

## 복합레진의 지연충전이 미세인장 결합강도에 미치는 영향

박현식 · 조영곤\* · 박병철 · 김종욱 · 최희영 · 김종진 · 진철희 · 유상훈 · 기영재  
조선대학교 치과대학 치과보존학교실

### ABSTRACT

### THE EFFECT OF DELAYED COMPOSITE RESIN FILLING ON MICROTENSILE BOND STRENGTH

Hyun-Sik Park, Young-Gon Cho\*, Byung-Cheul Park, Jong-Uk Kim, Hee-Young Choi,  
Jong-Jin Kim, Cheul-Hee Jin, Sang-Hoon Yoo, Young-Jae Ki  
*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Chosun University*

The purpose of this study was to evaluate the effect of immediate or delayed composite resin filling on dentinal microtensile bond strength ( $\mu$ TBS) after applied the adhesive.

The coronal dentin of human third molars was exposed. Single-Bond or One-Step was applied on the dentin surfaces, and composite resin were constructed immediately (group 1) or 5 min., 10 min., 15 min., 20 min. and 30 min. (groups 2-6) after an adhesive was applied. The specimens were sectioned and made bar-shaped. Each surface area of them was about 1mm<sup>2</sup>. The  $\mu$ TBS test was performed by EZ test. The results were analysed by One-way ANOVA and Tukey's test at 95 % significance level.

The results suggested that the  $\mu$ TBS of Single-Bond to dentin was decreased when the composite resin was constructed 20 min. and 30 min. after Single-Bond was applied. But the  $\mu$ TBS of One-Step was not affected by delayed composite resin filling. [J Kor Acad Cons Dent 29(3):233-238, 2004]

**Key words** : Immediate resin filling, Delayed resin filling, Microtensile bond strength, Adhesive, Coronal dentin, Bar-shaped

### I. 서 론

현대 치과분야에서 접착 치과학의 출현은 치과임상에 커다란 변화를 주었으며, 접착 시스템의 발전은 복합레진 수복을 일반화하였다. 1955년 Buonocoro<sup>1)</sup>가 인산으로 부식 처리된 법랑질과 자가중합형 아크릴릭 레진 간에 미세 기계적인 접착을 보고한 이후, 복합레진은 지속적으로 개발되고 있다. 복합레진과 법랑질은 내구성 있는 접착을 이루지만,

상아질에 대한 접착은 법랑질만큼 강하지 못하다. 이러한 접착의 차이는 기본적으로 두 조직간의 조성 차이 때문이다. 법랑질은 높은 농도의 수산화 인회석과 소량의 수분을 함유하고 있으나, 상아질은 보다 많은 유기물을 포함하고 있고 깊이와 위치에 따른 매우 복잡한 물리적 구조를 가지고 있다<sup>2)</sup>.

상아질에 대한 복합레진의 접착과정은 기본적으로 산부식 처리, 프라이밍 (priming), 접착의 3단계를 통하여 이루어진다. 최근에는 이러한 접착단계를 감소하기 위하여 5세대 접착시스템이 개발되었다<sup>2-4)</sup>. 이중 단일병 접착시스템 (one-bottle adhesive system)은 프라이머와 접착제를 혼합하여 단일병으로 만든 시스템이다. 단일병 접착제는 친수성과 소수성 성분을 포함하고 있다. 친수성 프라이머는 일반적으로 아세톤, 에탄올, 물, HEMA를 함유하고 있어 산부식 처리된 상아질 표면에 레진 단량체의 침투를 돕고, 혼

\* Corresponding author: Young-Gon Cho

Department of Conservative Dentistry,  
College of Dentistry, Chosun University  
421 Susuk-dong, Dong-gu, Gwangju, 501-825, Korea  
Tel : 82-62-220-3840 Fax : 82-62-232-9064  
E-mail : ygcho@mail.chosun.ac.kr

성층 (hybrid layer)을 형성하여 높은 결합강도를 나타낸다<sup>5,6)</sup>.

치질과 접착제간의 접착력을 평가하기 위하여 결합강도 검사는 많은 연구자들에 의해 시행되어 왔으며<sup>4,7-11)</sup>, 치질과 접착제의 결합강도는 여러 요소가 관여하는 것으로 나타났다<sup>12-16)</sup>. 최근에 Sano 등<sup>17)</sup>은 1 mm<sup>2</sup> 단면적의 시편을 이용한 미세인장 결합강도 (microtensile bond strength) 측정 방법을 소개하였다. 이 방법은 치아와 치질 계면에 일정한 힘이 분산되어 기존의 결합강도 검사보다 정확한 강도의 측정을 가능하게 하였다.

임상에서 우리는 흔히 치경부 우식증, 마모증, 굴곡과절과 같은 5급 병소를 치료하게 된다. 이러한 병소는 단독으로 발생하기도 하지만 여러 치아에서 함께 발생하는 경우가 많다. 이와 같이 여러 개의 치아를 동시에 수복하는 경우, 접착제를 적용하고 중합한 후 복합레진을 충전하려면 상당히 많은 시간이 경과될 수 있다.

몇몇 연구자들은 복합레진의 지연 광중합이 치질에 대한 접착에 미치는 영향을 연구하였다. Franklin 등<sup>18)</sup>은 복합레진의 지연 광중합은 시간이 경과함에 따라 평균 미세인장 결합강도가 감소함을 보고하였다. 또한 Manabe 등<sup>19)</sup>은 복합레진을 충전한 후 지연 광중합하였을 때 복합레진과 치아의 접착계면에 간극이 증가함을 관찰하였다. 이상과 같이 다른 연구에서는 복합레진의 충전 후 지연 광중합에 따른 영향을 평가하였으나, 접착제 적용 후 복합레진을 충전할 때까지의 경과시간이 상아질 접착에 미치는 영향에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 단일병 접착제인 Single Bond나 One-Step을 상아질에 적용한 후 복합레진의 지연충진이 미세인장 결합강도에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### A. 실험재료

최근에 발거된 상·하악 제 3 대구치를 검사하여 우식 병소, 수복물 및 미세균열이 없는 24개를 실험치아로 사용하였다. 본 실험에서 사용된 단일병 접착제는 에탄올/물 베이스 접착제인 Single Bond (3M Dental Product, St. Paul, MN, USA)와 아세톤 베이스 접착제인 One-Step (Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA)을, 복합레진은 A3.5 색조의 Z-250 (3M Dental Product, St. Paul, MN, USA)을 사용하였다 (Table 1). 광조사기는 Spectrum™ 800 (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA)을 사용하였고, 500 mW/m<sup>2</sup>의 광강도를 이용하였다.

### B. 실험방법

제 3 대구치의 표면에 부착된 유기물과 무기물을 초음파 치석 제거기를 이용하여 제거한 후, 24개의 치아를 혈액 채취용 CBC 병 (Sewon, Busan, Korea)에 치과용 경석고를 이용하여 백악법랑경계부가 노출되도록 매몰하였다. 경석고가 경화된 후, 편평한 상아질 면을 얻기 위해 주수하에 저속의 Diamond Wheel Saw (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, USA)를 이용하여 치관의 장축에 직각으로 치관을 절단하여 치관부 상아질을 노출 시켰다. 상아질 표면에 균일한 도말층을 얻기 위해 흐르는 물에서 1,000-grit과 1,200-grit의 SiC abrasive paper로 연마하여 실험 직전까지 증류수에 보관하였다.

**Table 1.** Adhesives and their composition

Material	Solvent	Chemical Composition	Manufacturer
Single Bond	Ethanol, Water	Bis-GMA, HEMA, dimethacrylates, polyalkenoic acid copolymer, initiator	3M Dental Product, St. Paul, MN, USA
One-Step	Acetone	BPDM, Bis-GMA, HEMA, initiator	Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA

Bis-GMA = bisphenol-glycidyl-methacrylate, HEMA = 2-hydroxyethyl methacrylate.

BPDM = biphenyl dimethacrylate

**Table 2.** Group classification

Group	Filling time
S-1	Immediate resin filling
S-2	5 minutes delayed filling
S-3	10 minutes delayed filling
S-4	15 minutes delayed filling
S-5	20 minutes delayed filling
S-6	30 minutes delayed filling
O-1	Immediate resin filling
O-2	5 minutes delayed filling
O-3	10 minutes delayed filling
O-4	15 minutes delayed filling
O-5	20 minutes delayed filling
O-6	30 minutes delayed filling

S = Single Bond, O = One-Step

### 1. 군의 분류와 각 군의 접착과정

사용한 접착제의 종류에 따라 치아를 Single Bond 군과 One-Step 군으로 대 분류한 후, 복합레진의 충전시간에 따라 1군은 즉시충전, 2군은 5분 지연충전, 3군은 10분 지연충전, 4군은 15분 지연충전, 5군은 20분 지연충전, 6군은 30분 지연충전으로 소 분류하였다 (Table 2).

#### a. Single Bond 군

각 치아의 상아질 표면을 32% 인산 (UNIETCH, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA)으로 15초간 산부식 처리하고, 10초간 수세하였다. 상아질 표면에 있는 과잉의 수분을 면구로 제거한 후, microbrush에 Single Bond를 충분히 적셔 상아질 표면에 연속적으로 2회 도포 하였다. 공기 시린지로 2~5초간 가볍게 불어 건조한 후, 10초간 광조사기를 이용하여 접착제를 중합하였다. S-1 군은 광중합된 접착제 위에 즉시 Z-250을 2 mm 두께로 축조하여 20초간 광조사하였으며, 복합레진의 전체 두께가 약 4 mm 가 되도록 하였다. S-2 군, S-3 군, S-4 군, S-5 군, S-6 군은 광중합된 접착제 위에 각각 5분, 10분, 15분, 20분, 30분 후에 복합레진을 축조하였다 (Table 2).

#### b. One-Step 군

Single Bond 군과 동일하게 상아질 표면을 산부식 처리 및 건조한 후 microbrush에 One-Step을 충분히 적셔 상아질 표면에 도포하고, 공기 시린지로 2~5초간 가볍게 불어 건조하여 10초간 광조사하였다. O-1 군은 광중합된 접

착제 위에 즉시 Z-250을 2 mm 두께로 축조하여 20초간 광조사하였으며, 복합레진의 전체 두께가 약 4 mm 가 되도록 하였다. O-2군, O-3 군, O-4 군, O-5 군, O-6 군은 각각 광중합된 접착제 위에 5분, 10분, 15분, 20분, 30분 후에 복합레진을 축조하였다 (Table 2).

복합레진이 축조된 치아는 미세인장 결합강도를 측정하기 전까지 생리식염수에 24시간 동안 보관하였다.

### 2. 시편의 제작과 미세인장 결합강도 측정

복합레진이 접착된 치아를 저속의 diamond disk를 이용하여 복합레진의 접착 계면에서 치근 축으로 4 mm 하방 부위를 절단하여 복합레진과 치질의 두께가 동일하게 되도록 하였다. 레진 블록에 순간 접착제인 Loctite 401 (Loctite Ireland Co. Inc., Ireland)을 사용하여 레진 블록과 절단된 치아를 접착하여 고정한 후 Diamond Wheel Saw (Isomet; Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA)에 장착하고 주수하에 치아와 복합레진의 계면의 단면적이 1 mm<sup>2</sup>가 되도록 절단하여 각 군 당 20개의 시편을 만들었다.

미세인장 결합강도를 측정하기 위하여 testing devices에 각 시편을 위치시킨 후, 시편의 양쪽 끝을 cyanoacrylate adhesive (ALTECO Korea Inc., Pyungtaek-City, Korea)로 접착하여 고정하였다. Universal testing machine (EZ test, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)을 이용하여 분당 1.0 mm의 crosshead 속도로 인장 하중을 가하였으며, 상아질과 복합레진의 접착계면의 파절 시의 인장 하중을 측정하였다.

### 3. 통계학적 분석

각 군의 미세인장 결합강도의 평균값과 표준편차를 계산한 후, 동일 접착제에서 복합레진의 지연충전에 따른 각 군의 미세인장 결합강도의 비교와 복합레진의 지연충전에 따른 두 접착제간의 미세인장 결합강도를 비교하기 위한 유의성 검증은 통계분석 프로그램인 SPSS (ver. 10.1, Chicago, IL, U.S.A)에서 One-way ANOVA를 이용하여 분석하였고, 사후 검증은 Tukey's test를 이용하여 95% 유의수준에서 분석하였다.

## III. 실험결과

각 군의 미세인장 결합강도의 평균치와 표준편차는 table 3에 나타내었다. Single Bond 군에서 상아질에 대한 미세인장 결합강도는 S-4 군 (15분 지연충전)에서 가장 높게 나타났으며 S-1 군 (즉시충전), S-2 군 (5분 지연충전), S-3 군 (10분 지연충전)과 통계학적으로 유의한 차이를 나

**Table 3.** Mean microtensile bond strength (MPa) according to delayed composite resin filling and statistical analysis

Group	Mean $\mu$ TBS $\pm$ SD (MPa)	No. of specimen
S-1	34.97 $\pm$ 3.94 <sup>a</sup>	20
S-2	34.28 $\pm$ 5.50 <sup>a</sup>	20
S-3	34.60 $\pm$ 3.53 <sup>a</sup>	20
S-4	39.04 $\pm$ 4.96 <sup>a</sup>	20
S-5	26.68 $\pm$ 3.76 <sup>b</sup>	20
S-6	24.75 $\pm$ 2.26 <sup>b</sup>	20
O-1	42.49 $\pm$ 8.72 <sup>c</sup>	20
O-2	44.66 $\pm$ 4.50 <sup>c</sup>	20
O-3	44.67 $\pm$ 3.57 <sup>c</sup>	20
O-4	48.82 $\pm$ 4.03 <sup>c</sup>	20
O-5	44.84 $\pm$ 2.60 <sup>c</sup>	20
O-6	41.09 $\pm$ 9.87 <sup>c</sup>	20

S: Single Bond, O: One-Step, S.D: Standard Deviation. Superscripts of the same letter indicate values of no statistical significant difference ( $p > 0.05$ ).

타내지 않았으나 ( $p > 0.05$ , Table 3), S-5 군 (20분 지연 충전), S-6 군 (30분 지연충전) 보다 통계학적으로 유의성 있게 높게 나타났다 ( $p < 0.05$ , Table 3).

One-Step 군에서 상아질에 대한 미세인장 결합강도는 O-4 군 (15분 지연충전)에서 가장 높게 나타났으나 다른 군과 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $p > 0.05$ , Table 3).

복합레진의 지연충전 시간에 따른 Single Bond 군과 One-Step 군의 미세인장 결합강도를 비교 시, One-Step 군이 Single Bond 군보다 모든 군에서 통계학적으로 유의성 있게 높은 미세인장 결합강도를 나타냈다 ( $p < 0.05$ , Table 3).

#### IV. 총괄 및 고안

복합레진은 심미성과 접착성의 장점 때문에 치아 대부분의 부위와 외동에서 이용될 수 있다. 복합레진의 접착을 위한 상아질 접착시스템의 접착과정은 탈회된 표면 상아질 내로 접착성 레진 단량체의 침투에 의한다. 이러한 상아질 접착은 상아질 콜라겐과 중합된 레진 단량체에 의해 혼성층을 형성하며 미세 기계적 연결을 이룬다. 이와 같은 미세 기계적 연결을 형성기 위해서 접착제의 작용은 매우 중요하다.

최근에 개발된 단일병 접착시스템은 4세대 접착시스템의 접착과정을 2단계로 단순화시켰다. 단일병 접착시스템은 상아질과의 접착을 증가시키기 위하여 상아세관내로 수분 친화성 물질이 잘 침투되도록 물, 아세톤, 에탄올 등의 증기압이 높은 용매제가 포함되어 있다<sup>20</sup>.

많은 연구에서 상아질 접착제의 접착력을 평가하기 위하여 보통 인장 또는 전단 결합강도가 측정된다. 그러나 전통적인 인장 또는 전단 결합강도는 넓은 접착계면에 응력이 가하여 졌을 때 접착계면에서 상아질이나 레진의 응집성 파절이 일어나게 되어 낮은 결합강도를 나타내므로 이는 진정한 결합강도라고 할 수 없다<sup>21</sup>. 그러나 미세인장 결합강도 측정방법은 응집성 파절보다는 주로 접착성 파절을 일으키며, 높은 결합강도의 측정이 가능하고, 전통적인 방법으로 측정할 수 없는 국소적인 부분의 결합강도를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 이 방법은 단일치아의 결합강도 측정이 가능하며, 불규칙한 표면에서 결합강도의 측정이 가능하고, 표면적이 약  $1\text{mm}^2$ 이므로 주사전자 현미경 관찰이 용이하다.

Franklin 등<sup>18</sup>)은 all-in-one 접착제의 적용 후 복합레진의 지연충전이 치질 접착에 미치는 영향을 주사전자현미경 관찰을 통하여 보고하였는데, 복합레진을 즉시 충전한 경우에는 치질과 복합레진 간의 결합계면에서 공간 (void)이 관찰되지 않았으나, 지연충전에서 수포모양의 공간이 관찰됨을 보고하였다. 이러한 복합레진의 지연충전에 의해 접착력이 감소되는 이유에 대하여 Manabe 등<sup>19</sup>)은 상아세관을 통한 유체의 흐름에 기인한다고 하였다. 그 밖의 다른 연구에서 지연 충전된 복합레진과 접착제의 결합계면에서 레진의 작은 물방울 모양의 형태학적 발견은 유기성 레진 코팅에 의하여 형성된 확산 막을 통하여 수분이 통과할 수 있다는 것을 암시하고 있다<sup>18</sup>). 이러한 현상은 상아세관을 통한 상아세관액의 유출 때문으로 이는 삼투압 경사의 변화를 일으켜 중합된 접착제를 통한 수분의 이동이 결합강도에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 본 연구에서 Single Bond 군은 위와 유사하게 20분 지연충전한 S-5 군과 30분 지연충전한 S-6 군에서 다른 군에 비해 통계적으로 낮은 미세인장 결합강도를 나타내어 Single Bond를 치아에 적용한 후 복합레진을 20분 이상 지연충전 할 경우 결합강도가 저하됨을 알 수 있었다. 그러나 One-Step 군에서는 모든 군의 미세인장 결합강도 간에 통계학적인 유의차가 나타나지 않아, One-Step 접착제를 사용하는 경우에는 접착제가 광중합된 후 복합레진의 지연충전이 미세인장 결합강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Kanca<sup>8</sup>)는 프라이머의 구성분이 결합강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여, HEMA를 각각 에탄올과 아세톤을 혼합하여 복합레진과 상아질의 접착계면에서의 결합강도를

측정하였다. 그 결과 HEMA/아세톤 프라이머는 HEMA/에탄올 프라이머보다 높은 결합강도를 나타내었다. 아세톤은 물과 섞이면 물의 증기압을 증가시켜 표면의 수분을 증발시키고, 증기압 변화에 의한 수분의 표면장력을 감소시켜 레진이 콜라겐 내로 쉽게 침투하게 하며 좋은 접착을 일으킬 수 있다. 이 연구 결과에 의하면 레진 용매제와 상아질의 결합강도 사이에는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 복합레진의 지연충전에 따른 One-Step 군과 Single Bond 군을 비교한 결과 아세톤이 포함된 One-Step군이 에탄올이 포함된 Single Bond 군보다 모든 군에서 높은 미세인장 결합강도를 나타냈다.

본 연구에서 Single Bond 군과 One-Step 군 모두에서 15분 지연 충전한 군이 다른 군에 비하여 미세인장 결합강도가 가장 높게 나타났다. 이러한 결과에 대한 원인은 정확히 알 수 없었으며 이의 원인 규명을 위해 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 단일병 접착제인 Single Bond와 One-Step의 광중합 후 복합레진의 지연충전이 결합강도에 미치는 영향을 비교한 것으로, 미세인장 결합강도 측정법을 이용하여 결합강도를 측정하는 것이 접착제의 성능을 평가하는데 매우 유용하지만, 보다 정확한 평가를 위하여 미세누출이나 주사전자현미경을 이용한 실험적 연구와 임상적인 평가가 더 이루어 져야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구의 목적은 상아질에 적용한 단일병 접착제를 광중합한 후 복합레진의 지연충전이 미세인장 결합강도에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 발거된 상·하악 제 3대구치의 상아질을 노출시킨 후 적용된 접착제의 종류에 따라 2개 군 (S군: Single Bond, O군: One-Step)으로 대 분류하고, 중합된 접착제 표면 위에 복합레진을 충전하기 전까지 지연된 시간에 따라 다시 1군 (즉시충전), 2군 (5분 지연충전), 3군 (10분 지연충전), 4군 (15분 지연충전), 5군 (20분 지연충전), 6군 (30분 지연충전)으로 소 분류하여 복합레진을 축조한 후 광중합하였다. 저속의 Diamond Wheel Saw로 접착 계면 단면적이 1 mm<sup>2</sup>가 되도록 절단하여 막대모양의 표본을 제작하였다. 각 시편의 미세인장 결합강도를 측정하고 통계학적으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Single Bond 군에서 상아질에 대한 미세인장 결합강도는 S-1군, S-2군, S-3군, S-4군이 S-5군과 S-6군 보다 높게 나타났으며, 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 ( $p < 0.05$ ).
2. One-Step 군에서 상아질에 대한 미세인장 결합강도는

각 군간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ).

3. 복합레진의 지연충전 따른 비교에서 One-Step 군이 Single Bond 군보다 모든 군에서 통계학적으로 높은 미세인장 결합강도를 나타냈다 ( $p < 0.05$ ).

본 연구의 결과, 접착제를 광중합한 후 복합레진을 지연 충전한 경우 Single Bond 군에서는 20분부터 미세인장 결합강도의 감소를 나타냈지만, One-Step 군에서는 지연충전이 미세인장 결합강도에 영향을 미치지 않았다.

## 참고문헌

1. Budnocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling material to enamel surface. *J Dent Res* 34:849-853, 1995.
2. Jablonski S. Illustrated dictionary of dentistry. Philadelphia: WB Saunders, 1982, p.236.
3. Al-Ehaideb AA, Mohammed H. Microleakege of one-bottle dentin adhesive. *Oper Dent* 26:172-175, 2001.
4. Pashley DH, Horner JA, Brewer PD. Interactions of conditioners on the dentin surface. *Oper Dent* 175:137-150, 1992.
5. Jacoben T, Soderholm KJ. Dentin bonding through interpenetrating network formation. *Transaction of Academy of Dent Mater* 7:45-52, 1994.
6. Nakabayashi N. Dental bonding mechanisms. *Quintessence Int* 22:73-74 1991.
7. Burrow MF, Taniguchi Y, Nikaido T, Satoh M, Inai N, Tagami J, Takatsu T. Influence of temperature and relative humidity on early bond strengths to dentine. *J Dent* 23:41-45, 1995.
8. Kanca J. Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5:213-215, 1992.
9. Masuhara E, Sato M. Ploymerization of resins for dentin filling and sealant with ultraviolet rays. *J Dent Eng* 45:1-5 1978.
10. McCabe JF, Rushy S. Dentine bonding agents-characteristic bond strength as a function of dentine depth. *J Dent* 20:225-230, 1992.
11. Meiers JC, Shook LW. Effect of disinfections on the bond strength of composite to dentin. *Am J Dent* 9:11-14, 1996.
12. Miyazaki M, Hinoura K, Onose H, Moore BK. Influence of light intensity on shear bond strength to dentin. *Am J Dent* 8(5):245-248, 1995.
13. Nakabayashi N, Kojims K, Masugara E. The promotion adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater* 16:265-273, 1982.
14. Perinka L, Sano H, Hosoda H. Dentin thickness, hardness and Ca-concentration vs bond strength of dentin adhesives. *Dent Mater* 8:229-233, 1992.
15. Yoshikawa T, Sano H, Burrow MF, Tagami J, Pashley DH. Effect of dentin depth and cavity configuration on bond strength. *J Dent Res* 78:898-905, 1999.
16. Yoshiyama M, Carvalho R, Sano H, Horner J, Brewer PD, Pashley DH. Interfacial morphology and strength of bonds made to superficial versus deep dentin. *Am J Dent* 8:297-302, 1995.

17. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength—evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 13:118-127, 1996.
18. Franklin R, David T, Byoung HP, Ricardo IS, Anut MC. Single-step adhesives are permeable membrane. *J Dent* 30:371-382, 2002.
19. Manabe A, Devri K, Itoh K, Hisamitsu H, Wakumoto S. Effect of delayed light curing of a resin composite on marginal integrity in cylindrical dentin cavities. *J Dent* 21:344-349, 1993.
20. Finger W, Fritz U. Laboratory evaluation of one-component enamel/dentin bonding agent. *Am J Dent* 9:206-210, 1996.
21. McInnes PM, Wendt SL Jr, Retief DH, Winberg R. Effect of dentin surface roughness on shear bond strength. *Dent Mater* 6:204-207, 1990.