
- Kim Y, Yamashita J, Shotwell JL, Chong KH, Wang HL (2006). The comparison of provisional luting agents and abutment surface roughness on the retention of provisional implant-supported crowns. *J Prosthet Dent*. 95:450-455.
- Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CHF (2006). Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 22: 195-200.
- Martins-Pinto MG, Pisani-Proença J, Erhardt MC, Spielmann C, Del Castillo-Salmeron R, Lopes LA (2008). Effect of two axial wall height preparations on the retentive properties of full crowns using three different cements. *Gen Dent*. 56(6):569-573.
- Mehl C, Harder S, Shahriari A, Steiner M, Kern M (2012). Influence of abutment height and thermocycling on retrievability of cemented implant-supported crowns. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27:1106-1115.
- Nakamura K, Kanno T, Milleding P, Ortengren U (2010). Zirconia as a dental implant abutment material: a systematic review. *Int J Prosthodont* 23:299-309.
- Nejatidanesh F, Savabi O, Shahtoosi M (2013). Retention of implant-supported zirconium oxide ceramic restorations using different luting agents. *Clin Oral Impl Res* 24:20-24.
- Nordlander J, Weir D, Stoffer W, Ochi S (1988). The taper of clinical preparations for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 60:148-151.
- Özcelik TB, Yilmaz B (2009). A laboratory procedure for optimal implant abutment preparation. *J Pro-*

- stodont* 18:537-540.
- Palacios RP, Johnson GH, Phillips KM, Raigrodski AJ (2006). Retention of zirconium oxide ceramic crowns with three types of cement. *J Prosthet Dent* 96:104-114.
- Pameijer CH, Jefferies SR (1996). Retentive properties and film thickness of 18 luting agents and systems. *Gen Dent* 44:524-530.
- Piconi C, Maccauro G (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 20:1-25.
- Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ (1998). Dental luting agents: a review of the current literature. *J Prosthet Dent* 80:280-301.
- Saber FS, Abolfazli N, Nuroloyuni S, Khodabakhsh S, Bahrami M, Nahidi R, Zeighami S (2012). Effect of abutment height on retention of single cement-retained, wide- and narrow-platform implant-supported restorations. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospect* 6:98-102.
- Sailer I, Zembic A, Jung RE, Hämmerle CH, Mattioli A (2007). Single-tooth implant reconstructions: esthetic factors influencing the decision between titanium and zirconia abutments in anterior regions. *Eur J Esthet Dent*, 2:296-310.
- Sailer I, Sailer T, Stawarczyk B, Jung RE, Hämmerle CH (2009). In vitro study of the influence of the type of connection on the fracture load of zirconia abutments with internal and external implant-abutment connections. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24:850-858.
- Shillingburg HT Jr, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. *Fundamentals of Fixed Prosthodontics*, 3rd ed. Quintessence Publishing; IL; 1997. pp. 120-52.
- Squier RS, Agar JR, Duncan JP, Taylor TD (2001). Retentiveness of dental cements used with metallic implant components. *Int J Oral Maxillofac Implants* 16:793-798.
- Taylor TD, Agar JR (2002). Twenty years of progress in implant prosthodontics. *J Prosthet Dent* 88: 89-95.
- Tomson PLM, Butterworth CJ, Walmsley AD (2004). Management of peri-implant bone loss using guided bone regeneration: a clinical report. *J Prosthet Dent* 92:12-16.
- Truninger TC, Stawarczyk B, Leutert CR, Sailer TR, Hämmerle CH, Sailer I (2012). Bending moments of zirconia and titanium abutments with internal and external implant-abutment connections after aging and chewing simulation. *Clin Oral Implants Res*, 23:12-18.
- Tuntiprawon M. Effect of tooth surface roughness on marginal seating and retention of complete metal crowns. *J Prosthet Dent* 1999;81:142-147.
- Tylman SD (1963). Relationship of structural design of dental bridges and their supporting tissues. *Int Dent J* 13:303-317.
- Wada T (1986). Development of a new adhesive material and its properties. In: Gettleman L, Vrijhoef MMA, Uchiyama Y, editors. *Proceedings of the International Symposium on Adhesive Prosthodontics*, Amsterdam, Netherlands. Chicago: Academic of Dental Materials; p 9-18.
- Wadhvani C, Pineyro A, Avots J (2011). An esthetic solution to the screw-retained implant restoration: Introduction to the implant crown adhesive plug: Clinical report. *J Esthet Restor Dent* 23:138-145.
- Weed RM, Baez RJ. A method for determining adequate resistance form of complete cast crown preparations. *J Prosthet Dent* 1984;52:330-334.
- Yildirim M, Edelhoff D, Hanisch O, Spiekermann H (2000). Ceramic abutments - a new era in achieving optimal esthetics in implant dentistry. *Int J Periodontics Restorative Dent* 20:81-91.
- Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M (2006). Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater* 77B: 28-33.