



Journal of Korean Society of Dental Hygiene

Original Article

복합레진 인레이의 표면처리방법에 따른 표면특성 비교

이명진¹ · 최유리¹ · 강민경²

연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소 · ¹한림성심대학교 치위생과 · ²한서대학교 치위생학과

Comparison of surface characterization according to surface treatment of composite resin inlay

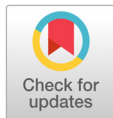
Myung-Jin Lee¹ · Yu-Ri Choi¹ · Min-Kyung Kang²

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, College of Dentistry, Yonsei University

¹Department of Dental Hygiene, Hallym Polytechnic University

²Department of Dental Hygiene, Hanseo University

Corresponding Author: Min-Kyung Kang, Department of Dental Hygiene, Hanseo University, 6, Hanseo 1-ro, Haemi-myeon, Seosan 31962, Korea, Tel:+82-41-660-1575, Fax:+82-41-660-1579, E-mail:kmk0709@hanseo.ac.kr



Received: January 21, 2019

Revised: March 10, 2019

Accepted: March 14, 2019

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study was to investigate the characterization of composite resin inlay surface with silane and non-thermal atmospheric pressure plasma treatment. **Methods:** Composite resin inlay was used as a specimen, which was treated by sandblasting + silane and sandblasting + plasma. The untreated specimens were assigned to the control group. Specimens were analyzed for surface roughness, color change, and chemical composition. Statistical analyses were performed using one-way ANOVA test ($p < 0.05$). **Results:** The present findings showed that the roughness and color changes of the plasma-treated surface were significantly lower than those of the silane-treated surface. In addition, a change in the chemical composition was observed on the plasma-treated surface. **Conclusions:** Based on the results, non-thermal atmospheric pressure plasma could be a potential tool for the cementation of composite resin inlay.

Key Words: Inlay resin, Plasma gases, Silanes, Surface properties

색인: 레진 인레이, 실란, 표면 특성, 플라즈마 가스

서론

복합레진은 환자들의 심미적인 요구가 증가함에 따라 치아 수복재 재료로서 널리 사용되고 있다[1]. 환자의 구강내 직접 충전하는 복합레진은 중합수축, 파절, 높은 마모율 등의 한계점을 가지고 있으며, 이로 인해 발생하는 문제점들로 구치부 수복에는 사용이 제한되어왔다[2,3]. 이러한 직접충전 복합레진의 문제점을 극복하기 위한 방법 중 하나가 복합레진을 이용한 간접 수복법이며, 간접법으로 제작된 복합레진 인레이는 구강 외 환경에서 인레이 형태로 제작하여 와동 내에 접착시키는 방법으로 중합수축에 의한 변연 누출 감소, 인장 강도의 증가 및 마모 저항성 증가 등과 같은 많은 장점을 가지고 있어 임상적용이 점차 증가되는 추세이다[4].

복합레진 인레이는 합착을 위하여 레진 시멘트와 같은 부가적인 시멘트가 필요하며, 시멘트와의 합착력이 성공적인 수복을 위한 중요한 요소가 될 수 있다[5]. 복합레진 인레이는 레진 시멘트와 화학적 결합을 하는 이중결합이 거의 없는 상태이기 때문에 표면을 먼저 처리하여 레진 시멘트와의 합착력을 증진시켜야 한다[6]. 표면 거칠기 및 표면적을 증대시키기 위한 대표적인 표면 처리방법으로 샌드블라스팅 방법이 있다. 이는 알루미나 입자를 분사하여 복합레진 인레이의 표면을 불규칙한 형태가 되도록 마모시켜 기계적 결합이 가능한 유지형태를 부여해주는 것이다[7]. 하지만, 장기적으로 안정적인 결합을 위해서는 이러한 기계적 처리와 함께 화학적 처리가 필요하다고 보고되고 있다[8].

이에, 레진 표면에 기계적 혹은 화학적으로 표면 처리하여 결합강도를 증가시키는 방법을 개발하고자 많은 연구가 이루어져 왔고 대부분의 임상에서는 기계적으로 요철을 부여한 후 실란을 도포하여 화학적으로 결합력을 증진시키는 방법을 사용하고 있다[9]. 하지만, 낮은 표면에너지로 기계적인 유지력을 확보하기 어렵기 때문에 높은 결합력을 유지시키는 데 한계가 있어 결합력을 증진시킬수 있는 새로운 표면처리법이 요구되고 있는 실정이다[10,11].

최근 들어 플라즈마는 표면개질을 위한 치과재료의 표면처리 응용으로 많이 사용되고 있다[12,13]. 플라즈마란 물질의 세 가지 상태인 고체, 액체, 기체와 구분되는 제4상의 물질 상태라고 일컫고 있으며, 자유라디칼, 전자, 전기적으로 들뜬 원자, 중성자 및 양성자들로 이루어진 상태를 말한다. 상온 대기압 플라즈마는 간단한 시스템 구축이 가능하여 휴대성이 좋고 경제성을 향상시킬 수 있으며, 열에 민감한 생체재료에도 사용될 수 있다는 장점이 있다[14]. 플라즈마 사용으로 인하여 표면의 화학적 OH기의 증가를 도모하여 표면 및 레진 시멘트간의 공유결합 능력을 증가시켜 반응성이 커져 결합력을 증진시킨다는 보고가 있으며, 실제로 플라즈마 처리를 통한 레진 인레이와 레진시멘트의 결합강도에 관한 연구에서 유의차 있는 증가 경향을 보였다[15,16].

하지만, 기존의 연구들은 표면 처리 후에 결합강도가 증가함을 보고하였으나 표면의 어떤 특성변화가 결합강도에 영향을 끼쳤는 지에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 또한, 레진 인레이가 지니는 성질과 구강 내 환경에 따라 변색의 위험성이 있기 때문에 색 변화에 관한 추가적인 연구도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 복합레진 인레이의 표면처리방법에 따른 표면의 특성 변화 및 색 변화를 비교하고자 하였다.

연구방법

1. 연구재료

본 연구에 사용된 재료는 복합레진 인레이(TESCERA™ATL, Bisco, Inc., Schaumburg, USA, Table 1)

Table 1. Material used in this study

	Type	Composition	Manufacturer
Tescera Indirect Composite System	Reinforced microfill composite	Ethoxylated Bis-GMA (< 15.0%) UDMA (< 15.0%) Glass filler (< 80.0%) Amorphous silica (< 25.0%)	Bisco, Inc., Schaumburg, USA

이며, 직경 10 mm, 두께 2 mm인 원형 시편을 사용하였다. 제조사의 설명에 따라 중합 후, 시편들은 2000 번 SiC 연마지를 이용하여 습식 연마한 후 건조시켰다. 표면의 전처리 방법에 따라 3개의 그룹으로 나누었다. 표면 전처리를 하지 않은 군을 대조군으로 하였다. 실험군으로는 실란을 처리한 군, 플라즈마를 처리한 군으로 분류하였으며, 대조군과 실험군은 각각 10개의 시편으로 실험하였다. 대조군을 제외한 실험군(실란 처리군, 플라즈마 처리군)의 표면에 먼저 알루미늄 500 µm 샌드블라스팅을 30초간 표면처리를 하였다. 샌드블라스팅 처리 후, 실란처리 그룹은 제조사의 설명에 따라 실란을 1방울 적용하여 10초 후 건조하였으며, 플라즈마 처리군은 질소가스를 사용하여 2 L/min 속도로 1분동안 처리하였다. 각 처리 후 레진 시멘트(Rely X, 3M ESPE, St. Paul, USA)를 제조사의 지시사항에 따라 부착하였다. 각 처리 후 시편은 (37±1) °C에서 24시간 동안 보관하였다.

2. 연구방법

1) 표면 거칠기 측정

표면 처리 후 대조군과 실험군의 표면 조도 변화를 하기 위하여 표면 거칠기를 측정하였다. 비접촉 방식의 광학적 표면 조도 측정기(ContourGT, Bruker, Tuscon, AZ, USA)를 이용하여 VSI 모드에서 측정하였다. 산술평균 조도(Ra) 값을 기록하였으며, 단위는 mm로 표현하였다.

2) 색 변화 측정

표면 처리에 따른 각 시편 표면의 색 변화를 확인하기 위하여 분광광도계(CM-3500d, Minolta, Kyoto, Japan)를 사용하였다. 대조군과 실험군간의 표면의 색조측정을 위하여 표준 백색판으로 표준을 설정하고 각시편의 L*, a*, b* 값을 구한 후, 하단 공식에 의해 ΔE*값을 도출하여 색조 차이 값을 계산하였다. 한 개의 시편당 세 번씩 반복측정을 하였다.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

3) 화학적 변화 측정

표면의 화학적 결합 및 변화를 확인하기 위하여 X-선 광전자 분광법(XPS; K-Alpha, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 표면 분석을 시행하였다. 대조군과 실험군 표면의 C 1s와 O 1s를 측정하여 표면의 C와 OH 변화를 확인하고자 하였다.

4) 통계분석

표면 거칠기, 색 변화의 실험 결과 값은 (평균값 ± 표준편차)로 나타내었으며, 각 실험군 간의 유의차를 알아보기 위하여 SPSS 21.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA) 소프트웨어를 이용하여 일원배치 분산 분석 시행 후 Tuckey 사후 검정을 시행하였다(p<0.05).

연구결과

1. 표면 거칠기

대조군과 실란처리군, 플라즈마 처리군의 표면 거칠기의 순서는 대조군 < 플라즈마처리군 < 실란처리군 순으로 높게 나타났다<Table 2>. 대조군에 비교하여 블라스팅 처리를 하였으므로 실험군의 거칠기가 증가되어 나타났다. 또한 실란 처리를 한 군이 플라즈마 처리를 한군보다 더욱 거칠게 나타났으며, 유의차 있는 증가를 나타내었다($p < 0.05$).

2. 색 변화

색 변화의 측정결과는 <Table 3>과 같다. 대조군에 비교하여 실란 처리군, 플라즈마 처리군은 ΔE^* 값이 1이하로 나타나 실험군의 색 변화를 보이지 않았다. 실험군간의 색 변화를 보았을 때 실란 처리군과 플라즈마 처리군 사이에서는 실란 처리군의 색 변화가 유의하게 높은 값을 나타내었다($p < 0.05$).

3. 화학적 변화

표면의 화학적 변화를 확인하기 위하여 XPS 측정하였다. 대조군과, 플라즈마 처리군, 실란 처리군의 XPS 분석은 Carbon의 변화량으로 확인하였다. 대조군에 비교하여 284.7 eV에서 Carbon-carbon (C-H, C-C) 그룹이 플라즈마 처리군은 낮게 나타났으며, 실란 처리군은 대조군과 유사하였다. 또한 288.9 eV에서 나타난 carboxyl group (COOH, O-C=O)은 플라즈마 처리군이 가장 낮게 나타났으며 실란 처리군은 대조군과 유사한 결과를 확인할 수 있었다<Fig. 1>. 표면의 hydroxyl group의 변화를 확인하기 위하여 O1s를 확인한 결과 플라즈마 처리군에서 532.8-532.0 eV에서 hydroxyl group (OH)이 가장 높게 나타났으며 이어서 대조군, 실란 처리군 순으로 나타났다<Fig. 2>.

Table 2. The results of surface roughness

Group	Mean \pm SD (nm)
Control	433.52 \pm 12.18 ^a
Sand blasting + Silane	588.66 \pm 17.35 ^b
Sand blasting + Plasma	526.86 \pm 8.18 ^c

^{a,b,c} different superscript letters denote significant differences by one-way ANOVA

Table 3. Color changes ΔE^* of specimens

Group	Mean \pm SD (ΔE^*)
Sand blasting + Silane	0.755 \pm 0.09 ^a
Sand blasting + Plasma	0.601 \pm 0.13 ^b

^{a,b} different superscript letters denote significant differences by two-sample t-test

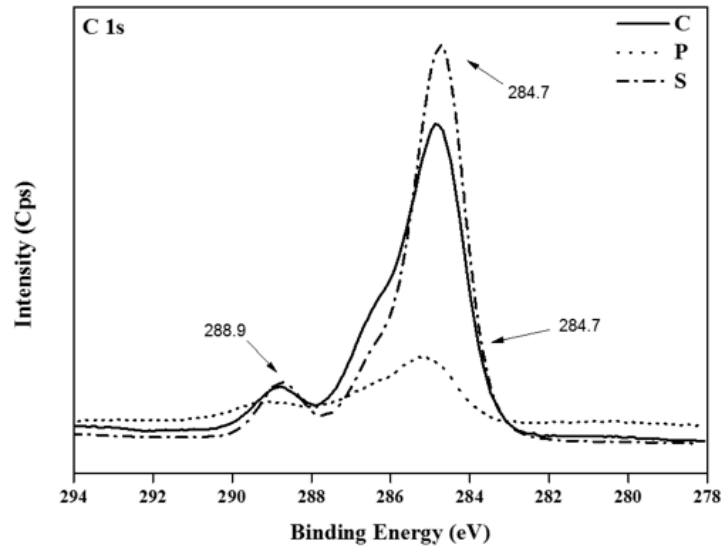


Fig. 1. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) spectra on the surface of specimens (C 1s). C: Control, P: Plasma-treated surface, S: Silane-treated surface

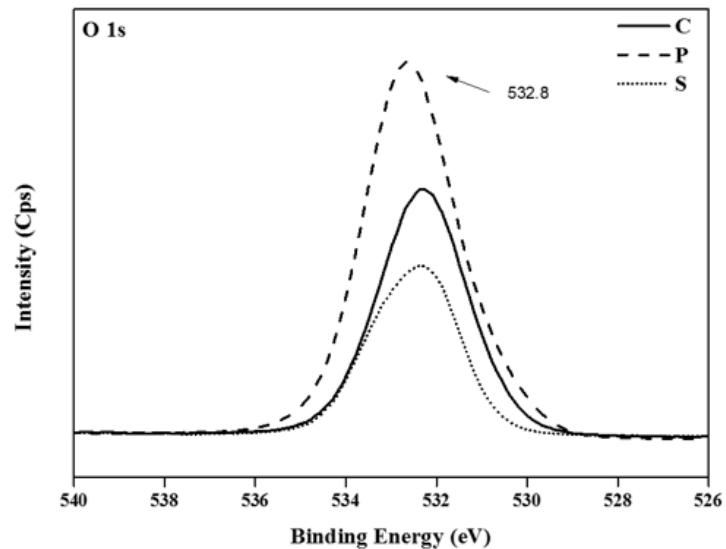


Fig. 2. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) spectra on the surface of specimens (O 1s). C: Control, P: Plasma-treated surface, S: Silane-treated surface

총괄 및 고안

최근 환자의 심미치료에 대한 요구 증가로 인하여 자연치아의 색상을 띠는 복합레진이 많이 사용되고 있으나 물리적, 기계적 제한성 때문에 구치부 수복에는 임상적인 사용에 한계가 있다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수복물로 도재를 사용하였으나 대합치를 마모시키려는 단점이 있다[17]. 또 다른 방법의 하나로 개발된 레진 인레이는 심미적이고 치질과 접착할 수 있는 간접 수복법으로 복합레진의 직접 수

복합의 한계를 극복할 수 있는 있으며, 구치부 수복에도 유리한 장점을 갖는다[18].

하지만, 레진 인레이는 치질과 접착할 수 있는 시멘트의 사용이 필수적이고, 레진의 2차 중합은 화학적 결합을 위해 이용될 잔존 자유 탄소결합의 양을 감소시켜 레진 인레이와 시멘트 사이의 화학적 결합을 감소시킨다고 보고되었다[19,20]. 이에, 기존의 레진을 기계적 혹은 화학적으로 표면 처리하여 결합강도를 증가시키는 방법을 개발하고자 많은 연구가 이루어져 왔고, 복합레진 인레이 내면을 샌드블라스팅 및 실란 처리하는 것이 인레이의 접착강도 증가에 도움을 준다고 하여 본 연구에서도 제작된 인레이 내면에 샌드 블라스팅 처리를 시행하였다[21,22].

레진 인레이의 표면처리에 따른 레진 시멘트의 결합력에 관한 연구에서 Jiang 등[19]은 샌드블라스팅은 결합력에 크게 영향을 미치지 않았다고 보고하였고, Swift 등[23]은 실란은 샌드블라스팅에 의한 결합력을 증진시키지 못하였다고 보고하였다. 따라서 이를 극복하기 위하여 다양한 방법이 연구되고 있으며, 그 중 한가지로 최 등[15]의 연구에서는 레진 인레이의 표면에 플라즈마 처리 방법을 사용하여 레진 인레이의 실란 처리와 플라즈마 처리에 의한 결합력을 비교하였다. 플라즈마 처리 결과 레진 인레이의 표면 에너지가 증가하였고, 이러한 결과는 유의하게 표면의 O 원소가 증가하고 C 원소는 감소한 것과 연관이 있어 보인다고 보고하였다. 플라즈마 처리는 화학적 작용으로 표면에너지를 증가시킬 수 있고, 실란 처리보다 플라즈마 처리 방법이 결합력을 유의하게 증진시켰으므로 플라즈마 처리를 통한 레진 인레이의 표면 개질이 성공적으로 이루어졌다고 판단된다[15,16]. 이처럼 기존의 연구에서는 플라즈마 처리 후 결합력의 향상 증가를 확인하였다. 하지만, 현재 표면 특성에 관한 기초적인 연구는 부족한 실정이다. 이에, 본 연구에서는 실란 처리와 플라즈마 처리 후의 표면 특성 및 색 변화에 관하여 관찰하였다.

먼저 표면 조도의 결과, 실험군은 샌드블라스팅 처리를 하였으므로 대조군에 비교하여 거칠기가 증가되어 나타났다. 또한 실란 처리를 한 군이 플라즈마 처리를 한 군보다 더욱 거칠게 나타났으며, 유의차 있는 증가를 나타내었다. 이상적인 거칠기는 결합력을 증진시킬 수 있지만 과도한 거칠기는 접촉면의 응력 집중을 유발하여 결합력을 오히려 감소시킬 뿐 아니라 표면의 균열을 야기하여 재 수복이 요구된다고 보고되었다[24].

두 번째로 색 변화를 측정하였는데, 레진의 특성상 표면의 색 변화가 있을 경우 추후 문제가 될 수 있으므로 주의하여야 할 점이었다. 색 변화는 ΔE^* 단위를 이용하여 양적으로 표현하였다[25,26]. 임상적으로 색 변화의 역치값은 3.3이상이라고 보고되었다[27]. 본 연구의 색 변화 실험 결과에서는 대조군에 비교하여 실란 처리군, 플라즈마 처리군의 ΔE^* 값은 1이하로 매우 미미하게 나타나 색 변화의 임상적인 의미는 없는 것으로 사료된다. 실험군간의 값을 비교하였을 때는 실란 처리군의 색 변화가 플라즈마 처리군보다 통계적으로 더 높은 값을 나타내었지만($p < 0.05$), 두 군 모두 전체 ΔE^* 값이 1이하이므로 우려할만한 수준은 아니라고 예상된다.

마지막으로 표면의 화학적 변화를 분석해본 결과, 플라즈마 처리 후 표면의 C 1s peak에서 hydrocarbon (284.8 eV) intensity가 감소한 것을 확인할 수 있었고, C-O, C=O의 결합이 관찰되었다. 이처럼 플라즈마 처리는 peroxide radicals의 형성을 촉진하여 레진 인레이 표면에 C-O, C=O와 같은 functional group이 결합하고, 화학적인 표면을 제공하는 역할을 하였다[13,28]. 또한, O 1s peak에서는 hydroxyl group(OH, 532.8 eV) 이 급격하게 증가되며, 친수성 그룹을 폴리머 표면에 결합시켜 접촉각을 감소시키며 표면이 친수성으로 개질이 된 것을 확인할 수 있었다. 특히 친수성은 결합력을 증진시키는 데 매우 중요한 요소일 수 있으며, 플라즈마 처리로 인하여 표면의 접촉각이 줄어들며 친수성 표면을 생성한다는 선행 연구 결과의 원인을 밝힐 수 있었다[29].

본 연구에서는 표면 조도, 색 변화, 화학적 변화 시험을 시행하여 플라즈마 처리를 통한 레진 인레이 표면의 특성 변화를 관찰하고자 하였으며, 본 연구의 결과로 플라즈마 처리는 레진 인레이의 표면 처리에 적합한 방법이라고 파악되었다. 지금까지의 결과를 종합하였을 때, 플라즈마 처리를 통한 레진 인레이의 표면 개질이 성공적으로 이루어졌다고 판단된다. 이는 표면의 화학적 산소함량의 증가와 카본의 감소를 통하여 이루어진 결과인 것으로 본 연구의 화학적 변화 실험을 통하여 밝혀졌다[30]. 기존의 레진 인레이와 레진 시멘트의 결합강도에 관한 연구에서 플라즈마 처리군이 더 높은 결합강도를 나타낸 이유는 플라즈마 처리가 실란 처리보다 레진 시멘트와의 결합에 좋은 조건을 만들었기 때문이라고 사료된다[15].

이번 실험은 한 가지 기체의 사용 및 시간 설정으로 인하여 다양한 상황에서의 플라즈마 효과를 알아보기에는 부족하였다. 하지만, 본 연구에서 사용한 기체는 자유라디칼 발생이 효과적이고, 공기 중 안정한 상태인 질소를 사용하였고, 상온 대기압 플라즈마는 합리적인 가격과 조작 및 휴대가 간편한 장점을 갖고 있어 진료실 체어 사이드에서도 간단하게 활용될 수 있는 가능성이 있다. 더불어, 본 연구의 결과는 레진 표면의 개질을 위해 플라즈마를 활용한 기초 연구로서 그 의의가 있으며, 향후 상온 대기압 플라즈마의 임상적 사용에 큰 도움이 되는 결과가 아닐 수 없다. 그러나 본 연구는 실험실적인 결과로서 이를 뒷받침할 수 있는 임상적인 결과를 평가할 필요가 있다. 또한, 추후 연구에서는 표면의 정확한 측정 및 분석 결과를 위하여 주사전자현미경을 이용하여 표면 변화를 관찰해보는 것이 필요하고, 유효성을 평가하기 위한 지속적인 연구도 필요할 것으로 생각된다.

결론

본 연구는 레진 인레이 표면의 처리방법에 따른 표면의 특성 및 색 변화에 대해 알아보고자 하였고 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 표면 거칠기 시험결과, 대조군, 플라즈마 처리군, 실란처리군 간 유의한 차이를 나타내었다($p < 0.05$).
2. 색 변화 시험결과, 대조군과 실험사이에는 유의한 색변화가 없었지만, 실험군인 실란 처리군과 플라즈마 처리군 간 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).
3. 화학적 변화 시험결과, 플라즈마 처리군의 표면에서 Hydrocarbon이 감소되고, OH가 증가되는 양상을 나타내었다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하여 보면, 레진 인레이의 표면 처리로 플라즈마를 사용하면 실란 처리를 하는 방법보다 표면의 거칠기, 색 변화 등의 특성이 유의하게 낮으며, 화학적 변화로 인하여 임상적으로 유효한 결합강도를 가질 수 있어 유용성 및 편리성이 증가될 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 성과는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1C1B5076310)

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

References

- [1] Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an *in vitro* assessment of their mechanical performance. *Oper Dent* 2013;38(6):618-25. <https://doi.org/10.2341/12-395-l>
- [2] Astvaldsdottir A, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranaeus S, et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults - A systematic review. *J Dent* 2015;43(8):934-54. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.001>
- [3] El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent* 2014;39(4):374-82. <https://doi.org/10.2341/13-017-l>
- [4] Marcondes M, Souza N, Manfroi FB, Burnett LH, Jr., Spohr AM. Clinical evaluation of indirect composite resin restorations cemented with different resin cements. *J Adhes Dent* 2016;18(1):59-67. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a35519>
- [5] Melilli D, Cumbo EM, Baldissara P, Wandscher VF, Valandro LF, Gallina G, et al. Evaluation of marginal leakage after mechanical fatigue cycling of composite inlays luted with different cements. *Gen Dent* 2018;66(4):51-5.
- [6] Hwang IN. Composite resin inlay, onlay. *J Korean Dent Assoc* 2008;46(7):416-23.
- [7] Prochnow EP, Amaral M, Bergoli CD, Silva TB, Saavedra G, Valandro LF. Microtensile bond strength between indirect composite resin inlays and dentin: effect of cementation strategy and mechanical aging. *J Adhes Dent* 2014;16(4):357-63. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a31801>
- [8] Borges GA, Sophr AM, de Goes MF, Sobrinho LC, Chan DC. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2003;89(5):479-88. <https://doi.org/10.1016/s0022391302527049>
- [9] Kiyani VH, Saraceni CH, da Silveira BL, Aranha AC, Eduardo Cda P. The influence of internal surface treatments on tensile bond strength for two ceramic systems. *Oper Dent* 2007;32(5):457-65. <https://doi.org/10.2341/06-131>
- [10] Visuttiwattanakorn P, Suputtamongkol K, Angkoonst D, Kaewthong S, Charoonanan P. Microtensile bond strength of repaired indirect resin composite. *J Adv Prosthodont* 2017;9(1):38-44. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.1.38>
- [11] Piascik JR, Swift EJ, Braswell K, Stoner BR. Surface fluorination of zirconia: adhesive bond strength comparison to commercial primers. *Dent Mater* 2012;28(6):604-8. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.01.008>
- [12] Valverde GB, Coelho PG, Janal MN, Lorenzoni FC, Carvalho RM, Thompson VP, et al. Surface characterisation and bonding of Y-TZP following non-thermal plasma treatment. *J Dent* 2013;41(1):51-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.10.002>
- [13] Silva NR, Coelho PG, Valverde GB, Becker K, Ihrke R, Quade A, et al. Surface characterization of Ti and Y-TZP following non-thermal plasma exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2011;99(1):199-206. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31887>
- [14] Choi YR, Kwon JS, Song DH, Choi EH, Lee YK, Kim KN, et al. Surface modification of biphasic calcium phosphate scaffolds by non-thermal atmospheric pressure nitrogen and air plasma treatment for improving osteoblast attachment and proliferation. *Thin Solid Films* 2013;547:235-40. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.02.038>
- [15] Choi YR, Kang MK. Effect of Non-Thermal atmospheric pressure plasma on

- adhesion capability in cementation of composite resin inlay. *Res J Pharm Technol* 2018;11(6):2561-4. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2018.00473.0>
- [16] Liezl MC, Wilmart L, Song S, Park J, Lee J, Shin S. Nonthermal plasma on the shear bond strength of relining resin to thermoplastic denture base resin. *J Korean Acad Prosthodont* 2018;56(3):199-205. <https://doi.org/10.4047/jkap.2018.56.3.199>
- [17] Soares CJ, Martins LR, Pfeifer JM, Giannini M. Fracture resistance of teeth restored with indirect-composite and ceramic inlay systems. *Quintessence Int* 2004;35(4):281-6.
- [18] Song M, Park S, Cho H, Hwang Y, Oh W, Hwang I. Influence of adhesive application on shear bond strength of the resin cement to indirect resin composite. *Restor Dent Endod* 2008;33(5):419-27.
- [19] Jang BS, Kim SK. Bonding of resin inlay to glass-ionomer base with various treatments on inlay surface. *Restor Dent Endod* 2000;25(3):399-406.
- [20] Shortall AC, Baylis RL, Wilson HJ. Composite inlay/luting resin bond strength--surface treatment effects. *J Dent* 1996;24(1-2):129-35.
- [21] Han S, Cho Y. Effect of a desensitizer on dentinal bond strength in cementation of composite resin inlay. *Restor Dent Endod* 2009;34(3):223-31.
- [22] Sofi LR, Fekrazad R, Akbarzadeh M, Maleki M. Effect of Er: YAG laser, sandblast and several types of universal bonding on shear bond strength of zirconia ceramic to composite resin. *J Contemp Dent Pract* 2018;19(10):1246-53. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2412>
- [23] Swift EJ Jr, Cloe BC, Boyer DB. Effect of a silane coupling agent on composite repair strengths. *Am J Dent* 1994;7(4):200-2.
- [24] Labriaga W, Song SY, Park JH, Ryu JJ, Lee JY, Shin SW. Effect of non-thermal plasma on the shear bond strength of resin cements to Polyetherketoneketone (PEKK). *J Adv Prosthodont* 2018;10(6):408-14. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.6.408>
- [25] Lee M, Park J, Goo H. Self re-evaluation of various colored drinks after tooth bleaching. *J Korean Acad Dent Hyg* 2016;18(2):105-14.
- [26] Gu H. Comparison of light activated bleaching effect using high concentration hydrogen peroxide and carbamide peroxide. *J Korean Soc Dent Hyg* 2009;11(2):111-20.
- [27] Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987;3(5):246-51. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(87\)80081-7](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(87)80081-7)
- [28] Yavirach P, Chaijareenont P, Boonyawan D, Pattamapun K, Tunma S, Takahashi H, et al. Effects of plasma treatment on the shear bond strength between fiber-reinforced composite posts and resin composite for core build-up. *Dent Mater J* 2009;28(6):686-92.
- [29] Chen M, Zhang Y, Sky Driver M, Caruso AN, Yu Q, Wang Y. Surface modification of several dental substrates by non-thermal, atmospheric plasma brush. *Dent Mater* 2013;29(8):871-80. <https://doi.org/j.dental.2013.05.002>
- [30] Uhm S, Kwon J, Lee J, Lee E, Kim K. Applications of non-thermal atmospheric pressure plasma in dentistry. *J Korean Dent Assoc* 2014;52(12):783-94.