

# ПРОЧНОСТЬ СВЯЗИ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ БРЕКЕТОВ К ПОВЕРХНОСТЯМ С КОМПОЗИТОМ: ВЛИЯНИЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Статья печатается по разрешению журнала «European Journal of Orthodontics»  
European Journal of Orthodontics, № 33 (2011), 174–179

## Введение

Спрос на ортодонтическое лечение постепенно растет среди взрослого населения. Это увеличение числа пациентов представляет новые проблемы для ортодонт. Так как и многие пациенты имеют восстановленные зубы различными реставрационными материалами, такими как композитные материалы, амальгама и фарфор, скорее всего ортодонты испытывают трудности с фиксацией ортодонтических приспособлений на эти материалы.

Именно у ортодонтических пациентов подросткового возраста композитные реставрации часто встречаются на губной поверхности резцов верхней челюсти, а иногда и на щечной поверхности жевательных зубов. Частота композитных реставраций жевательной группы зубов увеличилась с улучшением эстетических свойств наполнения материала (Brunthaler и соавт., 2003).

Встречалось много докладов о бондинге брекетов к амальгаме (Zachrisson и соавт., 1995; Buyukyilmaz и Zachrisson, 1998) и фарфору (Huang and Kao, 2001; Kocadereli и соавт., 2001; Kitayama и соавт., 2003; Ozcan и соавт., 2004) использование различных методов кондиционирования поверхности и адгезивов, но были проведены минимальны исследования (Kao и соавт., 1995; Jost-Brinkmann и соавт., 1996; Chunhacheevachaloke и Tyas, 1997; Lai и соавт., 1999) для количественной оценки бондинга брекетов к реставрационным композитным поверхностям. В предыдущих исследованиях брекетки фиксировали к новым композитам у пациентов, направленных для ортодонтического лечения, тогда как на самом деле композитные реставрации устаревают в течение длительного пребывания во влажной среде полости рта. Так как часто встречаются в клинике срывы брекетов, фиксированных к композитным реставрациям с использованием обычного бондинга, цель этого исследования *in vitro* заключалась в изучении прочности связи на сдвиг (SBS) ортодонтических брекетов, приклеенных к старым композитам,

с различными методами создания шероховатой поверхности.

## Материалы и методы

### Композитные диски

Девяносто восстановительных композитных дисков диаметром 6 мм и толщиной 2 мм приготовили из нанонаполненных композитов (Filtek Supreme XT, 3M Espe, St Paul, Minnesota, USA) с помощью традиционных методов конденсации с использованием тефлоновой матрицы. Для создания гладкой ровной поверхности после фотополимеризации композит сжали предметным стеклом и выдавили избыток материала. Композит полимеризовали светоизлучающим диодным устройством (LED, Elipar, 3M ESPE) при интенсивности света до 950 мВт/см<sup>2</sup> в течение 20 сек. через стеклянную пластину под углом 90° к верхней поверхности.

### Процедура старения

Композитные образцы выдерживали в камере ускоренного старения. Образцы установили на панель, которая крепится к раме тестера ускоренного атмосферного влияния (QUV; The Q-Panel Co., Cleveland, Ohio, USA), и держали в течение 300 часов. В тестере атмосферного влияния образцы подвергались действию непрерывных ультрафиолетовых (УФ) и видимых лучей при температуре 43,3 °C, циклы запрограммировали на распыление дистиллированной воды каждые 2 часа по 18 мин. (Dootz и соавт., 1993; Anil и соавт., 1999; 2000; Ramoglu и соавт., 2008).

После завершения процедуры старения все образцы хранились в дистиллированной воде в течение 24 часов при комнатной температуре. После этого образцы встроили в акриловые резиновые блоки, оставляя открытую гладкую поверхность композитных дисков для бондинга.

### Адгезив и брекетки

Transbond™ XT (3M Unitek, Monrovia, California, USA) это светоотверждаемый ортодонтический адгезив, который ис-

пользовали в данном исследовании для бондинга брекетов к композитным дискам. Для соединения с композитной поверхностью использовали брекет правого верхнего центрального резца из нержавеющей стали (Mini Master Series; American Orthodontics, Sheboygan, Wisconsin, USA). По словам производителя, средняя площадь каждой основы брекета составляла 10,88 мм<sup>2</sup>.

### Обработки композитной поверхности

Образцы случайным образом разделили на шесть групп по 15 образцов в соответствии со следующими методами обработки поверхности:

Группа 1. Контроль без обработки поверхности.

Группа 2. Покрытие тонким слоем 38% фосфорной кислоты (Pulpdent, Watertown, Massachusetts, USA) в течение 60 сек., затем промывание водой в течение 60 сек. и высушивание сжатым воздухом.

Группа 3. Покрытие тонким слоем 9,6% плавиковой кислоты (Pulpdent) в течение 60 сек., затем промывание водой в течение 2 мин. и высушивание сжатым воздухом.

Группа 4. Пескоструйная обработка частицами бикарбоната натрия в течение 15 сек. воздушно-абразивным блоком (Air-Flow Handy; EMS, Nyon, Switzerland) при атмосферном давлении 2,2 на расстоянии 10 мм.

Группа 5. Пескоструйная обработка частицами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50 мкм в течение 10 сек. с помощью микроэтчера (Danville Engineering Inc., Danville, California, USA) на расстоянии 10 мм.

Группа 6. Создание шероховатости алмазным бором на высокой скорости под водяным охлаждением (150 мм; 856/018, Diatech Diamant AG, Heerbrugg, Switzerland).

Процедуры приклеивания брекета осуществлялись одним и тем же человеком (МБ). Во время процесса бондинга тонкий слой праймера Transbond нанесли на обработанную поверхность композита, а брекетки с адгезивным композитом наклеили с легким усилием

в центре композитных дисков. Излишки адгезива удалили небольшим скейлером. Полимеризацию провели из двух направлений светодиодными лампами в течение 20 сек.

Все образцы хранили в дистиллированной воде в течение 1 недели при 37 °C, а затем термоциклировали (1000 циклов, 5—55 °C) перед тестированием SBS. Во время термоциклирования время выдержки для образцов в каждой лунке становило 30 сек., а время перепада между скважинами — 4 сек.

### SBS тест

SBS тестирование проводилось с помощью универсального устройства тестирования (Lloyd Instruments Plc, Fareham, Hampshire, UK). Схематическое изображение SBS тест установки показано на рис. 1. Для теста на прочность образцы подвергать напряжению в окклюзионно-десневом направлении со скоростью 1 мм/мин. Максимальная нагрузка, необходимая для дебондинга, записана в ньютонах и конвертирована в мегапаскали (МПа) как отношение ньютонов к площади поверхности основы брекета.



Рис. 1. Схематическое изображение теста на прочность связи

### Подсчет участков срыва

После дебондинга участки срыва изучили с помощью стереомикроскопа (Stemi 2000-C; Carl Zeiss, Göttingen, Germany) при увеличении  $\times 10$ . Любой остаток адгезива на старой поверхности композита оценивали индексом остатков адгезива (ARI; Årtun and Bergland, 1984) и засчитывали по отношению к количеству адгезивного материала, прилегаемому к поверхности композита. ARI имеет диапазон от 0 до 3, где 0 означает, что адгезив не остается на поверхности композита, 1 — менее 50% адгезива остается на поверхности композита, 2 — более чем 50% адгезива остается; и 3 — весь адгезив остается на зубе вместе с отпечатком основы брекета.

### Анализ сканирования электронным микроскопом

Каждый образец из каждой тест-группы был исследован под сканирующим электронным микроскопом

(SEM) для оценки влияния различных методов подготовки поверхности для старых композитных поверхностей. Образцы хранили в течение 2 дней в абсолютном спирте, сушили в течение 2 часов на воздухе, установили на подставки SEM и покрыли распыленными золотыми частицами 10 нм с помощью устройства распыления Polaron Sc500 (VG Microtech Inc., Uckfield, Sussex, UK), и наблюдали под SEM (JSM-5600; Jeol Ltd, Tokyo, Japan) при рабочем напряжении 10 кВ. Образцы наблюдали под углом 90° и на рабочем расстоянии 23 мм. Микрофотографии сделаны для визуального осмотра при увеличении  $\times 500$ .

### Статистический анализ

Был проведен один из видов дисперсионного анализа (ANOVA) с целью изучения влияния обработки поверхности на SBS. Tamhane тест использовали для сравнения групп постфактум. Результаты оценивались с 95% конфиденциальным интервалом. Установлен уровень значимости  $p < 0,05$ .

### Результаты

#### SBS сравнения

Описательная статистика и результаты Tamhane теста для значений SBS постфактум приведены в табл. 1. На рис. 2 показаны средние значения SBS раз-

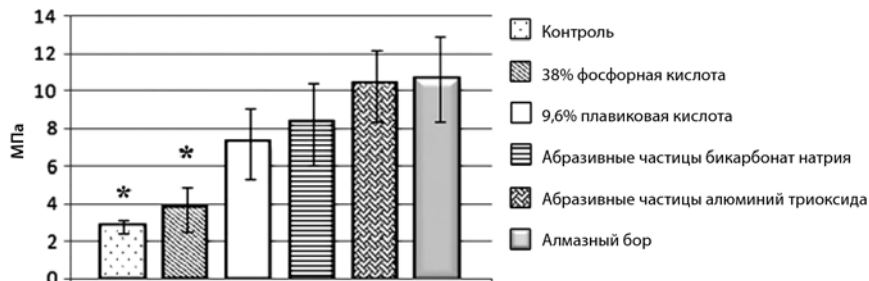


Рис. 2. Диаграмма, показывающая стандартное отклонение и среднюю прочность связи ортодонтических приспособлений к старым композитным поверхностям, обработанных различными методами подготовки поверхности. Вертикальная черта указывает стандартное отклонение. Звездочками показано существенные различия между группами ( $P=0,05$ )

Таблица 1.

Описательная статистика [среднее значение, стандартное отклонение (SD) и стандартная ошибка (SE)] величин прочности связи и результатов многочисленных сравнительных тестов

| Группы                                | Среднее значение (МПа) | SD (МПа) | SE (МПа) | Диапазон (МПа) | Tamhane* |
|---------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------------|----------|
| Контроль                              | 2,77                   | 0,34     | 0,11     | 2,08–3,25      | A        |
| 38% фосфорная кислота                 | 3,71                   | 1,22     | 0,36     | 2,32–5,77      | A        |
| 9,6% плавиковая кислота               | 7,21                   | 1,89     | 0,87     | 4,07–11,19     | B        |
| Абразивные частицы бикарбонат натрия  | 8,26                   | 2,16     | 0,65     | 5,62–15,77     | B        |
| Абразивные частицы алюминий триоксида | 10,29                  | 1,92     | 1,03     | 5,81–12,76     | B        |
| Алмазный бор                          | 10,61                  | 2,28     | 0,68     | 7,19–15,12     | B        |

\* Группы из разных букв значительно отличались на  $P=0,05$  уровне в соответствии с тестом Tamhane

личных методов подготовки поверхности. Видно, что в группе 6 было самое высокое значение SBS (10,61 МПа), затем в 5-й группе (10,29 МПа). Самое низкое среднее значение SBS наблюдалось в 1-й группе (2,77 МПа).

Используя SBS (МПа) в качестве зависимой переменной, ANOVA показал значительную разницу ( $F=22,63$ ,  $P=0,000$ ) между группами. Результаты Tamhane теста постфактум указали, что не было никаких существенных различий между группами 1 и 2. Кроме того, не было статистически значимых различий между группами 3, 4, 5 и 6.

### Индекс остатка адгезива

Табл. 2 показывает распределение значений ARI (срыв модели), выраженного в частоте распространения для всех протестированных групп. Группы 1, 2 и 3 показали значение ARI 0, в то время, как в группе 6 ARI 3, т.е. в группах 1, 2 и 3 не удалось создать границу композит-адгезив, в то время, как участок срыва находился на границе брекет-адгезив для группы 6.

### SEM анализ

На рис. 3 показаны SEM микрофотографии композитных поверхностей, обработанных различными методами подготовки поверхности. Группа 6 по-

казала более шероховатую поверхность и большую площадь для микромеханической ретенции по сравнению с другими методами обработки. Обе 1 и 2 группы были с относительно гладкими поверхностями. Группы, обработанные абразивными частицами (группы 4 и 5), имели более шероховатую поверхность, чем группы, обработанные кислотой (группы 2 и 3).

### Обсуждение

Вполне вероятно, что при бондинге ортодонтических приспособлений к композитной реставрации в полости рта, реставрация устарела в течение длительного времени в условиях повышенной влажности. Это означает, что

было достигнуто насыщение композитных смол водой и активность свободных радикалов прекратилась. Абсорбированная вода вызывает размягчение матрицы, появление микротрещин, деградацию смолы и дебондинг границы наполнителя-матрица (Ferracane и Marker, 1992). Сообщили о тенденции к снижению прочности связи между новым и старым композитом после старения и хранения старого материала в слюне (Boyer и соавт., 1984; Chiba и соавт., 1989).

В лабораторных исследованиях для моделирования процессов старения композита использовали такие методы, как термоциклирование и хранения в водной среде или лимонной кислоте (Yar и соавт., 1999; Ozcan и соавт., 2007).

Таблица 2.

Частота и процент появления индекса остатков адгезива (ARI)

| Группы                                | N  | 0 (%)     | 1 (%)   | 2 (%)   | 3 (%)     |
|---------------------------------------|----|-----------|---------|---------|-----------|
| Контроль                              | 15 | 15 (100)  | —       | —       | —         |
| 38% фосфорная кислота                 | 15 | 15 (100)  | —       | —       | —         |
| 9,6% плавиковая кислота               | 15 | 15 (100)  | —       | —       | —         |
| Абразивные частицы бикарбонат натрия  | 15 | 14 (93,3) | 1 (6,7) | —       | —         |
| Абразивные частицы алюминий триоксида | 15 | —         | —       | 1 (6,7) | 14 (93,3) |
| Алмазный бор                          | 15 | —         | —       | —       | 15 (100)  |

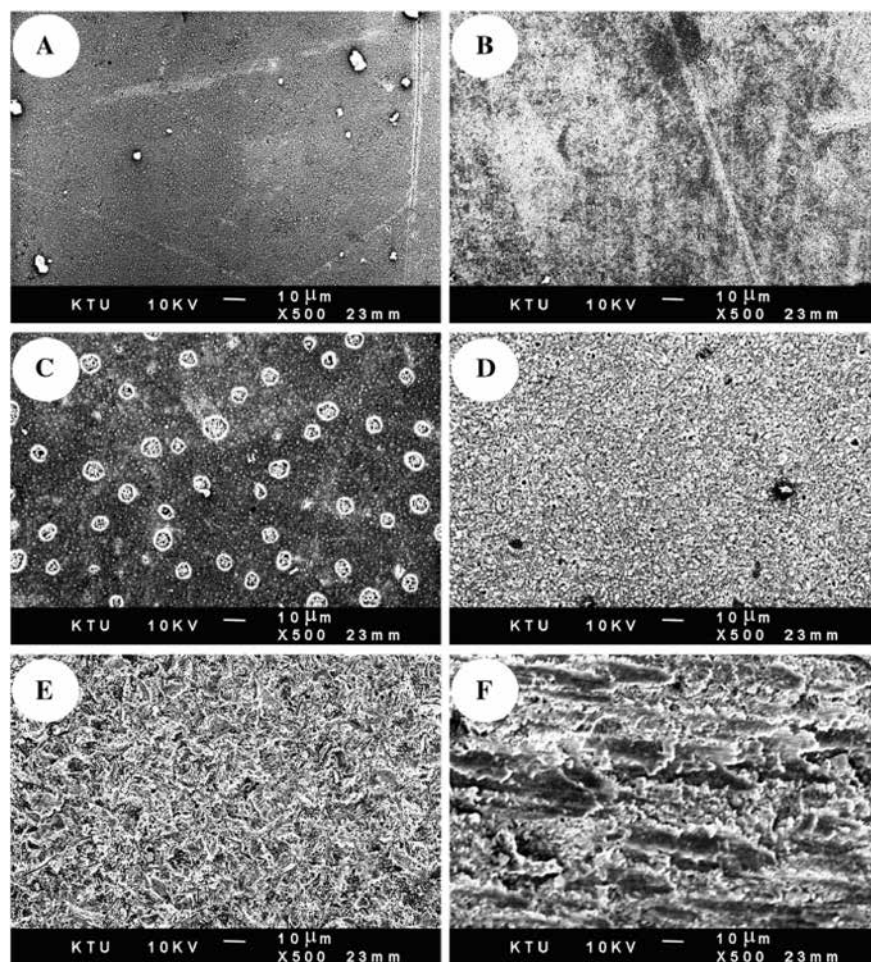


Рис. 3. Электронные сканированные микрофотографии композитных поверхностей после применения различных методов подготовки поверхности: (А) контроль (без обработки поверхности), (В) 38 % фосфорная кислота, (С) 9,6 % плавиковая кислота, (D) абразивные частицы бикарбонат натрия, (Е) абразивные частицы алюминий триоксида, и (F) алмазный бор

Кроме того, вместе с ускоренным старением (Dootz и соавт., 1993; Anil и соавт., 1999, 2000; Ramoglu и соавт., 2008), композитные образцы подвергались непрерывным действиям УФ, видимым лучам и дистиллированной воды, которая может изменить физические свойства композитов. По словам производителя аппарата атмосферного влияния, который использовали в данном исследовании, 300 часов старения эквивалентно 1 год клинических услуг (Powers и соавт., 1978; Анил и соавт., 1999). В данном исследовании для обеспечения более реалистичного моделирования и получения старых композитных образцов использовали ускорение процесса старения. Тем не менее, нет единого мнения относительно того, какие режимы старения лучше имитирует условия ротовой полости (Tezvergil и соавт., 2003).

Есть три возможных механизма бондинга брекета с использованием промежуточного адгезива: химический состав бонда, химические связи с открытыми частицами наполнителя и микромеханическая ретенция, вызванная проникновением мономерных компонентов в микротрещины матрицы (Brosh и соавт., 1997). Клинически бондинг между двумя композитными слоями достигается в присутствии слоя недополимеризованных смол, ингибированного кислородом (Li, 1997). Тем не менее, старые реставрации не содержат недополимеризованного поверхностного слоя (Kupiec и Barkmeier, 1996). Количество инертных метакрилатовых групп, которые обеспечивают адгезию промежуточных адгезивных агентов, уменьшается со временем, тем самым снижая адгезию по сравнению с новым композитом (Ozcan и соавт., 2007). Таким образом, возраст реставрации является важным фактором в бондинге брекетов.

Для улучшения связи композит—композит было предложено несколько методов. Одним из них является создание шероховатой поверхности (Kupiec и Barkmeier, 1996), а другие основаны на попытке улучшить адгезию новой смолы к сшитым полимерным матрицам или частицам наполнителя в композите (Brosh и соавт., 1997; Kallio и соавт., 2001). Для улучшения прочности связи между новым и старым композитом, как правило, требуется увеличить шероховатость поверхности для повышения механической взаимного сцепления и покрыть старый композит ненаполненными связующими агентами для улучшения влажности поверхности и химической связи (Pounders и соавт., 1987).

Бонды в ортодонтии должны быть полупостоянным, и прочность связи должна быть достаточно высокой, чтобы противостоять случайному дебон-

дингу во время лечения, но достаточно низкой, так как чрезмерная сила вовсе не должна применяться во время дебондинга. Предположили, что клинически адекватная прочность связи для ортодонтического металлического брекета к эмали должна составлять 6—8 МПа (Reynolds, 1975). Средние значения SBS для всех групп кондиционирования поверхности, за исключением 1 и 2 групп, были в пределах этого диапазона или превысили эти границы и, следовательно, это можно считать достаточным для клинического применения.

Среди методов кондиционирования поверхности, традиционные травления кислотой (группа 2) представляют низкие значения SBS. Предварительно доказано, что фосфорная кислота является относительно неэффективной в обеспечении микромеханической ретенции на композитах (Martin и соавт., 2001). Оценка ARI указала на появление срыва связи на границе композит-адгезив в группе 2. Это свидетельствует о слабой связи между композитной смолой и адгезивом.

Плавиковая кислота признана опасной в естественных условиях. Это вредная и раздражающая смесь для мягких тканей. Плавиковая кислота действует путем растворения стеклянных частиц наполнения, оставляя зазоры или поры, которые позволяют обеспечить микромеханическую ретенцию (Swift и соавт., 1992). В этом исследовании значения SBS увеличились при использовании плавиковой кислоты для создания области микромеханической ретенции.

Абразивные частицы  $Al_2O_3$  и бикарбоната натрия это метод обработки поверхности, который производит больше микроретенционных областей для микромеханического взаимного сцепления, чем применение кислот. Однако, по данным микрофотографии SEM, применения алмазного бора создает макро- и микроретенционные области.

Они удаляют смолу и выводят на поверхность наполненные частицы, таким образом повреждая поверхностные свойства реставрации. Таким образом, ожидалось увеличение значения SBS от групп с абразивными частицами и алмазным бором.

В предыдущих исследованиях (Као и соавт., 1995; Jost-Brinkmann и соавт., 1996; Chunhacheevachaloke и Tyas, 1997; Lai и соавт., 1999), в которых изучали SBS ортодонтических брекетов к реставрационным композитным поверхностям, использованы композитные образцы не были подвержены процедуре старения с моделированием состояния полости рта перед бондингом брекетов. Большинство из этих исследований оценивали прочность связи неметаллических ортодонтических брекетов и различных адгезивов к композитным поверхностям. SBS значения, найденные в этих исследованиях, были выше, чем в данном исследовании. Это может быть связано с использованием свежих композитных образцов. Као и соавт. (1995) изучили торсионную прочность связи керамических брекетов к композитным винирам-пластинкам в своем исследовании, но не использовали процедуры старения для своих образцов перед бондингом, и обнаружили, что торсионная прочность связи была выше, чем SBS.

По результатам данного исследования, клинически адекватная прочность связи была достигнута в группах 3, 4, 5 и 6. Предполагается, что использование пескоструйной обработки частицами  $Al_2O_3$  и натрия бикарбоната является более подходящим, чтобы создать шероховатость композитной поверхности для увеличения SBS, так как создание ограниченной шероховатой области на поверхности композита для бондинга брекета может быть проще и более управляемо с помощью этих приспособлений. Хотя клинически адекватные

значения SBS наблюдались в группах 3 и 6, эти методы противопоказаны в связи с опасным влиянием плавиковой кислоты на мягкие ткани и неконтролируемым абразивным эффектом алмазных боров.

Когда любой из протоколов обработки поверхности, которые испытывали в этом исследовании, используется во время бондинга, должны также учитываться образование следов на поверхности композита во время обработки поверхности после дебондинга. Остатки адгезива на поверхности композита нужно тщательно удалять, а поверхность должна быть отполирована с использованием финишных дисков для композитов, чтобы восстановить гладкую и глянцевую поверхность композита. Таким образом, предотвращается накопление зубного налета и изменения цвета композитных реставраций.

### Выводы

Ортодонтический бондинг старых реставрационных композитов был оценен *in vitro*, используя пять различных методов кондиционирования поверхности. В ограниченных рамках данного исследования, выводы заключаются в следующем:

1. Шероховатость поверхности является эффективной при бондинге ортодонтических приспособлений к старым реставрационным композитным поверхностям.
2. Клинически адекватные значения SBS возможно получить с применением плавиковой кислоты, абразивных частиц бикарбоната натрия, абразивных частиц  $Al_2O_3$  или алмазным бором.
3. Срыв брекетов с модели был на границе брекет-адгезив при пескоструйной обработке частицами  $Al_2O_3$  и применении алмазного бора, и на границе композит-адгезив для фосфорной и плавиковой кислоты.

Перевод Н. И. Станчева.

### Резюме

Цель данного исследования заключалась в том, что бы изучить влияние протоколов поверхностного кондиционирования на прочность связи (SBS) металлических брекетов к поверхностям с композитным материалом *in vitro*.

Девяносто композитных дисков, диаметром 6 мм и высотой 2 мм, были подготовлены и обработаны процедурой старения. После этой процедуры образцы распределили в случайном порядке следующие группы: (1) контроль без обработки поверхности, (2) гель 38% фосфорной кислоты, (3) гель 9,6% плавиковой кислоты, (4) абразивные частицы триоксида алюминия, (5) абразивные частицы бикарбоната натрия и (6) алмазный бор. Металлические брекеты приклеили к композитным поверхностям с помощью ортодонтического адгезива (Transbond XT). Все образцы хранили в воде в течение 1 недели при 37 °C, а затем термоциклировали (1000 циклов, 5—55 °C) перед тестированием SBS. Оценили качество SBS и остатки адгезива на поверхности композита.

Дисперсионный анализ показал значительное различие ( $P=0,000$ ) между группами. В группе 6 наблюдался самый высокий показатель SBS (10,61 МПа), затем в группе 4 (10,29 МПа).

Результаты этого исследования показывают, что клинически приемлемая прочность бонда может быть достигнута кондиционированием поверхности старых композитов с применением плавиковой кислоты, абразивных частиц триоксида алюминия, абразивных частиц бикарбонат натрия или алмазным бором.