

자가접착 레진시멘트가 우치와 복합레진 블록 간의 전단결합강도에 미치는 영향

김아진, 유상희, 오승한, 배지명 *

원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실

Effect of self-adhesive resin cements on the shear bond strengths between bovine teeth and composite resin block

Ah-Jin Kim, Sang-Hui Yu, Seunghan Oh, Ji-Myung Bae*

Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University

(Received: Dec. 9, 2013; Revised: Dec. 26, 2013; Accepted: Dec. 26, 2013)

ABSTRACT

The purpose of this research was the evaluation of the shear bond strength with applying self-adhesive resin cement that was applied like the resin cements that were used in the clinical testing and applied very thinly in between a tooth and adherend. On a tooth, the wet bonding was applied. Self-adhesive resin cements used in the study were Bifix SE(Bifix), Bis Cem(Bis), ICem(ICem), PermaCem 2.0(Perma), MonoCem(Mono), Rely X Unicem II(Uni), SmartCem2(Smart), Speed CEM(Speed) and U-Cem(UCem). Bovine teeth were used for shear bond strength test. The shear bond strength was measured by using a universal testing machine(Z020, Zwick, Ulm, Germany) with cross-head speed of 0.75 mm/min in semicircle blade. In the shear bond strength of self-adhesive resin cement, Uni and UCem were higher than other self-adhesive resin cement($p < 0.05$). ICem and Mono were no significantly differences($p > 0.05$). On the other hand, Bifix, Bis and Perma exhibited lower shear bond strengths than the other self-adhesive resin cements($p < 0.05$) and Smart were no significantly differences($p > 0.05$). Looking at failure patterns, resin cement was mainly attached to the composite resin block was fractured.

KEY WORDS: Self-adhesive resin cement, Shear bond strength, Composite resin block, bovine teeth.

1. 서 론

심미적이면서 기계적 성질이 우수한 레진 제재 시멘트가 금속 및 세라믹 또는 간접 복합레진 수복물 합착을 위해 널리 사용되고 있다(Attar 등, 2003). 레진 제재 시멘트는 water-based 시멘트에 비해 강도가 우수하고, 중합시간이 짧으며 물에 대한 용해도가 낮다. 또한 기계적 성질이 우수하며, 표면 활택도 및 투명도가 우수하여 심미적이다(Wilson, 1990; Hinoura, 1991).

하지만 기존의 conventional 레진시멘트는 자체에 접착성분이 들어 있지 않기 때문에 치아와 피착체에 산부식 및 프라이머를 도포하는 과정이 필요하다. 이러한 방법은 술식 절차가 민감하고 복잡하여 전처리가 부족하거나 방습을 적절히 유지하지 못할 경우 치아와의 결합강도가 감소할 수 있다(Frankenberger 등, 2000).

접착성 레진 시멘트는 화학적으로 접착하는 레진시멘트라고도 불리며 self-etch type 제품이 개발되어 술식 절차가 간소화되었다. 접착성 레진 시멘트는 4-META, 10-MDP, MAC-10와 같은 functional monomer가 들어있다. 여기서 4-META, 10-MDP, MAC-10은 금속 표면의 metal oxide와 잘 접착한다(Goto 등, 2008; Fonseca 등, 2009). 4-META, 10-MDP는 alumina-based and zirconia-based

* 교신저자 : 전북 익산시 신용동 344-2번지, 우편번호 570-749 원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실, 배지명

Tel : 063-850-6859, E-mail :baejimy@wku.ac.kr

** 이 논문은 2013학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

ceramics에도 접착하며(Komine 등, 2009; Ikemura 등, 2011), 10-MDP는 약간의 산부식으로 부분적인 치아의 탈회를 일으켜 미세한 hybrid layer내의 콜라겐 주변에 남아있는 hydroxyapatite와 화학적인 결합에 기여한다(Ozcan 와 Mese, 2012). 그리고 치아에는 산부식을 일으키는 인산이 들어있는 프라이머를 도포한다.

최근에는 치아에 산부식 또는 프라이머 및 본딩재를 도포하는 전처리 과정이 생략되고 도재와 금속 등 광범위한 수복물의 접착에 사용이 가능한 자가접착 레진시멘트가 개발되었다. 하지만 피착재에는 여전히 산부식 또는 프라이머 및 본딩재를 도포하는 전처리 과정이 필요하다. 제조사에 따라 피착재가 금속인 경우 위와 같은 전처리 과정이 필요하지 않은 경우도 있으므로 제조사의 지시에 따라야 한다. 자가 접착 레진시멘트의 구성성분은 인산그룹과 염기성 충전제로 구성된다(Ferracane 등,

2011). 자가접착 레진시멘트의 유기 바탕질은 다기능의 phosphoric acid methacrylates로 이루어져 있다. 이 인산기가 접착 초기에 낮은 pH환경과 친수성의 성질을 제공한다. 이어 단량체의 음전하를 띠는 그룹이 치아의 칼슘이온과 결합하고 필러의 알칼리성 부분과 함께 중화반응을 일으킨다. 인산기가 갖는 친수성의 성질은 글래스 아이오노머 시멘트의 성질과 비슷하며, 산성의 인산기가 필러의 염기성과 중화반응을 하여 높은 강도의 결합력을 보이는 것은 conventional 레진시멘트의 성질과 유사하다. 그러므로 자가접착 레진시멘트는 글래스 아이오노머와 conventional 레진시멘트의 장점을 가졌다(Behr 등, 2004; Cobb 등, 2004).

자가접착 레진시멘트와 치아사이의 전단결합강도나 레진, 금속, 세라믹과 같은 피착재와 레진시멘트 사이의 전단결합강도에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 기존의

Table 1. Self-adhesive resin cements used in the study and their chemical composition

Brand name	Group	Manufacturer	Curing mode	Composition
Bifix SE	Bifix	Voco, Cuxhaven, Germany	Dual-cure	bi-functional methacrylate, acid methacrylate and inorganic fillers. Urethanedimethacrylate, Glycerindimethacrylate, Catalyst, Initiator
BisCem	Bis	Bisco, IL, USA	Dual-cure	BASE : Bis-GMA*, Uncured dimethacrylate monomer, glass Filler. Catalyst: Phosphate acidic monomer, glass Filler
ICem	ICem	Heraeus Kulzer, IN, USA	Dual-cure	methacrylates, acidified urethane, di-,tri-, and multifunctional acrylate monomer.
PermaCem 2.0	Perma	DMG, Hamburg, Germany	Dual-cure	Barium glass in a Bis-GMA-based matrix of dental resins, pigments, additives and catalysts.
MonoCem	Mono	Shofu dental, CA, USA	Dual-cure	Alcohol solution of silane methacrylate, phosphoric acid methacrylate and sulphide methacrylate.
Rely X Unicem II	Uni	3M, MN, USA	Dual-cure	Methacrylate monomers containing phosphoric acid groups, methacrylate monomers, silanated fillers, initiator components, stabilizer components, rheologic additives, alkaline fillers, pigments, rheologic additives
Smart Cem 2	Smart	Dentsply, DE, USA	Dual-cure	Urethane Dimethacrylate, Di-and Tri-methacrylate resins, phosphoric acid modified acrylate resin, barium boron fluoroaluminosilicate glass, organic peroxide Initiator, camphorquinone(CQ), photontiator, phosphene oxide photontiator, Accelerators, butylated hydroxy toluene, UV stabilizer, titanium dioxide, iron oxide, hydrophobic amorphous silicon Dioxide
Speed CEM	Speed	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Self-cure with light-cure option	dimethacrylates, acidic monomers, barium glass, ytterbium trifluoride, co-polymer and highly dispersed silicon dioxide, catalysts, stabilizers, colour pigments.
U-Cem	UCem	VERICOM, Chuncheon, Korea	Dual-cure	Base : Fluorinated Barium Silicate, Fumed Silica, Bis-GMA, Dimethacrylate, Stabilizer, Pigment Catalyst Paste : Barium Silicate, Fumed Silica, 4-META, Dimethacrylate, Catalyst, Stabilizer, Pigment

* : Bisphenol A-Glycidyl Methacrylate

연구에서는 치아 또는 피착재 위에 실린더 형태의 몰드를 올린 다음 레진 시멘트를 채우고 중합하여 접착하는 연구가 주를 이루고 있다. 하지만 이러한 방법은 실제 임상에서 레진 시멘트가 적용되는 양상과 다르다(Bitter 등, 2006; Holderegger 등, 2008; Hitz 등, 2012).

따라서, 본 연구의 목적은 임상에서 자가접착 레진시멘트가 실제 적용되는 것처럼 피착재 블록과 우치 사이에 자가접착 레진시멘트를 얇게 적용하여 전단결합강도를 평가하여 우수한 자가접착 레진시멘트를 찾아 임상에서 가이드라인(guideline)으로 삼고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에는 9가지 자가접착 레진시멘트가 실험에 사용되었으며, dual-cure type이 8종류, self-cure with light-cure option이 1종류 였다(Table 1). 전단결합강도 실험에서 시멘트별로 5개의 시편을 제작하였다.

실험에 사용된 치아는 발거 후 3일 이내의 우치 중 전치부만을 사용하였다. 우치는 증류수에 넣어 4°C에서 냉장 보관하여 사용하였으며, 실험에 사용된 피착재를 제작하기 위해 수복용 복합레진 CLEARFIL AP-X (Kuraray MEDICAL Inc., Kurashiki, Japan)을 이용하였다.

2. 전단결합강도

1) 복합레진 블록 제작

우치에 접착할 복합레진 블록을 제작하기 위하여 ISO/WD 16506 # 3.5 Dentistry - Polymer-based luting materials containing adhesive components (ISO 4049)에 따라 직경 2.3 mm × 높이 2.2 mm의 원통형의 복합레진 블록을 제작하였다.

2) 우치 시편의 준비

3일 이내에 발거된 45개의 우식이 없는 우치를 백악 법랑경계에서 치근부분은 절단하고 치관부분을 사용하였으며 치수를 제거하고 utility wax로 매립하였다. 그 다음 복합레진 블록을 접착할 부위를 아래로 향하게 한 후 고정된 후, 원통형 테플론 몰드에 교정용 아크릴릭 레진 (Ortho-Jet, Lang Dental Manufacturing co., Wheeling, USA)을 사용하여 포매 하였다. 그 다음 연마지 120번, 400번을 사용하여 superficial dentin이 노출될 때까지 연

마한 후 밀폐된 용기안의 37°C 증류수에 보관하였다.

3) 레진시멘트를 이용한 합착

포매한 45개의 치아시편은 자가접착 레진시멘트의 종류에 따라 실험군을 5개씩 분류하였다. 접착 전에 치면을 10초간 수세 후 우치의 superficial dentin의 접착부위는 평평한 형태의 물이 젖어 있는 상태로 유지하고, 나머지 부위는 면구를 사용하여 닦아내었다. 복합레진 블록에 CLEARFIL CERAMIC PRIMER (Kuraray MEDICAL Inc., kurashiki, Japan)를 5초간 적용 후 건조하였다. 건조한 면에 9가지 자가접착 레진시멘트를 각각 도포하여 치면에 접착한 후 5 N의 하중을 가한 후 과잉의 레진시멘트를 제거한 후 oxygen shielding 재료를 1 mm의 직경과 두께로 복합레진 피착재 변연부에 바르고 면당 20초씩 광중합을 2회 반복하였다. 5 N의 하중을 가한 상태로 제조사가 지시한 자가 중합시간에 30분을 더하여 37°C dry oven안에서 유지하였다. 접착된 시편은 시험 전까지 37°C 증류수에 24시간 동안 보관하였다. 전단결합강도는 만능시험기(Z020, Zwick, Ulm, Germany)를 이용하여 0.75 mm/min cross-head speed로 측정하였으며 사용된 지그는 Figure 1과 같다.

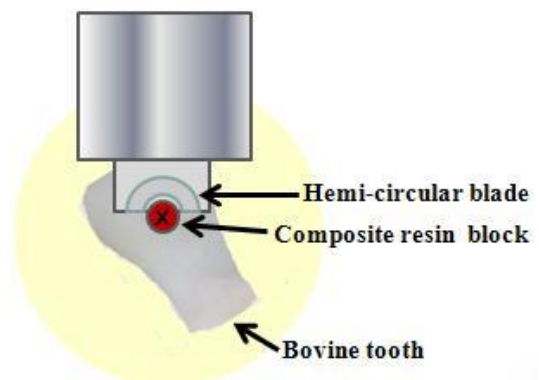
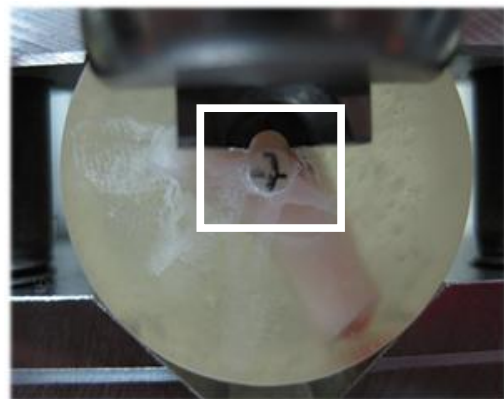


Figure 1. Hemi-circular blade that was used in this study

3. 파절양상

파절이 일어난 시편의 파절양상을 5배 확대경으로 관찰하였다. 파절양상은 접착성 파절, 응집성 파절, 혼합형 파절로 구분하였다.

4. 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(SPSS 12.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 이용하였다. 모든 실험군의 전단결합강도를 one-way ANOVA로 신뢰수준 95%에서 분석하였고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다.

결 과

1. 전단결합강도

자가접착 레진시멘트의 전단결합강도는 Figure 2와 같다. Uni와 U-Cem이 높은 전단결합강도를 보였으며($p < 0.05$), ICem과 Mono와는 유의성 있는 차이가 없었다($p > 0.05$). Bifix, Bis, Perma는 낮은 전단결합강도를 보였으며($p < 0.05$), Smart와는 유의성 있는 차이가 없었다($p > 0.05$).

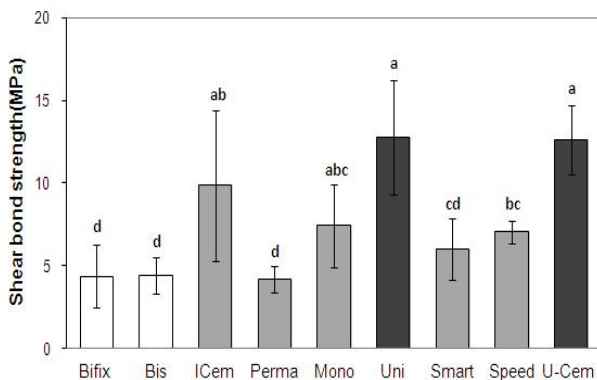


Figure 2. Shear bond strengths of the resin-based cements between resin adherend and bovine teeth dentin. Different lowercase letters indicate statistically significant differences among the groups(Duncan's multiple range test, $p < 0.05$).

2. 파절양상

자가접착 레진시멘트의 파절양상은 모든 자가접착 레진시멘트에서 접착성 파절이 관찰되었다. 그리고 레진시멘트가 복합레진 블록에 모두 100% 접착되었다.

고 찰

본 연구에서는 자가접착 레진시멘트가 임상에서 실제 적용되는 것처럼 적용하여 전단결합강도를 비교 평가하고자 하였다.

자가 접착 레진시멘트는 치면에 적용 시 상아질 표면의 도말층이 그대로 남아 있게 된다. 자가 접착 레진 시멘트의 구성성분 중 phosphoric acid methacrylates는 도말층과 하부의 상아질을 탈회시킨다. 선행 연구에 의하면 접착된 치면의 초기 경화 시 낮은 산도에도 불구하고 탈회의 흔적과 레진 태그가 형성되지 않으면서도 하부의 상아질과 표면적으로 서로 작용함이 관찰되었고 보고된 바 있다(Hasegawa 등, 1991; De Munck 등, 2004). 또한 phosphoric acid methacrylates는 hydrogen bonding과 같은 물리적인 유지력이 다른 시멘트와 비교했을 때 강하다고 보고된 바 있다(Piwowarczyk 등 2004). 이에 따라, phosphoric acid methacrylates는 시멘트의 결합강도에 영향을 미치는 요인이다. 특히 자가 접착 레진시멘트 중에서 Uni가 다른 자가접착 레진 시멘트 보다 더욱 높은 전단결합강도를 보이고 있다. 그 원인은 제품자체가 함유하고 있는 성분들의 조합이 다른 자가 접착 레진 시멘트에 비해 산성이 중화되는 속도가 월등히 빠르기 때문이다(Piwowarczyk 등 2004). 또 다른 이유로는 함유 되어있는 phosphoric acid methacrylates와 silanated alkaline filler와 치아의 hydroxyapatite가 중화반응을 하여 생성된 물로 인해 표면 젖음성 좋아지기 때문이다(Bitter 등, 2006). UCem 또한 다른 자가접착 레진시멘트에 비해 높은 전단결합강도를 보이고 있다. UCem에 대한 연구보고가 아직 없어 정확한 이유를 알 수 없지만 UCem의 구성성분 중 4-META와 Bis-GMA 성분이 포함되어 있는데, 4-META를 접착성 레진에 넣어 사용하게 되면 상아질에 대한 접착력을 높인다고 보고되고 있으며, 4-META와 같은 접착을 촉진하는 monomer가 포함된 접착성 레진은 탈회된 치면의 내부로 확산, 침투하여 치질과 레진의 hybrid layer를 형성함으로써 상아질에 대한 접착력이 높아진다는 연구결과가 있다(Nakabayashi 등, 1992). 위의 이유로 높은 전단결합강도를 보인 것이라 사료된다. 그리고 자가접착 레진시멘트의 인산 ester는 상아질의 부식을 위한 이온화를 위해 물을 필요로 한다(Mazzitelli 등, 2008). 그러나 낮은 결합강도를 보이고 있는 Bis의 성분에는 물이 없고 Bis(hydroxyethyl methacrylate) phosphate에 의해 상아질을 부식한다(Monticelli 등, 2008). 그리고 상아질과 Bis의 합착은 산성의 인산 성분과 염기성의 dental glass 및 상

아질에 의한 산-염기 반응에 의해(Mazzitelli 등, 2008) 약하게 접착이 되었을 거라고 사료된다.

파절양상은 모든 자가접착 레진시멘트가 피착재에 100%로 붙어있는 접착성 파절을 보였다. Hitz 등(2012)의 연구에서 또한 치아와 자가접착 레진시멘트와의 전단결합강도와 ceramic과 자가 접착 레진 시멘트와의 결합강도를 비교한 결과 세라믹과 자가접착 레진시멘트와의 결합강도가 더 높게 나타났다. 이러한 결과로 미루어 보아 레진시멘트가 치아보다 피착재와 결합강도가 더 강하다는 것을 보여주고 있다. 따라서 치아와의 결합강도를 더 높이기 위한 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서의 자가접착 레진시멘트의 전단결합강도는 다른 선행연구 보다 비교적 낮은 수치를 보이고 있다(Fonseca 등, 2009; Holderegger 등, 2008; Hitz 등 2012). 이는 shear loading 지그의 날이 이전 연구(Fonseca 등, 2009)에서 무딘 일자형태 인 것에 비해 본 연구에서는 Figure 2처럼 반원형의 예리한 날을 사용한 데 일부 원인이 있는 것으로 사료된다. 또한 기존연구(Fonseca 등, 2009; Holderegger 등, 2008; Hitz 등 2012)에서는 치아나 피착재 위에 원통형의 실린더에 레진시멘트 자체를 채워 한쪽 면과 접착한 거에 반해 본 연구에서는 직접 실제 임상에서와 같이 우치와 피착재 사이에 소량의 레진시멘트가 적용되고, 양쪽 면과 합착하기 때문에 결합강도가 작게 나왔을 거라 사료된다.

본 연구의 한계점은 실제 임상에서 적용되는 사람 치아의 상아질이 아닌 우치의 상아질을 사용하였다는 점이다. 하지만 사람치아와 우치의 법랑질과 상아질에 접착재를 적용하여 전단결합강도를 비교한 연구에 의하면 본 연구에서처럼 37% 인산을 처리하지 않은 우치와 사람치아의 법랑질과 상아질의 전단결합강도가 유의성 있는 차이가 없었으며, 이에 따라 우치의 법랑질과 상아질은 사람 치아의 법랑질과 상아질로 대체 가능하다고 보고되었다(Titley 등 2006). 또한 Krifka 등(2008)은 사람의 유치와 우치에 여러 가지 접착재를 적용하여 전단결합강도를 비교한 결과 사람의 유치와 우치사이에 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며, Rüttermann 등(2013)의 연구에서도 사람의 치아와 우치의 법랑질과 상아질의 전단결합강도가 유의성 있는 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 이에 따라 본 연구는 실제 임상과 근접한 방법으로 자가접착 레진시멘트를 적용하였다는 점을 참고하여 본 연구의 결과를 비교적 신뢰할 수 있을 것이라 사료된다.

아직 자가접착 레진시멘트의 결합기전 및 물성과 관련된 연구가 많이 진행되고 있지 않아 지속적인 연구가

필요하다. 본 연구를 통해서 치아에 전처리 과정이 간단하면서도 높은 결합강도를 보이는 Uni와 UCem이 임상적으로 유용하게 사용 될 것으로 사료된다.

결 론

자가 접착 레진 시멘트의 전단결합강도와 파절양상을 비교 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전단결합강도는 Uni와 U-Cem에서 높았으며($p < 0.05$), ICem과 Mono와는 유의성 있는 차이가 없었다($p > 0.05$).
2. Bifix, Bis, Perma는 낮은 전단결합강도를 보였으며($p < 0.05$), Smart와는 유의성 있는 차이가 없었다($p > 0.05$).
3. 모든 자가 접착 레진 시멘트에서 접착성 파절이 관찰되었으며, 시멘트가 복합레진 블록에 모두 100% 접착되었다.

본 연구를 통해 높은 전단결합강도를 보이는 Uni와 UCem이 임상에서 유용하게 사용 될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- Attar N, Tam LE, McComb D (2003). Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent* 89:127-134.
- Behr M, Rosentritt M, Regnet T, Lang R, Handle G (2004). Marginal adaptation in dentin of a self-adhesive universal resin cement compared with well-tried systems. *Dent Mater J* 20:191-197.
- Bitter K, Meyer-Lueckel H, Priehn K, Kanjuparambil JP, Neumann K, Kielbassa AM (2006). Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. *Int Endod J* 39:809-18.
- Cobb D, Timmons, Stanford C, Dawson D, Denehy G, Vargas M (2004). Clinical outcomes of ceramic inlays/ onlays luted with two bonding systems. *J Dent Res* 83:1539.
- De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, VanMeerbeek B (2004). Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater J* 20:963-971.

- Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ (2011). Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil* 38: 295-314.
- Fonseca RG, de Almeida JG, Haneda IG, Adabo GL (2009). Effect of metal primers on bond strength of resin cements to base metals. *J Prosthet Dent* 101:262-8.
- Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A (2000). Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 25:324-330.
- Goto S, Churnjitapirom P, Miyagawa Y, Ogura H (2008). Effect of additive metals, Sn, Ga, and In in Ag-Pd-Au-Cu alloys on initial bond strength of 4-META adhesive cement to these alloys. *Dent Mater J* 27:678-86.
- Hasegawa EA, Boyer DB, Chan DC (1991). Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays. *J Prosthet Dent* 66:187-192.
- Hinoura K, Miyazaki M, Onose H (1991). Dentin bond strength of light-cured glass-ionomer cements. *J Dent Res* 70:1542-1544.
- Hitz T, Stawarczyk B, Fischer J, Hämmerle CH, Sailer I (2012). Are self-adhesive resin cements a valid alternative to conventional resin cements? A laboratory study of the long-term bond strength. *Dent Mater* 28:1183-1190.
- Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schläpfer R, Hämmerle C, Fischer J (2008). Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater* 24:944-50.
- Ikemura K, Jogetsu Y, Shinno K, Nakatsuka T, Endo T, Kadoma Y (2011). Effects of a newly designed HEMA-free, multi-purpose, single-bottle, self-etching adhesive on bonding to dental hard tissues, zirconia-based ceramics, and gold alloy. *Dent Mater J* 30:616-25.
- International Organization for standardization (2012). ISO/WD 16506. Dentistry - Polymer-based luting materials containing adhesive components, Geneva: Switzerland, ISO.
- Komine F, Kobayashi K, Saito A, Fushiki R, Koizumi H, Matsumura H (2009). Shear bond strength between an indirect composite veneering material and zirconia ceramics after thermocycling. *J Oral Sci* 51:629-34.
- Krifka S, Börzsönyi A, Koch A, Hiller KA, Schmalz G, Friedl KH (2008). Bond strength of adhesive systems to dentin and enamel--human vs. bovine primary teeth in vitro. *Dent Mater* 24:888-94.
- Mazzitelli C, Monticelli F, Osorio R, Casucci A, Tolodano M, Ferrari M (2008). Effect of simulated pulpal pressure on self-adhesive cements bonding to dentin. *Dent Mater* 24:1156-63.
- Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Tolodano M (2008). Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 87:974-9.
- Nakabayashi N, Ashizawa M, Nakamura M (1992). Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. *Quintessence Int* 23:135-41.
- Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA (2004). In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials. *J Prosthet Dent* 92:265-273.
- Rüttermann S, Braun A, Janda R (2013). Shear bond strength and fracture analysis of human vs. bovine teeth. *PLoS One* 8:e59181.
- Titley KC, Childers S, Kulkarni G. An in vitro comparison of short and long term bond strengths of polyacid modified composite resins to primary human and bovine enamel and dentine(2006). *Eur Arch Paediatr Dent* 7:246-52.
- Wilson AD (1990). Resin-modified glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont* 3:425-429.