

세라믹 브라켓 부착 시 레이저를 이용한 포세린 표면처리 효과

안경미^a · 손동석^b

본 연구는 포세린 표면에 CO₂ 레이저를 조사하여 세라믹 브라켓을 부착 후 전단결합강도를 측정하고, 산부식처리 및 샌드블라스팅 등의 일반적인 방법을 시행하여 그 결과를 비교 분석하여 레이저 표면처리의 효과를 연구하고자 시행되었다. 90개의 포세린(8 × 8 × 4 mm) 시편을 제작하여 각각 10개씩 9개군으로 나누었다. 대조군(C)으로 아무런 표면처리를 하지 않은 글레이즈 표면을 사용하였으며, 실험군은 인산 처리군(OFA), 인산과 silane 처리군(OFA + S), 샌드블라스팅 처리군(SB), 샌드블라스팅과 silane 처리군(SB + S), 레이저 처리군(L), 레이저와 silane 처리군(L + S), 불산 처리군(HFA), 불산과 silane 처리군(HFA + S)으로 분류하였다. 만능시험기를 이용하여 전단결합강도를 측정하고 그 파절양상을 비교 분석한 결과 불산과 silane을 동시에 처리한 군에서 가장 높은 값(13.92 ± 1.92 MPa)을 보였으며, 측정값은 SB + S (10.16 ± 1.27 MPa), HFA (10.09 ± 1.07 MPa), L + S (8.25 ± 1.24 MPa), L (7.86 ± 0.96 MPa), OFA + S (7.22 ± 1.09 MPa), SB (3.41 ± 0.37 MPa), OFA (2.81 ± 0.37 MPa), 대조군(2.46 ± 1.36 MPa) 순이었다. 브라켓 부착 시 치과용 레이저를 이용한 포세린의 표면처리 결과 전단결합강도의 값은 임상적으로 받아들여질 만한 수치를 보였으며 레이저와 silane을 동시에 처리한 군과는 통계적으로 유의할 만한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 이상의 연구결과는 포세린 표면에 세라믹 브라켓 부착 시 2-watt의 CO₂ 레이저를 사용하여 전처리를 하는 방법은 시간절약의 관점에서 임상적으로 표면 전처리의 적절한 치료 대안이 될 수 있음을 보여주었다. (대치교정지 2008;38(4):275-282)

주요 단어: CO₂ 레이저, 포세린, 표면처리, 전단결합강도

서론

최근 들어 성인 교정치료의 수요가 점차적으로 증가하고 있으며, 교정기간 동안의 심미적인 요구 역시 증가하면서 금속 브라켓의 단점인 심미성을 해결하기 위한 세라믹 브라켓이 소개되어 널리 사용되고 있다.^{1,4} 많은 교정의들이 세라믹 브라켓을 사용하며 그 효율성 또한 입증되고 있다.

하지만 상당수의 교정 환자들은 고정성 가공 의치 등의 보철물을 가지고 있어, 보편적인 산부식 방법으로 포세린 표면처리 후 교정용 브라켓을 부착할

때 상당히 낮은 결합 강도를 보여 임상에서 사용하기에는 문제점이 있다고 보고되었다. 따라서 이를 보완하고자 여러 방법들이 시도되어 왔다.¹⁻⁶ 포세린 표면에 교정용 브라켓을 부착하는 것은 글레이즈 표면과 접착 레진의 물리적 성질 때문에 용이하지 않다. 그래서 다이아몬드 버나 aluminum oxide 입자를 이용한 미세부식을 통해서 글레이즈 표면을 거칠게 형성하거나 silane이라 불리는 coupling agent를 사용하여 결합력을 증가시키는 방법, 또는 산부식(인산 혹은 불산)을 이용하여 표면처리를 하는 등의 다양한 표면처리방법이 제시되고 있다.^{1,5-10}

Wolf 등¹¹은 브라켓 부착 시 silane으로 표면처리를 하는 경우 높은 결합강도를 보이나, 브라켓 제거 시 응집파절의 위험성이 존재한다고 보고하였다. 이전의 연구들에서 인산을 이용한 산부식이나 샌드블라스팅은 임상적으로 받아들여질 만한 접착강도를 제공하지 못하나, 불산을 이용한 산부식 처리는 임상적으로 적용 가능한 수치의 접착강도를 보여주었음을 보고하였다.^{5,6} 한편 Saraç 등¹²은 aluminous

^a전임강사, 대구가톨릭대학교병원 치과교정과.

^b교수, 대구가톨릭대학교병원 구강악안면외과.

교신저자: 안경미.

대구시 남구 대명 4동 3056-6번지 대구가톨릭대학교병원 치과교정과.

053-650 4291; e mail, ajh0121@cu.ac.kr.

원고접수일: 2007년 11월 12일 / 원고최종수정일: 2008년 5월 22일 /

원고채택일: 2008년 5월 25일.

*본 논문은 2007년 대구가톨릭대학교 학술연구비에 의하여 수행되었음.

oxide를 이용한 샌드블라스팅이 불산보다 더 효과적임을 보여주었다. Barbosa 등⁴은 교정용 산부식제로 불산을 환자 구강 내에 사용 시 산에 의한 화상의 위험성이 있음을 보고하였다.

Silane coupling agent의 사용에 관한 여러 연구에서는 이 재료를 사용하여 포세린 표면과 브라켓 간에 접착강도의 증가를 보여주었다.¹⁴ Kocadereli 등⁶은 포세린 표면에 세라믹 브라켓을 부착 시 silane의 사용으로 인장 결합강도가 현저히 증가했음을 보고하였다.

1960년대에 Maiman¹³에 의해 루비레이저가 발명된 이후로 치과 영역에서 레이저의 급속한 발전이 이루어지고 있다. CO₂와 Nd:YAG laser는 치과 영역에서 가장 보편적으로 사용되는 종류의 레이저이며,^{14,15} 교정 영역에서는 브라켓 접착을 위한 에나멜의 표면처리, 접착 레진의 광중합, 교정용 브라켓 특히, 세라믹 브라켓의 제거 등 연구가 다양하게 시도되고 있다.¹⁶⁻¹⁸

CO₂ 레이저는 방출 파장이 포세린에 거의 흡수되기 때문에 포세린 표면처리에 가장 적합하다. 이는 Focused CO₂ 레이저가 포세린 표면에 전도되는 과정 중에 조개 모양의 표면이 형성되며 이것이 복합 레진과 포세린 사이의 기계적 유지력을 부여해 주기 때문이다.²⁰

그러나 단지 브라켓 부착 시 레이저를 이용한 포세린 표면처리에 관한 연구는 극소수에 불과하다.¹⁹ 이번 연구에서는 포세린 표면에 세라믹 브라켓 접착 시 레이저 조사를 통해 포세린 표면처리를 시행하는 것과 그 외의 다른 보편적인 방법과 비교 시 어떤 차이가 있는지 알아보고자 하였다.

연구방법

연구재료

본 연구의 연구재료로 90개의 글레이즈 포세린 표본(Vita VMK feldspathic porcelain, Vita Zahnfabrik H. Rauter, Bad Säckingen, Germany)을 8 × 8 × 4 mm의 직육면체 모양으로 제작하여 사용하였다. 교정용 브라켓은 표면적이 10.8 mm²의 상악 우측 중절치 세라믹 브라켓(Clarify, 3M Unitek, Monrovia, CA, USA)을 사용하였으며 Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 사용하여 브라켓을 접착 후 40초간 Optilux 402 (KERR, Orange, CA, USA)를 사용하여 중합하였다. 접착된 포세린 표본은 37°C의

증류수에서 24시간 저장하였다. 레이저에 의한 표면처리군은 치과용 CO₂ 레이저(Nova pulse LX-20SP, Luxar, Bothell, WA, USA)를 사용하였다.

연구방법

시편제작

90개의 포세린 표본을 제작하여 무작위로 80개의 실험군과 10개의 대조군으로 분류하였다. 실험군은 표본 10개씩 8군으로 세분화하였고 편평한 포세린의 글레이즈 표면을 위로 향하게 노출하여 자가중합 레진을 포맷하여 시편을 제작하였다. 교정용 브라켓은 표면적이 10.8 mm²의 상악 우측 중절치 브라켓(Clarify, 3M Unitek, Monrovia, CA, USA)을 사용하였다. 브라켓을 부착하기 전에 각각의 표본에 결함이 있는지 검사하고 치면 세마제로 세마 및 세척 후 표면처리 전에 건조하였다. 실험군은 포세린 표면의 글레이즈 층을 다이아몬드 버(SHOFU, Kyoto, Japan)를 사용하여 제거하였다. 대조군은 표면은 글레이즈 상태를 그대로 유지하였다.

전자현미경 분석

포세린 표면에 CO₂ 레이저 조사에 대한 효과를 알아보고자 superpulse mode (15 msec, 2 Hz)로 변환 후, 각각 10 W, 5 W, 3 W, 2 W로 설정하여 20초간 레이저 조사 후 주사 전자 현미경으로(SEM)으로 관찰하였다.

표본들의 주사 전자 현미경 분석 결과 10 W로 조사된 포세린 표면은 높은 파워 설정에 따른 열효과 결과로 매끄러운 글레이즈 표면을 보여주었으나, 5 W, 3 W, 2 W의 경우 분화구 양상의 불규칙한 표면을 나타내었다 (Fig 1). 이는 기계적 유지력을 제공하지만, 2 W를 제외한 나머지는 포세린 표면에 균열을 형성하였다. 포세린 표면의 균열은 포세린 파절 저항을 감소시킬 수 있다. 결론적으로 10 W, 5 W 그리고 3 W의 파워 조건은 포세린 표면처리에 적합하지 않았으며, 따라서 2 W 파워 값을 설정하여 실험하였다.

포세린 표본의 표면처리

대조군은 아무런 표면처리를 하지 않고 글레이즈 층을 그대로 보존하여 브라켓을 부착하였다. 실험군은 표면 처리 과정의 종류에 따라 다음과 같이 세부군으로 나누고 표면처리과정을 거친 후 광중합형 접착 레진을 사용하여 제조자의 지시에 따라 브라

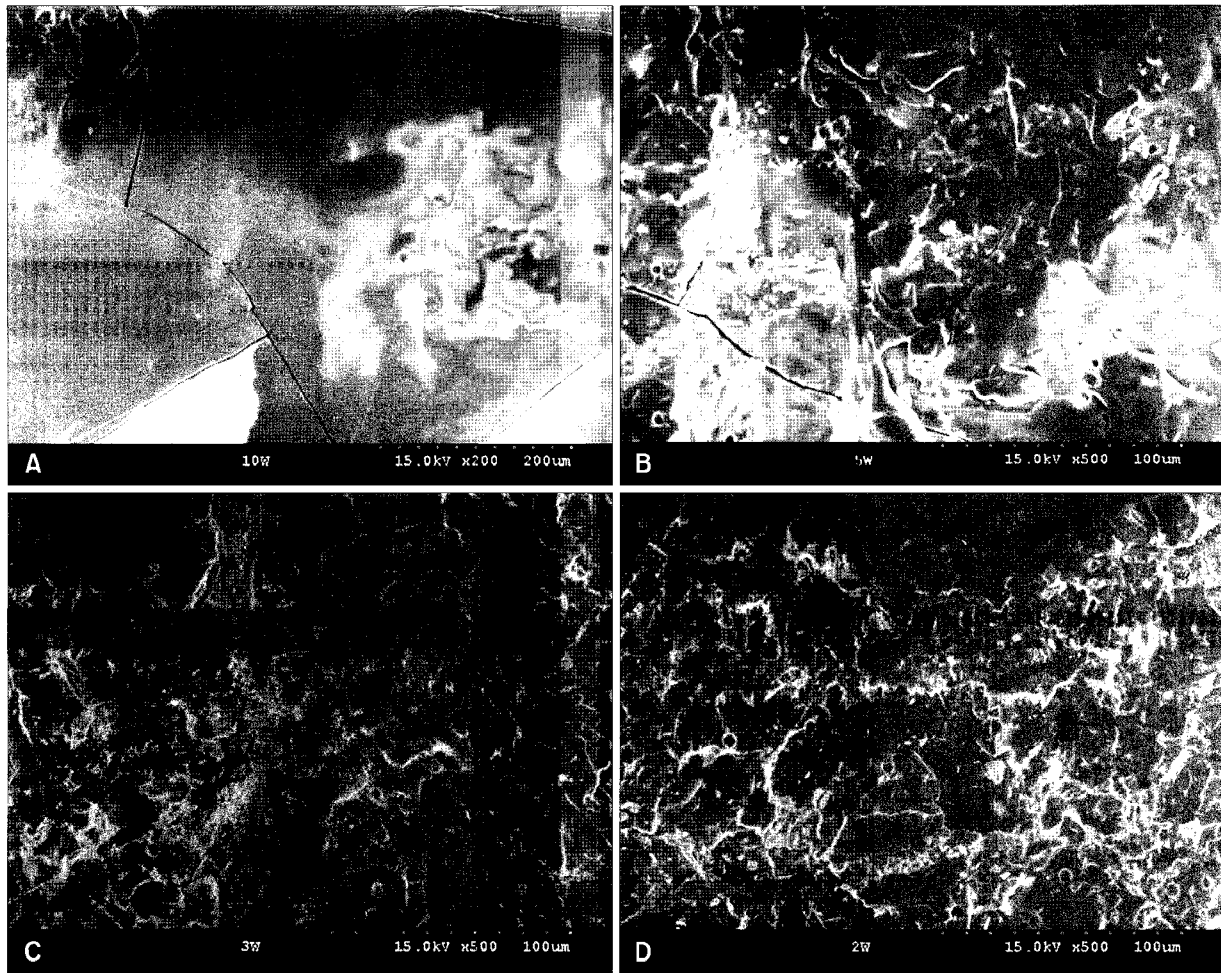


Fig 1. SEM photographs of laser-treated porcelain surfaces. A, 10 W (X 200); B, 5 W (X 500); C, 3 W (X 500); D, 2 W (X 500).

켓을 부착하였으며 아래와 같은 군으로 나누었다.

인산 처리군(OFA): 37% 인산을 1분간 적용하고 20초간 증류수로 세척 후 에어 시린지로 건조하였다.

인산 처리 및 Silane 처리군(OFA + S): 인산으로 표면처리 후 silane coupling agent (Ultradent porcelain silane, Ultradent Products, South Jordan, UT, USA)를 사용하여 순차적으로 표면처리를 시행하였다.

불산 처리군(HFA): 9.6% 불산겔을 1분간 적용 후 증류수로 20초간 세척을 하고 에어 시린지로 건조하였다.

불산 처리 및 Silane 처리군(HFA + S): 불산으로 표면처리 후 silane을 도포하였다.

샌드블라스팅군(SB): 5 mm 거리에서 5초간 80 psi에서 50-micron aluminum oxide (Micro-etcher II, Danville Engineering, San Ramon, CA, USA)로 샌드

블라스팅하였다. 이후, 표본에 남은 이물질을 제거하기 위해 압축 공기를 사용하였다.

샌드블라스팅 및 Silane 처리군(SB + S): 샌드블라스팅 후 silane을 적용하였다.

레이저 처리군(L): 2-watt power로 설정된 super-pulse mode의 CO₂ 레이저(15 msec, 2 Hz)가 표본에 20초간 조사되었다.

레이저 처리 및 Silane 처리군(L + S): 레이저 표면처리 후 silane을 사용하여 순차적 표면처리를 시행하였다.

전단결합강도 측정 및 파절양상 관찰

전단결합강도의 측정을 위하여 전단응력 시험용 지그에 힘 적용 방향과 평행하게 포세린과 브라켓 표면을 위치시키고 시편을 고정시켰다. 포세린-브라켓의 계면에 만능 시험기(Instron 6002, Instron,

High Wycombe, UK)를 사용하여 브라켓 탈락이 발생할 때까지 분당 1 mm의 cross-head speed로 포세린 표면에 평행하게 브라켓 위에 하중을 가하여 접착이 파절되는 순간의 최고하중을 측정하였다. 전단결합강도는 브라켓 표면적당 최대부하로 나누어 MPa로 계산되었다 (Table 1).

통계처리

SPSS 14.0 프로그램(SPSS, Chicago, IL, USA)을 사용하여 각 실험군에서 전단결합강도의 평균과 표

Table 1. Measured values of shear bond strength of each group

Groups	No	Mean ± SD (Mpa)
OFA	10	2.81 ± 0.37
OFA + S	10	7.22 ± 1.09
SB	10	3.41 ± 0.37
SB + S	10	10.16 ± 1.27
HFA	10	10.09 ± 1.07
HFA + S	10	13.92 ± 1.94
L	10	7.86 ± 0.96
L + S	10	8.25 ± 1.24
C	10	2.46 ± 1.36

OFA, orthophosphoric acid; SB, sandblasting; HFA, hydrofluoric acid; L, laser etch; C, control group (glazed surface); S, silane; SD, standard deviation.

준 편차를 산출하였으며, 1-way ANOVA 및 그룹간의 상호관계를 분석하고자 Tukey test를 사용하였고 유의수준 5%에서 사후 검정하였다.

연구성적

전단결합강도

총 1개의 대조군과 8개의 실험군의 전단결합강도를 비교하기 위해 전체적으로 ANOVA tests ($p < 0.05$)를 사용하였다. 각각 표면 처리된 포세린 표면에 교정용 브라켓이 접착될 때 형성된 평균 전단결합강도를 측정하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

평균 전단결합강도는 아무런 표면처리를 시행하지 않은 대조군의 경우 2.46 ± 1.36 MPa, 8개의 실험군에서는 불산 처리와 silane을 동시에 시행한 군 (HFA + S)에서 최고 전단강도(13.92 ± 1.94 MPa)를 보여주었고, SB + S (10.16 ± 1.27 MPa), HFA (10.09 ± 1.07 MPa), L + S (8.25 ± 1.24 MPa), L (7.86 ± 0.96 MPa), OFA + S (7.22 ± 1.09 MPa), SB (3.41 ± 0.37 MPa), OFA (2.81 ± 0.37 MPa), 대조군(2.46 ± 1.36 MPa) 순으로 나타났다. 레이저(L)군은 인산(OFA)군 및 샌드블라스팅(SB)군에 비해 현저히 높은 값을 보여주었고, 통계적으로 유의차를 보였다 ($p < 0.001$). Silane을 사용하여 순차적으로 표면처리한 군은 레이저를 이용하여 표면처리를 한 군을 제외하고 silane을 사용하지 않은 군에 비해 높은 전단결합강도를 보여주었으며, 이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.001$).

Table 2. Bond failure patterns (unit: case)

Groups	Adhesive failure	Mixed failure	Cohesive failure	Total
OFA	8	2	-	10
OFA + S	-	3	7	10
SB	8	2	-	10
SB + S	-	1	9	10
HFA	8	2	-	10
HFA + S	-	-	10	10
L	8	2	-	10
L + S	7	3	-	10
C	10	-	-	10

OFA, orthophosphoric acid; SB, sandblasting; HFA, hydrofluoric acid; L, laser etch; C, control group (glazed surface); S, silane.

접착파절패턴

접착파절패턴을 살펴본 결과 silane을 처리한 군은 대부분 응집파절(cohesive failure)양상을 나타내었으나, silane을 사용하지 않은 군에서는 계면파절(adhesive failure)양상을 보여주었다. 레이저와 silane을 함께 사용한 군(L + S)에서 10예 중 7예의 계면파절과 3예에서의 복합파절을, 단지 레이저만 처리한 군(L)은 10예 중 8예에서의 계면파절과 2예에서의 복합파절(mixed failure)양상을 보여주었다. 대조군은 모두 계면파절양상을 보였다 (Table 2).

고찰

포세린 표면에 브라켓을 접착하는 것은 항상 관심의 대상이 되어왔다. 최근 성인 교정치료 환자들이 증가하면서 포세린 수복물 표면에 브라켓을 부착하는 경우가 빈번한 것 또한 사실이다. 교정치료 시 브라켓이 탈락되면 교정력을 효과적으로 전달할 수 없으며 원치 않는 방향으로 치아 이동이 발생하여 치료기간이 길어질 수 있다. 또한 빈번한 브라켓의 재부착으로 포세린 표면에 손상 또한 야기될 수 있다. 여러 선학들의 연구에서 에나멜 표면에 교정용 브라켓을 접착하는 것에 관한 많은 보고가 있었다. 그러나 성인 교정 환자의 수요가 늘어나면서 교정의사들의 에나멜 외의 표면에 브라켓을 접착하는 것에 관한 더 많은 지식이 필요하게 되었다.

임상적으로 교정력과 저작력에 건널 수 있는 포세린 표면과 브라켓 간의 접착 강도를 증가시키기 위한 다양한 방법들이 시도되어왔다.¹⁶ 몇몇 학자들은 포세린 표면에 글레이즈 층을 제거하는 것이 표면적을 증가시켜서 화학적, 기계적 결합력을 증가시킬 수 있으며 포세린과 복합 레진 사이의 결합강도를 증가시키는 효과적인 방법임을 주장하였다.^{1,2,24,25} 그러나 또 다른 연구에서 글레이즈는 포세린을 강화시키는 데 효과적이어서 균열 방지를 줄일 수 있는 등의 여러 가지 안전성의 이유로 삭제에 의한 글레이즈 층을 제거하는 것은 추천되지 않는다고 하였다.^{26,28} 글레이즈층을 제거할 때에는 포세린의 균열을 야기할 수 있는 그린스톤이 아닌 샌드블라스트 같은 안전한 방법으로 제거되어야 한다고 하였다.²⁷

이전의 많은 논문에서 레이저 조사 시 에나멜 표

면의 효과에 관해서는 많이 언급되어 왔으나,¹⁶⁻¹⁸ 포세린 표면에 대한 레이저 조사의 효과에 관해서는 거의 알려진 바가 없다. Akova 등⁵은 브라켓 부착 전 레이저를 이용한 포세린 표면처리를 시행하여 임상적으로 유용할 만한 값을 얻었으며, 이 술식을 브라켓 접착 시 포세린 표면 전처리의 적절한 대안으로 추천하였다. 이는 본 연구와 일치하는 결과이었다.

임상적으로 수용할 만한 교정용 브라켓의 접착강도가 6 MPa 이상이지만,²⁹ 높은 결합강도가 임상적으로 항상 성공적인 것은 아니다. 왜냐하면 지나치게 높은 접착강도는 브라켓 제거 시 세라믹 브라켓의 파절, 포세린 표면의 파절 및 균열 등을 초래할 수 있기 때문이다. Thurmond 등³⁰은 포세린과 접착 레진 사이의 결합 강도가 13 MPa 이상이 되면 응집파절양상을 나타냄을 보고하였다. 따라서 브라켓을 제거하는 동안 포세린 파절의 가능성을 감소시키는 계면파절이 선호된다. 본 연구결과, 불산과 silane을 동시에 처리한 군(HFA + S)에서는 100%의 응집파절양상을 나타내었다. 레이저와 silane을 동시에 처리한 군(L + S)을 제외한 모든 silane군에서 응집파절양상을 보였으며, 레이저 처리군(L, L + S)은 100%로 계면파절양상을 나타내었다. 레이저와 silane을 동시에 처리한 군(L + S)에서는 silane의 화학적 활성반응이 일어나지 않는다. 왜냐하면 silanol 형성을 위해서는 포세린 표면에 흡수되어 결합 에너지와 젖음성을 감소시키는 알칼리성 수분층을 산성화시킬 수 있는 산이 필요하나 레이저 에칭의 경우 산이 배제되기 때문이다.³²

샌드블라스팅, 인산으로 표면처리 시, 다른 표면처리군에 비해 현저히 낮은 값을 나타내었으나(3.41 ± 0.37 MPa, 2.81 ± 0.37 MPa) silane 처리 후에는 급격히 그 값이 증가하였다(10.16 ± 1.27 MPa, 7.22 ± 1.09 MPa). 또한 불산으로 산부식 처리한 군(HFA)은 silane 처리하지 않은 군 중 가장 높은 값을 보여주었으며, 이것은 이전 연구 및 본 실험과 일치하는 결과였다.^{4,6,31} 불산과 silane을 동시에 시행한 군(HFA + S)은 모든 실험군 중 가장 큰 값을 보여주었으며, 앞서 언급하였듯이 Barbosa 등⁴은 지나친 결합 강도는 브라켓 제거 시 브라켓의 파절 및 포세린 파절 등의 부작용을 일으킬 수 있으므로 추천되지 않는다고 보고하였다.

본 연구에서는 L + S군을 제외한 HFA군과 silane군은 대부분 응집파절을 보였으며, 대조군 및 다른 실험군은 상당수가 계면파절을 보였다.

Superpulse mode의 2watt-CO₂ 레이저로 표면 처리한 그룹은 브라켓 접착을 위한 적절한 강도를 얻을 수 있었고(7.86 ± 0.96 MPa), 역시 샌드블라스팅(SB), 인산(OFA)에 의한 산부식 처리 및 대조군에 비해 더 큰 값을 나타내었으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.001$). 좀 더 큰 결합강도를 위해 레이저와 silane을 동시에 사용하는 방법이 추천될 수 있으나,⁵ 다른 군에 비해 silane 처리 후 그 값이 작게 증가하였고, 통계적으로 유의할 만한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).

Silane은 치과용 포세린과 복합 레진 사이에 화학적 연결 고리를 제공하고 분자의 유기질 부분은 포세린 표면 젖음성을 증가시켜 더 강한 미세기계적 결합을 제공한다. Kocadereli 등⁶은 세라믹 브라켓과 포세린 표면 사이에 임상적으로 사용할 수 있는 결합강도를 얻기 위해 silane의 사용을 추천함을 보고하였다.

불산에 의한 산부식은 포세린 표면의 crystalline을 용해시키고 glossy phase를 형성하여, 이것이 표면적을 증가시키므로 포세린과 레진 사이의 결합력을 증가시켜주며 불산은 silane과 반응하여 화학적 활성형태인 silanol을 형성, 포세린 표면과의 결합력을 증가시킨다.^{9,31} 따라서 포세린 표면에 불산 처리 및 silane을 도포 후에 측정된 접착강도는 다른 어떤 군보다 현저히 증가하였으며 통계적으로 유의차를 보였다 ($p < 0.001$).

레이저가 치아표면에 조사될 때 가장 고려되어야 할 문제점은 온도 상승으로 인한 치수 손상인데, 생리적으로 수용할 만한 치수 한계를 넘지 않는다면 치수 손상은 일어나지 않을 것이다.^{5,21,22} Zach와 Cohen²¹은 외부 열이 치아에 전달되어 치수 내 온도가 1.8°C 증가했을 때 어떤 치수 손상도 보이지 않았음을 명시하였고, Akova 등⁵의 연구에서 2-watt superpulse CO₂ 레이저를 20초간 포세린 표면에 조사했을 때 치수내강 온도가 0.2°C 상승하였고 이는 치수 손상이 일어날 수 있는 온도에 미치지 못하는 증가임을 보고하였다. 따라서 임상적으로 교정용 접착을 위해 레이저 사용 시, 치수에 아무런 손상이 없는 것으로 생각한다.

만약 레이저가 미래에 가격적인 문제가 절충되어 해결된다면 시간 절약 관점에서 브라켓 접착 시, 임상가들의 치료 선택이 될 수 있을 것이다. 이에 관해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요하리라 생각한다.

결론

포세린 표본을 포맷하여 만든 90개의 시편에 다양한 표면처리를 시행하여 세라믹 브라켓을 부착하였다. 대조군의 경우 아무런 표면처리를 하지 않고 글레이즈 상태를 유지하여 브라켓을 부착하였고 실험군은 8종류의 다른 표면 처리 후 브라켓을 부착하였다. 만능 시험기를 이용하여 전단결합강도를 측정하고 파절양상을 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 측정된 전단결합강도는 HFA + S (13.92 ± 1.94 MPa), SB + S (10.16 ± 1.27 MPa), HFA (10.09 ± 1.07 MPa), L + S (8.25 ± 1.24 MPa), L (7.86 ± 0.96 MPa), OFA + S (7.22 ± 1.09 MPa), SB (3.41 ± 0.37 MPa), OFA (2.81 ± 0.37 MPa), C (2.46 ± 1.36 MPa) 순이었다.
2. Silane을 추가로 처리한 모든 군에서 전보다 인장 결합강도가 증가하였다.
3. 레이저군은 인산 처리군 및 샌드블라스팅군에 비해 현저히 높은 전단결합강도를 보여주었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였고 ($p < 0.001$), 레이저와 silane을 함께 처리한 군보다는 낮은 값을 보였으나 통계적인 유의한 차이는 없었다 ($p < 0.05$).
4. 접착파절은 대조군은 레진과 포세린 표면에서 일어났으며 silane을 처리한 군은 대부분 응집파절양상을 나타내었고, 그 반면에 silane을 사용하지 않은 군에서는 계면파절양상을 보여주었다. 레이저군과 레이저와 silane을 함께 처리한 군은 대부분 계면파절을 보였고, 소수 복합파절양상을 나타내었다.

이상의 결과로 교정용 브라켓의 접착 시, 레이저를 이용한 포세린 표면처리는 교정용 브라켓과 포세린 표면 간의 적절한 결합강도를 제공하고, silane 적용 시 결합강도는 증가하였음을 알 수 있었다. 따라서 포세린 표면에 브라켓의 결합강도를 증가시키기 위해서 레이저 표면처리는 사용 가능한 치료 대안이 될 것이라 생각하며 차후 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Newman SM, Dressler KB, Grenadier MR. Direct bonding of orthodontic brackets to esthetic restorative materials using a silane. *Am J Orthod* 1984;86:503-6.
2. Smith GA, McInnes-Ledoux P, Ledoux WR, Weinberg R. Orthodontic bonding to porcelain-bond strength and refinishing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:245-52.
3. Merrill SW, Oesterle LJ, Hermes CB. Ceramic bracket bonding: a comparison of shear, tensile, and torsional bond strengths of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:290-7.
4. Barbosa VL, Almeida MA, Chevitaress O, Keith O. Direct bonding to porcelain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:159-64.
5. Akova T, Yoldas O, Toroglu MS, Uysal H. Porcelain surface treatment by laser for bracket-porcelain bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:630-7.
6. Kocadereli I, Canay S, Akça K. Tensile bond strength of ceramic orthodontic brackets bonded to porcelain surfaces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:617-20.
7. Highton RM, Caputo AA, Matyas J. Effectiveness of porcelain repair systems. *J Prosthet Dent* 1979;42:292-4.
8. Nowlin TP, Barghi N, Norling BK. Evaluation of the bonding of three porcelain repair systems. *J Prosthet Dent* 1981;46:516-8.
9. Shahverdi S, Canay S, Sahin E, Bilge A. Effects of different surface treatment methods on the bond strength of composite resin to porcelain. *J Oral Rehabil* 1998;25:699-705.
10. Canay S, Kocadereli I, Akça E. The effect of enamel air abrasion on the retention of bonded metallic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:15-9.
11. Wolf DM, Powers JM, O'Keefe KL. Bond strength of composite to porcelain treated with new porcelain repair agents. *Dent Mater* 1992;8:158-61.
12. Saraç YS, Elekdag-Turk S, Saraç D, Turk T. Surface conditioning methods and polishing techniques effect on surface roughness of a feldspar ceramic. *Angle Orthod* 2007;77:723-8.
13. Maiman TH. Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 1960;187:493-4.
14. Strauss RA. Lasers in oral and maxillofacial surgery. *Dent Clin North Am* 2000;44:851-73.
15. Convissar RA, Goldstein EE. A combined carbon dioxide/erbium laser for soft and hard tissue procedures. *Dent Today* 2001;20:66-71.
16. Ariyaratnam MT, Wilson MA, Mackie IC, Blinkhorn AS. A comparison of surface roughness and composite/enamel bond strength of human enamel following the application of the Nd:YAG laser and etching with phosphoric acid. *Dent Mater* 1997;13:51-5.
17. von Fraunhofer JA, Allen DJ, Orbell GM. Laser etching of enamel for direct bonding. *Angle Orthod* 1993;63:73-6.
18. Walsh LJ, Abood D, Brockhurst PJ. Bonding of resin composite to carbon dioxide laser-modified human enamel. *Dent Mater* 1994;10:162-6.
19. Beyer E, Behter K, Petschke U. Schweissen mit CO₂-Lasern. *Laser u. Optoelektronik* 1986. p. 1835-46. In: Misrendino LJ, Pick RM, editors. *Lasers in dentistry*. Chicago: Quintessence; 1989. p. 231-45.
20. Dobberstein H, Schwarz A, Zuhrt R, Tani Y. Laser processing of dental materials. *Lasers in dentistry*. Elsevier Science; 1989. p. 231-45.
21. Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;19:515-30.
22. Rueggeberg FA, Lockwood P. Thermal debracketing of orthodontic resins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:56-65.
23. Jost-Brinkmann PG, Stein H, Miethke RR, Nakata M. Histologic investigation of the human pulp after thermodebonding of metal and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;102:410-7.
24. Ghassemi-Tary B. Direct bonding to porcelain: an in vitro study. *Am J Orthod* 1979;76:80-3.
25. Videen BL. Orthodontic bonding to porcelain [thesis]. Minneapolis: University of Minnesota; 1984.
26. Phillips RW. *Skinner's science of dental materials*. 8th ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1982.
27. Kao EC, Johnston WM. Fracture incidence on debonding of orthodontic brackets from porcelain veneer laminates. *J Prosthet Dent* 1991;66:631-7.
28. Zelos L, Bevis RR, Keenan KM. Evaluation of the ceramic/ceramic interface. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:10-21.
29. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod* 1975;2:171-8.
30. Thurmond JW, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *J Prosthet Dent* 1994;72:355-9.
31. Zachrisson BU, Buyukyilmaz T. Recent advances in bonding to gold, amalgam and porcelain. *J Clin Orthod* 1993;27:661-75.
32. Major PW, Koehler JR, Manning KE. 24-hour shear bond strength of metal orthodontic brackets bonded to porcelain using various adhesion promoters. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:322-9.

The effect of using laser for ceramic bracket bonding of porcelain surfaces

Kyung-Mi An, DDS, MSD^a, Dong-Seok Sohn, DDS, MSD, PhD^b

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of using laser for ceramic bracket bonding of porcelain surfaces and to compare it with conventional treatment of porcelain surfaces. **Methods:** Ninety feldspathic porcelain specimens were divided into 9 groups of 10, with each group having different surface treatments performed. Surface treatment groups were orthophosphoric acid, orthophosphoric acid with silane, hydrofluoric acid, hydrofluoric acid with silane, sandblasted, sandblasted with silane, laser etched, laser etched with silane, and glazed surface served as a control group. In the laser etched groups, the specimens were irradiated with 2-watt superpulse carbon dioxide (CO₂) laser for 20 seconds. Ceramic brackets were bonded with light-cure composite resin and all specimens were stored in water at 37°C for 24 hours. Shear bond strength was determined in megapascals (MPa) by shear test at 1 mm/minute crosshead speed and the failure pattern was assessed. For statistical analysis, one-way ANOVA and tukey test were used. **Results:** Statistical analysis showed significant differences between the groups. The HFA + S group showed the highest mean shear bond strength (13.92 ± 1.94 MPa). This was followed by SB + S (10.16 ± 1.27 MPa), HFA (10.09 ± 1.07 MPa), L + S (8.25 ± 1.24 MPa), L (7.86 ± 0.96 MPa), OFS + S (7.22 ± 1.09 MPa), SB (3.41 ± 0.37 MPa), OFA (2.81 ± 0.37 MPa), G (2.46 ± 1.36 MPa). Bond failure patterns of HFA and silane groups, except L + S, were cohesive modes in porcelain while adhesive failure was observed in the control group and the rest of the groups. **Conclusions :** A 2-watt superpulse CO₂ laser etching of porcelain surfaces can provide a satisfactory result for porcelain surface treatment for ceramic bracket bonding. Laser irradiation may be an alternative conditioning method for the treatment of porcelain surfaces. (*Korean J Orthod* 2008;38(4):275-282)

Key words: CO₂ laser, Porcelain, Surface treatment, Shear bond strength

^aFull-time lecturer, Department of Orthodontics, Daegu Catholic University Medical Center

^bProfessor, Department of Dentistry, Daegu Catholic University Medical Center

Corresponding author: *Kyung-Mi An*.

Department of Orthodontics, Daegu Catholic University Medical Center, 3056-6, Daemyeong 4-dong, Nam-gu, Daegu 705-718, Korea.

+82 53 650 4291; e-mail, *ajh0121@cu.ac.kr*.

Received November 12, 2007; Last Revision May 22, 2008; Accepted May 25, 2008.