

탈락된 브라켓의 표면처리가 재접착시 전단접착강도에 주는 영향

이창용, 박종환, 고영무*

조선대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

〈Abstract〉

Effect of Surface Treatments of Detached Bracket Surface on the Shear Bond Strength

*Chang-Yong Lee, Jong-Hwan Park, Yeong-Mu Ko**

Department of Dental Materials, School of Dentistry, Chosun University Gwangju 61452, Republic of Korea

Dentists are commonly faced with the decision of what to do with detached or inaccurately positioned brackets that require re-positioning during treatment. One solution is to reuse the brackets without compensate for bond strength. The purpose of this study was to evaluate the effects of the surface treatments of the detached metal bracket on the shear bond strength (SBS) of orthodontic brackets bonded to bovine.

Eighty detached brackets without any damage were selected and twenty new brackets (CTL) were prepared. Twenty used brackets, which had less than 5% residual adhesives in the base, were not treated, but cleaned with ultrasonic cleaner using ethanol (EXP-1). Used brackets were ground with green stone until mesh patterns were exposed (EXP-2), were sandblasted with alumina particles (EX-3), and were sandblasted subsequent to green stone grinding (EXP-4). One hundred bovine teeth were used for bracket bonding test. SBS test and adhesive remnant index (ARI) evaluation were performed, and the data were analyzed using ANOVA test ($p = 0.05$).

EXP-1 showed the significantly low SBS (8.24 MPa, $p < 0.05$), but higher bond strength than the clinically required bond strength. EXP-2 showed the lowest SBS (6.59 MPa) among experimental groups, EXP-3 showed the highest SBS (11.99 MPa), but no significantly different with CTL (11.50 MPa). Average SBS of EXP-4 was 10.20 MPa, it was not significantly different with CTL or EXP-3.

Key words: Refreshed bracket, Green stone grinding, Sandblasting, Shear bond strength, Adhesive remnant index (ARI)

I. INTRODUCTION

치아 교정 치료를 위하여 치면에 접착한 브라켓은 저작력, 대합치와의 접촉, 교정용 호선 삽입시 발생한 과도한 응력 및 오염에 의한 접착 실패 등에 의하여 치면에서 탈락될 수 있다. 브라켓의 탈락은 치료 기간의 지연뿐 아니라 치료 비용도 상

승될 수 있어서 브라켓 접착력 향상을 위한 많은 연구가 보고되고 있으며, 탈락된 브라켓의 재활용법과 재부착 방법에 관한 연구도 진행되고 있다. 탈락된 브라켓을 다른 환자에게 재사용하는 것은 불가능하지만, 교정 치료 도중에 브라켓이 탈락된 경우는 탈락된 브라켓을 진료실내에서 간단한 재생처리를 실시한 후 동일한 환자에게 선택적으로 적용하는 것은 진료실 내에서 바로 시행할 수 있어 치료 시간과 비용을 모두 절감할 수 있는 장점이 있다. 그러나 Postlethwaite (1992)는 재생된 브라켓의 문제점으로 재생된 브라켓의 품질 저하와 교차감염 가능성을 제시하였고, Wheeler와 Ackerman (1983)

* Correspondence: 고영무 (ORCID ID: 0000-0002-6733-6073)
(61452)광주광역시 동구 필문대로 309번지 조선대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실
Tel: +82-62-230-6876, Fax: +82-61-740-7312
E-mail: ymgo@chosun.ac.kr

Received: May. 12, 2016; Revised: May. 30, 2016; Accepted: May. 30, 2016

* 본 논문은 2015년도 조선대학교 교내 연구비 지원을 받았음.

은 탈락과정에서 손상된 브라켓을 선별하여 재생되지 않도록 하는 작업이 매우 중요하다고 하였다. 또한, Lim과 Yang (2002)은 열처리법과 화학처리법으로 재생된 브라켓에서 용출되는 금속 성분에 의한 세포독성이 새로운 브라켓 보다 유의하게 크다는 점을 유의하여야 한다고 하였다. Lewy (1993), Marchen (1993)은 제조사에서 판매하는 교정용 브라켓이 1회 용이라고 명시한 점에 유의하여 재생 브라켓 적용시 환자의 동의는 물론 물성 변화 가능성 등을 고려하여 신중하게 사용할 것을 제안하였다.

브라켓의 재사용에 관한 연구 결과 탈락된 브라켓을 다시 사용하는 경우라도 브라켓의 베이스와 법랑질 표면을 적절하게 처리하면 임상적으로 유용한 접착력을 얻을 수 있다고 하였으며 (Egan 등, 1996; Montasser 등, 2008a; 2008b; Nicolas 등, 2010), 새로운 브라켓으로 처음 접착한 경우 보다는 접착력이 감소되지만, 브라켓 베이스와 치면을 적절하게 표면처리하면 교정 치료에 충분한 접착력을 얻을 수 있다고 하였다 (Bishara 등, 2002). 탈락된 브라켓을 재접착하는 경우 접착력에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 브라켓의 종류, 브라켓의 제거방법, 접착제의 종류, 재접착의 횟수, 브라켓 베이스의 처리 방법 및 치아 표면의 처리 방법 등이 있다.

탈락된 금속 브라켓의 재생은 미세한 브라켓의 구조에 영향을 주지 않고, 또한 브라켓 슬롯의 폭경을 변형시키지 않으며 브라켓에 부착된 접착제를 완전히 제거하는 것을 목표로 다양한 방법들이 적용되고 있다. 탈락된 브라켓 재생방법은 가열하여 레진 접착제를 태워 없애는 열처리 방법, 화학 용매를 사용하여 팽윤된 레진 접착제를 제거하는 화학처리 방법, 물리적 힘을 적용하여 레진 접착제를 제거하는 기계적 처리 방법 등이 있다(Buchman, 1980; Wright와 Powers, 1985; Reddy 등, 2011; Reimann 등, 2012). 이중 화학처리 방법의 경우는 전문 재생업체 (Esmadent, Orthod- Cycle 및 Ortho Bonding 등)가 사용하는 화학 약품에 대한 자세한 정보가 부족하고, 특히 황산 등과 같은 강산은 취급이 어려울 뿐 아니라 환경오염 등의 후처리 문제가 발생할 수 있다. 재생업체에 위탁처리하는 경우 브라켓을 450℃로 가열하여 접착제를 제거하고, 가열시 형성된 산화물을 제거하기 위하여 전해연마 (electro- polishing)를 하는 방법과 100℃ 이하에서 solvent stripping을 하고 그 다음 250℃로 열처리 후에 짧은 전해연마

를 하는 방법이 사용되고 있다고 한다.

최근까지 임상에서는 스테인리스 강 (AISI Type 304 또는 302)으로 제조된 금속 브라켓을 주로 사용하고 있는데, 이러한 스테인리스 강은 550 - 850℃ 범위로 가열하면 결정입계의 탄소가 크롬과 반응하여 크롬 탄화물을 형성하기 때문에 결정입계 부식에 취약할 수 있다. 그러나 770℃ 부근에서 완전한 열-분해가 가능한 교정용 접착제의 경우는 스테인리스 강 브라켓의 물성 변화를 방지하기 위하여 350 - 450℃로 가열하여 접착제 제거를 시도하지만 접착제를 완전히 제거할 수 없어서 전해연마처리를 병행하고 있다. Buchman (1980)은 Esmadent사에서 제시한 열처리법으로 재생한 브라켓의 미세구조가 변화하여 부식저항과 강도가 감소되었다고 하였고, Mascia와 Chen (1982)은 전해연마 과정에서 손실되는 금속 성분이 재생된 브라켓의 접착력을 감소시킬 수 있다고 하였으며, Wheeler와 Ackerman (1983)은 열처리법으로 재생된 브라켓의 경우 브라켓 베이스에 잔류되는 불순물이 접착력을 유의하게 감소시키는 원인이라고 추정하였다.

Grabouski 등 (1998), Cacciaffesta 등 (2004)은 탈락된 브라켓의 베이스 표면을 샌드블라스팅으로 처리할 경우 초기 접착력과 유사한 접착강도를 얻을 수 있다고 하였고, Mui 등 (1999)은 탈락된 브라켓의 재사용시 접착할 치면에 접착 레진이 아주 적은 양이라도 잔류하고 있거나 치면을 다시 산-부식 처리 않을 경우 접착력은 감소된다고 하였다. 육안으로는 치면에 접착 레진이 잔류되지 않는 것처럼 보이더라도 법랑질 구조내에 잔류하는 레진들이 접착력에 영향을 줄 수 있다고 하였다(Bishara 등, 2002). Wright와 Powers (1985)는 재생된 브라켓의 접착력 유지를 위하여 잔류 레진 접착제의 완전한 제거가 반드시 필요한 조건이 아니며, 그린스톤을 이용하여 브라켓 베이스의 접착제를 제거하는 재생처리법도 유용하게 적용할 수 있다고 제시하였다. 그러나 그린스톤으로 브라켓 베이스에 잔류하는 접착제를 제거하는 경우 균일하게 제거하여야 하며, 브라켓 베이스에 손상을 주지 않도록 유의하여야 한다. Matasa (1989)는 재생된 브라켓의 품질에 영향을 줄 수 있는 변수로 탈락과정에서 발생하는 변형과 재생과정에서 발생하는 변형으로 분류할 수 있다고 하였는데, Oliver와 Pal (1989)은 재생된 브라켓의 변형이나 손상은 대부분 탈락과정에서 발생한다고 하였다. Knosel 등 (2010)은 bracket

Table 1. Experimental groups (n = 20) used in this study

Groups	Bracket treatments
CTL	un-used fresh brackets (new)
EXP-1	used brackets (residual adhesive < 5%), no refreshment
EXP-2	used brackets, grinding with green stone
EXP-3	used brackets, sandblasting with alumina particles (50 μm)
EXP-4	used brackets, sandblasting with alumina particles (50 μm) subsequent to grinding with green stone

removal pliers (Dentaurum)나 side cutter (Dentaurum) 등의 기구는 브라켓을 변형시킬 수 있어서 브라켓 제거에 적절하지 않다고 하였다. Sfondrini 등 (2012)은 자가결찰형 금속 브라켓을 재생처리한 경우에는 평가한 제품에 따라 재생 브라켓의 접착력이 감소되기도 하고 (Smart Clip, Damon3MX) 증가되기도 하였는데 (Quick), 모든 제품에서 임상 적용에는 문제가 없는 접착력이 관찰되었다고 하였다.

본 논문에서는 진료실내에서 실시할 수 있는 탈락된 브라켓의 다양한 표면처리법이 브라켓의 재접착력에 주는 영향을 평가하여 진료실에서 실시할 수 있는 적절한 표면처리방법을 제시하고자 하였다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 실험 재료

1) 탈락된 브라켓의 재생처리

본 연구실에서 접착강도 시험으로 탈락된 금속 브라켓 (Tomy Inc, Japan) 중 실체 현미경 (Nikon SMZ-U, Tokyo, Japan)으로 브라켓 베이스의 상태를 확인하여 표면에 손상이 없는 브라켓 80개를 선별하여 준비하였다. 선별한 브라켓 중에서 베이스 표면에 접착제가 거의 잔류하지 않은 (5% 미만) 브라켓 20개는 베이스 표면을 추가로 처리를 하지 않고 에탄올을 사용하여 초음파 세척기에서 5분간 세척한 후 건조하여 EXP-1 실험군으로 하였다(Fig. 1b). 브라켓 베이스 표면에 접

착제가 10% 이상 잔류된 브라켓 (Fig. 1c, 1d)을 60개 선별하여 무작위로 3개의 실험군으로 분류하였다.

브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 green stone (ISO 030, Shofu, Japan)으로 베이스의 메쉬 (mesh)가 노출될 때까지 연삭처리한 다음, 에탄올을 사용하여 초음파 세척기에서 5분간 세척한 후 건조시켜 재생한 브라켓을 EXP-2 실험군으로 하였다(Fig. 2). 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 50 μm 알루미나로 20초 동안 샌드블라스팅처리한 다음, 에탄올을 사용하여 초음파 세척기에서 5분간 세척한 후 건조시켜 재생한 브라켓을 EXP-3 실험군으로 하였다(Fig. 3). 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 그린 스톤으로 베이스의 메쉬가 노출될 때까지 연삭한 후 베이스 표면에 추가로 거칠기를 부여하기 위하여 50 μm 알루미나로 샌드블라스팅처리한 다음 에탄올을 사용하여 초음파 세척기에서 5분간 세척하고 건조시켜 재생한 브라켓을 EXP-4 실험군으로 하였다(Fig. 4). 한번도 사용하지 않은 새로운 브라켓 20개는 대조군 (CTL)으로 하였다 (Fig. 1a). 본 연구에 사용한 실험군은 Table 1에 정리하였다.

2) 우치 시편 준비 및 브라켓 접착

표면 결함이 없는 건전한 우치 100개를 선별하여 우치 표면에 잔류하는 이물질들을 깨끗하게 제거한 다음 0.1% Thymol 용액에 7일간 보관하였다. 우치에서 상대적으로 편평한 순측 법랑질 부위를 천공기 (내부 지름 8 mm)로 천공한 다음 저속 다이아몬드 톱 (ISOMET 1000, Buehler, Germany)으로 절단하여 디스크형 시편 (8 mm \times 3 mm) 100개를 제작하였다

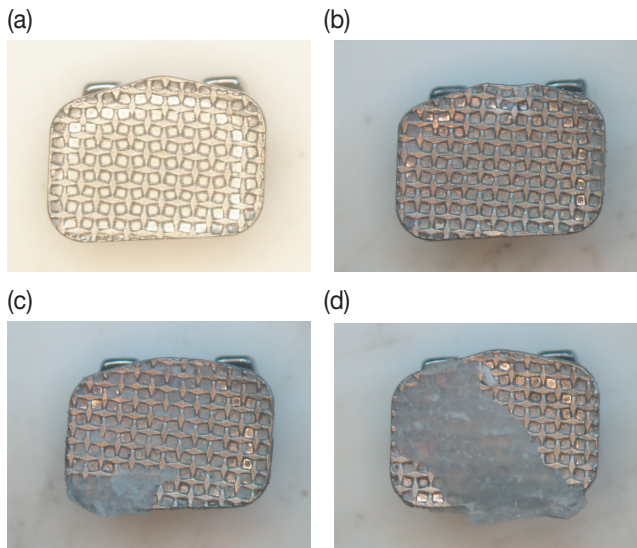


Figure 1. Bracket base: (a) un-used (new) bracket, (b) used bracket (residual adhesive < 5%), (c) used bracket (residual adhesive < 10%), (d) used bracket (residual adhesive < 50%).

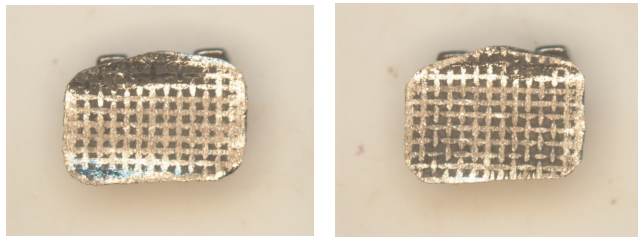


Figure 2. Recycled bracket base after grinding with green stone (EXP-2).

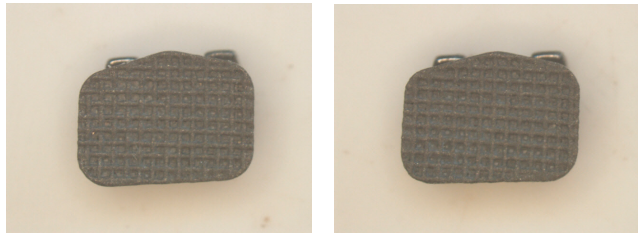


Figure 3. Recycled bracket base after sandblasting with 50 μm alumina (EXP-3).

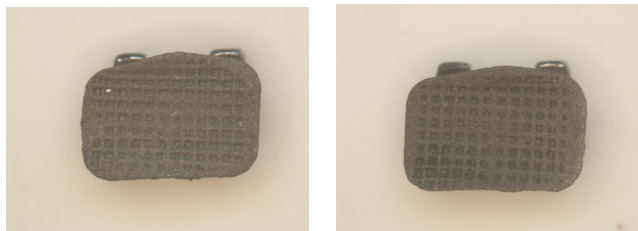


Figure 4. Recycled bracket base after sandblasting with 50 μm alumina subsequent to grinding with green stone (EXP-4).

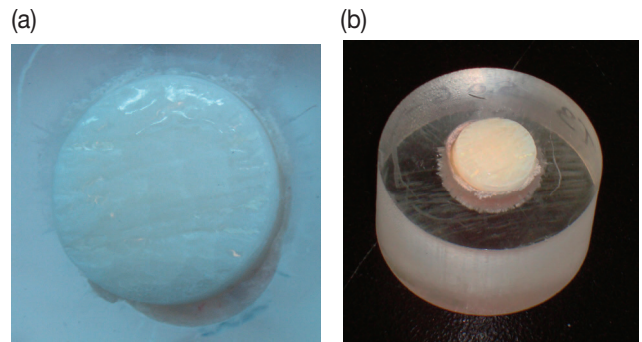


Figure 5. Specimen used in this study: the bovine was punched and cut to disk shape (a), bovine embedded in acrylic mold (b)

(Fig. 5a).

디스크형으로 절단한 우치의 순측 법랑질 표면이 상방으로 노출되도록 아크릴 몰드 넣고 자가중합형 아크릴 레진으로 포매하여 브라켓 접착에 사용할 시편을 준비하였다(Fig. 5b). 우치 표면을 35% 인산인 Scotchbond Etchant (3M ESPE)로 30초간 산-부식처리한 다음 준비한 금속 브라켓 (Tomy Inc, Japan)을 광중합형 교정용 접착제인 Transbond XT (3M Unitek, USA)를 이용하여 접착하였다. 제조사의 설명서에 따라 접착용 프라이머를 산-부식처리한 우치 표면에 도포하고 건조시킨 후 접착용 레진을 브라켓 표면에 균일하게 도포한 다음 우치면 중앙에 브라켓을 압착하였다. 과잉의 접착 레진은 스케일러 (scaler)로 제거한 후 Ortholux LED Curing Unit (3M Unitek)를 이용하여 4 방향에서 10초씩 총 40초간 충분히 광조사하였다. 실험 오차를 최소화하기 위하여 브라켓 접착 과정은 동일한 실험자가 실시하였다.

2. 실험 방법

1) 전단접착강도 (SBS) 측정

브라켓의 전단결합강도는 인스트론(Instron 4466, Canton, USA)을 사용하여 측정하였다. 브라켓 윙에 평행하게 힘이 가해질 수 있도록 전단결합강도 측정용 지그에 시편을 고정하고 브라켓 접착 계면에 1 mm/min 속도로 전단 하중을 가하여 브라켓이 우치면에서 분리될 때의 최대하중을 Newton (N)으로 측정하였고, 측정된 하중을 제조사에서 제시한 브라켓 베이스 (base)의 면적으로 나누어 전단결합강도 (MPa)를 계산하였

다. 실험군당 20개 시편을 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였으며, 실험군의 통계적 유의성을 ANOVA test와 Newman-Keuls multiple comparisons test ($p = 0.05$)로 검증하였다.

2) 접착제 잔류지수 (ARI) 평가

교정용 브라켓의 전단결합강도 측정 후 브라켓이 탈락된 우치의 접착 계면을 실체 현미경 (Nikon SMZ-U, Tokyo, Japan)으로 5배 확대하여 우치의 접착 계면에 잔류된 접착제 양을 관찰하였다. 표면에 잔류된 접착제 양에 따라 Årtun과 Bergland (1984)가 제시한 접착제 잔류지수(Adhesive remnant index, ARI)를 이용하여 평가하였는데, 접착제 잔류지수 (ARI) 설정은 아래와 같이 4 단계로 점수화하였다.

- score 0 : 우치 표면에 접착제가 전혀 남아 있지 않은 경우 (0%)
- score 1 : 우치 표면에 접착제가 50% 이하로 남은 경우 (< 50%)
- score 2 : 우치 표면에 접착제가 50% 이상 남은 경우 (> 50%)
- score 3 : 우치 표면에 모든 접착제가 남아 있는 경우 (100%)

III. RESULTS

만능시험기를 사용하여 각 실험군의 전단접착강도를 측정한 결과는 Table 3과 Fig. 6과 같다. 사용한 적이 없는 새로운

브라켓으로 접착한 대조군 (CTL)의 평균 전단접착강도는 11.50 MPa이었고, 탈락된 브라켓 중에서 베이스에 잔류하는 접착제가 5% 미만인 브라켓을 선별하여 에탄올로 초음파 세척한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-1의 평균 전단접착강도는 8.24 MPa을 보여 CTL군보다 유의하게 감소되었다($p < 0.05$). 탈락된 브라켓 베이스 표면을 그린 스톤을 이용하여 잔류된 접착제가 제거될 때까지 연삭처리한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-2의 평균 전단접착강도는 6.59 MPa를 보여 가장 낮은 값을 보였지만, EXP-1군과는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 탈락된 브라켓 베이스 표면을 알루미늄 입자로 샌드블라스팅 처리하여 잔류된 접착제를 제거한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-3의 평균 전단접착강도는 11.99 MPa를 보여 가장 높은 값을 보였지만, CTL군과는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 탈락된 브라켓 베이스 표면을 그린 스톤을 이용하여 잔류된 접착제가 제거될 때까지 연삭처리한 다음 알루미늄 입자로 샌드블라스팅 처리하여 브라켓 베이스 표면을 거칠게 형성한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-4의 평균 전단접착강도는 10.20 MPa를 보였으며, CTL군 및 샌드블라스팅처리한 EXP-3와는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

브라켓의 전단접착강도 시험을 완료한 우치에서 브라켓이 탈락된 접착 계면을 실체현미경으로 관찰하여 (Fig. 7) 우치 표면에 잔류하는 접착제의 양으로 평가한 ARI 값은 Table 4에 정리하였다.

사용한 적이 없는 새로운 브라켓으로 접착한 대조군 (CTL)의 경우 우치 표면에 접착제가 전혀 잔류하지 않은 (ARI = 0) 시편이 3개, 접착제가 50% 이상 잔류하는 (ARI = 3, 4)

Table 2. Results of shear bond strength test of experimental groups

Groups	Treatment	Mean ± SD (MPa)	Range (MPa)
CTL	un-used (new)	11,50±3,86 ^a	5.86 ~ 18.02
EXP-1	no refreshment	8,24±1,90 ^{b,c}	5.24 ~ 11.27
EXP-2	green stone	6,59±2,23 ^c	3.53 ~ 12.52
EXP-3	sandblasting	11,99±3,58 ^a	6.73 ~ 17.25
EXP-4	green stone + sandblasting	10,20±3,88 ^{a,b}	5.45 ~ 19.03

Note: the same superscript letters within the same column are not significantly different ($p > 0.05$).

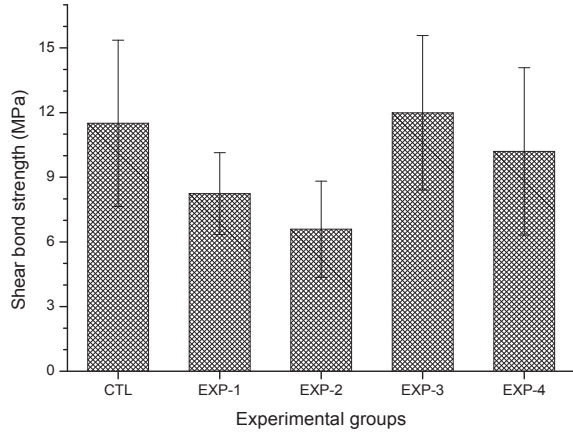


Figure 6. Shear bond strength test of experimental groups.

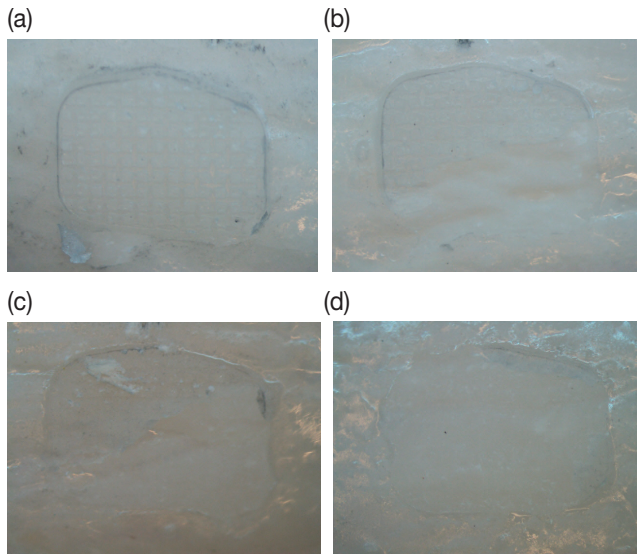


Figure 7. Residual adhesive on bovine teeth after shear bond strength test: (a) = unused, (b) = sandblasted, (c) = no refreshment, (d) = green stone treated.

Table 3. Adhesive remnant index (ARI) score of experimental groups

Group	N	Adhesive remnant index scores			
		0	1	2	3
CTL	20	3	11	4	2
EXP-1	20	2	15	2	1
EXP-2	20	0	2	3	15
EXP-3	20	2	12	2	3
EXP-4	20	2	2	6	10

시편이 6개였고, 대부분인 11개 시편에서는 50% 미만의 접착제 잔류가 (ARI = 1) 관찰되었다. 탈락된 브라켓 중에서 베이스에 잔류하는 접착제가 5% 미만인 브라켓을 선별하여 에탄올로 초음파 세척한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-1의 ARI 값은 대조군과 유사한 양상을 보였다. 탈락된 브라켓 베이스 표면을 알루미늄 입자로 샌드블라스팅처리하여 잔류된 접착제를 제거한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-3의 ARI 측정값도 CTL 및 EXP-1군과 유사한 경향을 보였다. 그러나, 탈락된 브라켓 베이스 표면을 그린 스톤을 이용하여 잔류된 접착제가 제거될 때까지 연삭처리한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-2와 탈락된 브라켓 베이스 표면을 그린 스톤을 이용하여 잔류된 접착제가 제거될 때까지 연삭처리한 다음 알루미늄 입자로 샌드블라스팅처리하여 브라켓 베이스 표면을 거칠게 형성한 재생 브라켓으로 접착한 EXP-4의 경우 대부분의 시편에서 50% 이상의 접착제 잔류가 (ARI = 3, 4) 관찰되었다.

IV. DISCUSSION

교정용 브라켓은 환자의 치아 상태에 맞도록 디자인이 정밀화하고 복잡해져서 가격이 크게 상승되고 있다. 교정치료 중에 브라켓의 접착 실패 또는 적절한 위치로의 재접착이 필요한 경우가 발생하는데 이때 탈락된 또는 제거된 브라켓이 손상되지 않았다면 바로 재사용할 수 있다. 이로 인하여 교정치과의사들은 탈락된 브라켓의 재생에 관심을 갖게 되었으며, 이를 전문적으로 대행해 주는 업체들도 소개되었다(DiPasquale 1992a; 1992b; Coley-Smith와 Rock, 1997; Sheridan, 1998).

교정용 브라켓 재생방법은 열을 이용하여 접착제를 태워서 제거하는 열처리법, 유기 용매를 사용하여 팽윤된 접착제를 제거하는 화학처리법 및 샌드블라스팅 등과 같은 물리적 힘으로 브라켓 베이스에 잔류된 접착제를 제거하는 기계적처리법 등이 사용되고 있다. 열처리 법은 진료실에서 즉시 적용하기 어렵고, 열에 의해 금속의 기계적 특성이 변화될 수 있는 문제 뿐 아니라, 적절한 접착제 제거를 달성하기 어려운 단점이 있다. Dawjee와 Gheevarghese (2004)는 탈락된 브라켓에 잔류된 접착제 제거를 위하여 32% 염산과 55% 질산을 1 : 4 비율로 혼합한 용액으로 화학처리한 경우 적절한 접착력을 얻을

수 있었다고 하였다. 이와 같이 잔류된 접착제 제거를 위하여 염산 또는 질산 등과 같은 강산이나 강 알칼리를 사용하게 되면 위험물질을 취급하여야 하므로 실제 진료실에서는 적용하기 어려운 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 진료실에서 쉽게 적용할 수 있는 그린 스톤으로 연삭하거나 또는 샌드블라스팅 처리하는 기계적 방법으로 탈락된 브라켓 베이스의 잔류 접착제를 제거하여 재접착이 가능한지 평가하였다.

재생과정에서 브라켓의 슬롯 크기 변형은 주로 전해연마 과정으로 일어날 수 있다고 하는데, Buchman (1980)은 다양한 재생방법으로 처리한 재생 브라켓의 슬롯 폭경 변화는 중요하지 않으며, 슬롯의 폭경에 변화가 있는 경우라도 20% 정도의 브라켓에서 0.0015 인치 정도만 증가되어 1 - 2 회 재생 처리 과정은 임상 적용에 큰 문제는 주지 않을 것이라고 하였다(Jones 등, 2002). Hixson 등 (1982)은 다양한 방법으로 재생 처리한 브라켓을 대상으로 토오크 변화를 비교한 결과 3 번의 재생 처리동안에는 유의한 변화가 없었다고 하였다. 그러나 Gjerdet와 Herø (1987)는 교정용 호선을 다양한 온도에서 열처리한 후 용출되는 금속 이온 성분을 분석한 연구 결과 500℃ 이상에서 열처리한 경우 금속 이온의 용출량은 15 - 60배 정도 증가된다고 하였고, Huang 등 (2001, 2004), Gürsoy 등 (2004)은 교정용 브라켓을 350℃에서 30분간 가열하여 접착제를 소각처리한 재생 브라켓에서 용출되는 금속 이온 (Ni, Mn, Fe)의 용출량은 새로운 브라켓 보다 더 많았다고 하였다. 이와 같이 열처리함에 따라 금속이온 용출량이 크게 증가될 수 있다면 탈락된 브라켓의 재생방법으로 열처리하는 방법은 금속 이온에 의한 생체위해성 가능성에 유의하여야 할 것으로 보인다.

Ishida 등 (2011)은 Er,Cr:YSGG 레이저가 탈락된 브라켓의 재생처리에 효과적이라고 하였으며, Al Maaitah 등 (2013)은 진료실에서 저속 텅스텐 카바이드 버 또는 초음파 스케일러로 탈락된 브라켓 베이스에 잔류하는 접착제를 제거하는 방법이 효과적이라고 하였고, Chacko 등 (2013)은 열처리법, 샌드블라스팅, 텅스텐 카바이드 버 및 Er:YAG 레이저 처리 등 4가지 방법으로 재생처리한 브라켓의 재접착력을 비교하였는데, Er:YAG 레이저 처리법이 가장 효과적이라고 하였다. Yassaei 등 (2014)은 Er:YAG 레이저 처리, 50 μm 알루미늄으로 샌드블라스팅처리, 가스 토치로 5초간 소각처리 및 CO₂ 레이저 처리

등으로 재생한 브라켓의 접착강도들 비교한 결과 Er:YAG 레이저 처리로 재생한 브라켓이 가장 적은 손상을 보였으며 접착력은 가장 우수한 결과를 보였다고 하였고, 가스 토치로 소각처리한 경우는 실험군중에서는 가장 낮은 접착강도를 보였으나 임상에서 적용할 수 있는 접착력을 보였다고 하였다. Tudehzaeim 등 (2015)은 샌드블라스팅처리와 레이저로 브라켓 베이스에 잔류된 접착제를 제거하여 재생한 브라켓의 미세 누출 정도를 평가한 결과 2가지 방법 모두 임상 적용에 가능한 결과를 보였다고 하였다. Tavares 등 (2003)은 50 μm과 90 μm 크기의 알루미늄 입자로 샌드블라스팅처리하여 재생한 브라켓의 접착력을 비교한 결과 유의한 차이가 관찰되지 않았다고 하였다. Montero 등 (2015)은 실험실에서 25 μm, 50 μm 및 110 μm 크기의 알루미늄 입자로 샌드블라스팅처리하여 재생한 브라켓과 전문재생업체에서 Nd:YAG 레이저처리로 재생한 브라켓의 접착강도를 비교한 결과 재생처리 횟수가 증가될수록 전문재생업체에서 처리한 브라켓의 접착력이 우수하였으며, 샌드블라스팅처리하는 경우에는 25 μm 알루미늄 입자 사용을 추천한다고 하였다. 본 연구에서는 진료실에서 간편하게 실시할 수 있는 그린 스톤을 이용한 연삭처리로 베이스에 잔류된 접착제를 제거하는 방법, 샌드블라스팅처리로 제거하는 방법 및 2가지 방법을 함께 적용하여 제거하는 방법을 사용하여 재생한 브라켓의 접착력을 비교 평가하였는데, 샌드블라스팅 처리한 경우에 우수한 접착력이 관찰되었다. Halwai 등 (2012)도 샌드블라스팅처리, 열처리 및 그린 스톤으로 연삭처리한 재생 브라켓의 접착력을 비교하였는데, 샌드블라스팅처리한 재생 브라켓의 접착강도가 가장 높았다고 하였다.

Dickinson과 Powers (1980), Wheeler와 Ackerman (1983), Regan 등 (1990) 등은 다양한 방법으로 재생 처리한 브라켓의 접착강도를 측정한 결과 새로운 브라켓 보다 접착력은 감소되었으나, 임상에서 요구하는 접착력보다는 높은 값을 보여 임상 적용에는 영향을 주지 않는다고 하였다. Mascia와 Chen (1982), Wright와 Powers (1985)는 다양한 재생과정에서 브라켓 베이스 메쉬가 손상되어 재생 브라켓의 접착강도가 감소되었다고 하였다. Wheeler와 Ackerman (1983)은 재생 과정 중 전체적으로 약간의 접착강도가 감소되는 경우가 관찰되었으나, 그중 43%에서는 오히려 접착강도가 증가된 것이 관찰

되었다고 하였다. 또한 Regan 등 (1990), Buchwald (1989)는 브라켓을 여러번 재생 처리하는 과정이 주는 영향을 평가한 연구에서 여러번 재생처리한 브라켓과 새로운 브라켓의 접착 강도간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다고 하였다. Chung 등 (2000)은 브라켓 접착 촉진제로 All-Bond 2와 Enhance LC를 사용한 경우 새로운 브라켓과 재생 브라켓의 접착력에 주는 영향을 비교하였는데, 샌드블라스팅처리한 재생 브라켓에 All-Bond 2를 적용한 경우 새로운 브라켓과 유사한 접착력이 관찰되었다고 하였다. Quick 등 (2005)은 샌드블라스팅처리로 재생한 브라켓은 새로운 브라켓과 유사한 접착력을 발휘할 수 있다고 하였으며, Aksu와 Kocadereli (2013), Bahnsi 등 (2013a, 2013b)은 샌드블라스팅처리로 재생한 브라켓과 새로운 브라켓의 접착강도를 비교하였는데 샌드블라스팅처리로 탈락된 브라켓을 재생처리할 경우 새로운 브라켓과 유사한 접착력을 얻을 수 있어 경제적인 측면에서 재생 브라켓 적용을 추천할 수 있다고 하였다.

본 논문에서는 그린 스톤으로 연삭 처리하여 재생한 브라켓의 접착강도가 유의하게 가장 낮은 값을 보였으나, 임상에서 요구하는 접착력과 유사한 값을 보여 임상에 적용에는 큰 문제가 없을 것으로 보였다. 그러나 실제현미경으로 재생 처리된 브라켓 베이스 표면을 관찰한 결과 그린 스톤으로 연삭 처리할 경우 베이스의 메쉬 구조도 잔류된 접착제와 함께 연삭되면서 손상될 수 있으므로 기계적 유지력을 얻는데 어려움이 있을 수 있으며, 브라켓 메쉬 사이에 잔류되는 접착제도 접착력 감소에 영향을 주는 것으로 보여 추천할 만한 재생법은 아닌 것으로 보였다. 또한, Basudan과 Al-Emran (2001)도 탈락된 브라켓 베이스에 잔류된 접착제를 제거하기 위한 방법으로 그린스톤으로 연삭처리하는 방법을 추천하지 않는다고 하였다. 반면, 샌드블라스팅 처리로 접착제를 제거한 재생 브라켓의 접착력은 새로운 브라켓과 유사한 접착력을 보여 진료실에서 샌드블라스팅 처리를 적용하면 탈락된 브라켓의 재접착시 접착력 감소 우려는 없을 것으로 보였다. 또한 그린 스톤으로 연삭처리한 브라켓 베이스를 샌드블라스팅처리로 표면을 거칠게 해 줄 경우 접착력은 다시 증가될 수 있으므로 그린 스톤 연삭과 샌드블라스팅처리를 병행하여 적용하는 처리법을 제시할 수 있다.

탈락된 브라켓을 다시 접착시킬 때 브라켓의 재생 처리뿐

아니라 탈락된 법랑질 부위의 표면처리도 브라켓의 적절한 재접착력을 얻기 위하여 매우 중요하다(Bishara 등, 2000; Pakshir 등, 2012; Zhang 등, 2014). Khosravanifard 등 (2011)은 탈락된 브라켓 베이스는 샌드블라스팅처리하고, 브라켓이 탈락된 법랑질 부위는 2가지 속도 (high speed, low speed)를 적용한 텅스텐 카바이드 버로 처리하거나 샌드블라스팅 처리한 다음 재생 브라켓의 접착력을 비교한 연구에서 법랑질 표면에 잔류된 접착제는 텅스텐 카바이드 버로 제거하는 것이 더 효과적이라고 하였으며, 샌드블라스팅처리로 재생한 브라켓은 적절한 접착력을 보인다고 하였다. Ahrari 등 (2012)은 탈락된 브라켓을 바로 재접착한 경우와 24시간 경과한 후 재접착한 경우 접착력의 유의한 차이는 없었다고 하여, 탈락된 브라켓은 바로 재접착하는 것을 제안하였다. Eminkahyagil 등 (2006)은 탈락된 브라켓의 재부착시 법랑질 표면의 처리방법에 따른 재생 브라켓의 접착력을 평가하였는데, 텅스텐 카바이드 버 또는 Sof-Lex 디스크로 처리한 경우 높은 접착력을 보였다고 하였다. 재생 처리한 브라켓의 물성을 새로운 브라켓과 비교한 연구 (Eliades 등, 2003; Chetan과 Muralidhar Reddy, 2011; Wendl 등, 2011; Reimann, 2012; Kumar 등, 2014)에서 제시된 의견은 재생 처리 과정이 접착강도를 다소 감소시킬 수 있으며, 브라켓의 슬롯 크기를 변형시킬 수 있지만 임상 적용에는 크게 영향을 주지 않으므로 동일한 환자에게만 적용한다면 교차 감염의 우려도 없기 때문에 치료 비용 절감 및 치료기간 단축을 위하여 적절하게 재생된 브라켓 사용을 추천할 수 있다고 하였다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 진료실 내에서 시행할 수 있는 탈락된 브라켓의 다양한 표면처리법이 재접착력에 주는 영향을 평가하였다. 접착강도 시험으로 탈락된 브라켓 중 실제 현미경으로 브라켓 베이스의 상태를 확인하여 표면에 손상이 없는 금속 브라켓을 80개 선별하여 준비하였다. 베이스 표면에 접착제가 5% 미만으로 잔류하는 브라켓 20개는 추가로 처리를 하지 않고 에탄올로 초음파 세척기에서 5분간 세척한 브라켓, 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 그린 스

톤으로 연삭처리하여 재생한 브라켓, 50 μ m 알루미나로 샌드블라스팅처리하여 재생한 브라켓, 그린스톤으로 연삭처리한 후 샌드블라스팅처리하여 재생한 브라켓을 대상으로 평가하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 베이스 표면에 접착제가 5% 미만으로 잔류하는 브라켓을 추가로 표면처리를 하지 않고 에탄올로 초음파 세척기에서 5 분간 세척한 후 건조하여 재생한 브라켓의 접착강도 (8.24 MPa)는 대조군 (11.50 MPa)보다 유의하게 낮았으나 ($p < 0.05$), 임상에서 요구되는 접착력 (6 - 8 MPa)보다는 높은 값을 보였다.
2. 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 그린스톤으로 메쉬가 노출될 때까지 연삭처리하여 재생한 브라켓의 접착강도는 유의하게 가장 낮은 값 (6.59 MPa)을 보였다.
3. 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 50 μ m 알루미나로 샌드블라스팅처리하여 재생한 브라켓의 접착강도는 가장 높은 값 (11.99 MPa)을 보였으며, 대조군과 유의한 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$).
4. 브라켓 베이스 표면에 잔류된 접착제를 제거하기 위하여 그린스톤으로 연삭처리한 후 샌드블라스팅 처리하여 재생한 브라켓의 접착강도는 10.20 MPa로 대조군 및 샌드블라스팅 처리만 실시한 브라켓과 유의한 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$).

VI. REFERENCES

- Ahrari F, Poosti M, Akbari M, Sadri K. Early versus delayed rebonding of orthodontic brackets. *Prog Orthod*. 2012;13:17-22.
- Aksu M, Kocadereli I. Influence of two different bracket base cleaning procedures on shear bond strength reliability. *J Contemp Dent Pract*. 2013;14:250-254.
- Al Maaitah EF, Alomari S, Abu Alhajja ES, Saf AA. The effect of different bracket base cleaning method on shear bond strength of rebonded brackets. *J Contemp Dent Pract*. 2013;14:866-870.
- Årtun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as alternative to acid etch enamel pretreatment. *Am J Orthod*. 1984;85:333-340.
- Bahnashi FI, Rahman ANAA, Abu-Hassan MI. The impact of recycling and repeated recycling on shear bond strength of stainless steel orthodontic brackets. *Orthod waves*. 2013a;72:16-22.
- Bahnasi FI, Abd-Rahman AN, Abu-Hassan MI. Effects of recycling and bonding agent application on bond strength of stainless steel orthodontic brackets. *J Clin Exp Dent*. 2013b;5:e197-202.
- Basudan AM, Al-Emran SE. The effects of in-office reconditioning on the morphology of slots and bases of stainless steel brackets and on the shear/ peel bond strength. *J Orthod*. 2001;28:231-236.
- Bishara SE, Laffoon JF, Vonwald L, Warren JJ. The effect of repeated bonding on the shear bond strength of different orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;121:521-525.
- Bishara SE, VonWald L, Laffoon JF, Warren JJ. The effect of repeated bonding on the shear bond strength of a composite resin orthodontic adhesive. *Angle Orthod*. 2000;70:435-441.
- Buchman DJ. Effects of recycling on metallic direct-bond orthodontic brackets. *Am J Orthod*. 1980;77:654-668.
- Buchwald A. A three-cycle in vivo evaluation of reconditioned direct-bonding brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1989;95:352-354.
- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Melsen B, Scribante A. A 12 month clinical study of bond failures of recycled versus new stainless steel orthodontic brackets. *Eur J Orthod*. 2004;26:449-454.
- Chacko PK, Kodoth J, John J, Kumar K. Recycling stainless steel orthodontic brackets with Er:YAG laser - An environmental scanning electron microscope and shear bond strength study. *J Orthod Sci*. 2013;2:87-94.

- Chetan GB, Muralidhar Reddy Y. Comparative evaluation of four office reconditioning methods for orthodontic stainless steel brackets on shear bond strength—an in vitro study. *Annals Essences Dentistry* 2011;3:6-13.
- Chung CH, Fadem BW, Levitt HL, Mante FK. Effects of two adhesion boosters on the shear bond strength of new and rebonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;118:295-299.
- Coley-Smith A, Rock WP. Bracket recycling—who does what? *Br J Orthod.* 1997;24:172-174.
- Dawjee S, Gheevarghese O. Recycling debonded brackets with an acid bath. *J Clin Orthod.* 2004;38:605-606.
- Dickinson PT, Powers JM. Evaluation of fourteen direct-bonding orthodontic bases. *Am J Orthod.* 1980;78:630-639.
- DiPasquale TJ. Reconditioning and reuse of orthodontic devices-1. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102:187-189.
- DiPasquale TJ. Reconditioning and reuse of orthodontic devices-2. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102:285-287.
- Egan FR, Alexander SA, Cartwright GE. Bond strength of rebonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;109:64-70.
- Eliades T, Zinelis S, Eliades G, Athanasiou AE. Characterization of as-received, retrieved, and recycled stainless steel brackets. *J Orofac Orthop.* 2003;64:80-87.
- Eminkahyagil N, Arman A, Cetinsahin A, Karabulut E. Effect of resin-removal methods on enamel and shear bond strength of rebonded brackets. *Angle Orthod.* 2006;76:314-321.
- Gjerdet NR, Herø H. Metal release from heat-treated orthodontic archwires. *Acta Odontol Scand.* 1987;45:409-414.
- Grabouski JK, Staley RN, Jakobsen JR. The effect of microetching on the bond strength of metal brackets when bonded to previously bonded teeth: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114:452-460.
- Gürsoy S, Acar AG, Seşen C. Comparison of metal release from new and recycled bracket-archwire combinations. *Angle Orthod.* 2005;75:92-94.
- Halwai HK, Kamble RH, Hazarey PV, Gautam V. Evaluation and comparison of the shear bond strength of rebonded orthodontic brackets with air abrasion, flaming, and grinding techniques: an in vitro study. *Orthodontics (Chic.).* 2012;13:e1-9.
- Hixson ME, Brantley WA, Pincsak JJ, Conover JP. Changes in bracket slot tolerance following recycling of direct-bond metallic orthodontic appliances. *Am J Orthod.* 1982;81:447-454.
- Huang TH, Ding SJ, Min Y, Kao CT. Metal ion release from new and recycled stainless steel brackets. *Eur J Orthod.* 2004;26:171-177.
- Huang TH, Yen CC, Kao CT. Comparison of ion release from new and recycled orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;120:68-75.
- Ishida K, Endo T, Shinkai K, Katoh Y. Shear bond strength of rebonded brackets after removal of adhesives with Er,Cr:YSGG laser. *Odontology.* 2011;99:129-134.
- Jones SP, Tan CC, Davies EH. The effects of reconditioning on the slot dimensions and static frictional resistance of stainless steel brackets. *Eur J Orthod.* 2002;24:183-190.
- Khosravanifard B, Nemati-Anaraki S, Nili S, Rakhshan V. Assessing the effects of three resin removal methods and bracket sandblasting on shear bond strength of metallic orthodontic brackets and enamel surface. *Orthod Waves.* 2011;70:27-38.
- Knosel M, Mattysek S, Jung K, Kubein-Meesenburg D, Sadat-Khonsari R, Ziebolz D. Suitability of orthodontic brackets for rebonding and reworking following removal by air pressure pulses and conventional

- debracketing techniques. *Angle Orthod.* 2010;80:461-467.
- Kumar M, Maheshwari A, Lall R, Navit P, Singh R, Navit S. Comparative evaluation of shear bond strength of recycled brackets using different methods: An in vitro study. *J Int Oral Health.* 2014;6:5-11.
- Lewy M. Further comment on recycled brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104:22A-23A.
- Lim YK, Yang WS. An experimental study on the cytotoxicity of recycled brackets. *Kor J Orthod.* 1993; 23:147-163.
- Machen DE. Orthodontic bracket recycling. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104:618-619.
- Masica VE, Chen SR. Shearing strengths of recycled direct bonding brackets. *Am J Orthod.* 1982;32:211-216.
- Matasa CG. Pros and cons of the reuse of direct-bonded appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96: 72-76.
- Montasser MA, Drummond JL, Evans CA. Rebonding of orthodontic brackets. Part I, a laboratory and clinical study. *Angle Orthod.* 2008;78:531-536.
- Montasser MA, Drummond JL, Roth JR, Al-Turki L, Evans CA. Rebonding of orthodontic brackets. Part II, an XPS and SEM study. *Angle Orthod.* 2008;78: 537-544.
- Montero MM, Vicente A, Alfonso-Hernández N, Jiménez-López M, Bravo-González LA. Comparison of shear bond strength of brackets recycled using micro sandblasting and industrial methods. *Angle Orthod.* 2015;85:461-467.
- Mui B, Rossouw PE, Kulkarni GV. Optimization of a procedure for rebonding dislodged orthodontic brackets. *Angle Orthod.* 1999;69:276-281.
- Nicolas AI, Vicente A, Bravo LA. The in vitro effect of repeated bonding on the shear bond strength with different enamel conditioning procedures. *Eur J Orthod.* 2010;32:291-296.
- Oliver RG, Pal AD. Distortion of edgewise orthodontic brackets associated with different methods of debonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96: 65-71.
- Pakshir HR, Zarif Najafi H, Hajipour S. Effect of enamel surface treatment on the bond strength of metallic brackets in rebonding process. *Eur J Orthod.* 2012;34: 773-777.
- Postlethwaite KM. Recycling bands and brackets. *Br J Orthod.* 1992;19:157-163.
- Quick AN, Harris AM, Joseph VP. Office reconditioning of stainless steel orthodontic attachments. *Eur J Orthod.* 2005;27:231-236.
- Reddy YN, Varma DP, Kumar AG, Kumar KV, Shetty SV. Effect of thermal recycling of metal brackets on shear and tensile bond strength. *J Contemp Dent Pract.* 2011; 12:287-294.
- Regan D, van Noort R, O'Keeffe C. The effects of recycling on the tensile bond strength of new and clinically used stainless steel orthodontic brackets: an in vitro study. *Br J Orthod.* 1990;17:137-145.
- Reimann S, Rewari A, Keilig L, Widu F, Jäger A, Bourauel C. Material testing of reconditioned orthodontic brackets. *J Orofac Orthop.* 2012;73:454-466.
- Sfondrini MF, Xheka E, Scribante A, Gandini P, Sfondrini G. Reconditioning of self-ligating brackets. *Angle Orthod.* 2012;82:158-164.
- Sheridan JJ. Orthodontists' fees and bracket recycling. *J Clin Orthod.* 1998;32:601-604.
- Tavares S, Consani S, Nouer D, Magnani M, Pereira Neto J, Romano F. Evaluation in vitro of the shear bond strength of aluminum oxide recycled brackets. *Braz J Oral Sci.* 2003;7:378-381.
- Tudehzaeim MH, Yassaei S, Taherimoghadam S. Comparison of microleakage under rebonded stainless steel orthodontic brackets using two methods of adhesive removal: sandblast and laser. *J Dent (Tehran).* 2015;12:118-124.

- Wendl B, Muchitsch P, Pichelmayer M, Droschl H, Kern W. Comparative bond strength of new and reconditioned brackets and assessment of residual adhesive by light and electron microscopy. *Eur J Orthod*. 2011;33:288-292.
- Wheeler JJ, Ackerman RJ Jr. Bond strength of thermally recycled metal brackets. *Am J Orthod*. 1983;83:181-186.
- Wright WL, Powers JM. In vitro tensile bond strength of reconditioned brackets. *Am J Orthod*. 1985;87:247-252.
- Yassaei S, Aghili H, KhanPayeh E, Goldani Moghadam M. Comparison of shear bond strength of rebonded brackets with four methods of adhesive removal. *Lasers Med Sci*. 2014;29:1563-1568.
- Zhang QF, Yao H, Li ZY, Jin L, Wang HM. Optimal enamel conditioning strategy for rebonding orthodontic brackets: a laboratory study. *Int J Clin Exp Med*. 2014;7:2705-2711.