

С.А. Николаенко,
д.м.н., профессор, зав. кафедрой
терапевтической стоматологии

Л.А. Шапиро,
доцент кафедры медицинской
и биологической физики

А.И. Зубарев,
ассистент кафедры терапевтической
стоматологии

Красноярский государственный
медицинский университет
им. В.Ф. Войно-Ясенецкого

У. Лобауэр,
доктор (PhD), инженер
клиники консервативной
стоматологии и пародонтологии
Фридрих-Александр-университета,
Эрланген-Нюрнберг, Германия

Р. Франкенбергер,
доктор (PhD), профессор, директор
клиники терапевтической стоматологии
Филипс-университета, Марбург, Германия

Адгезивно-фиксированные композиты остаются основным заместительным материалом на протяжении более двух десятков лет. Область применения этих материалов с каждым годом все больше расширяется. Физико-химические свойства современных композитов позволяют использовать их в диапазоне от начальных малоинвазивных вмешательств при герметизации фиссур до реконструкции культией под ортопедические конструкции. Структурно материал достаточно хорошо оптимизирован в зависимости от показаний для применения. Практически все неудачи, как правило, связаны с разрушением зоны соединения заместительного материала и твердых тканей зуба. Причем наиболее критическим является соединение с поверхностью дентина, что в настоящее время является объектом большого количества исследований [1, 2, 8, 9]. В целом при многообразии адгезивных систем можно выделить два принципиальных подхода при обработке поверхности субстрата. В первом случае проводится сепаратное травление ортофосфорной кислотой с последующим смыванием растворенного смазанного слоя и оголением поверхности коллагеновой губки, во втором случае

Влияние параметров гибридного слоя на адгезию современных фотокомполитов

травление производится кислотными компонентами адгезивного посредника или самопротравливающего праймера, в состав которых, как правило, входит малеиновая кислота. В последнем случае смывание не проводится, т. е. растворенные компоненты смазанного слоя, включая ту его часть, которая запрессовывается в просвет дентинных канальцев, входят в состав гибридной зоны [3, 5]. Соответственно структура гибридного слоя и объем пенетрации адгезивных посредников при применении ортофосфорной кислоты и без нее будут существенно отличаться. В настоящее время остается невыясненным, какой из компонентов гибридного слоя оказывает наибольшее влияние на уровень адгезии. В целом возможны два пути пенетрации компонентов адгезивной системы в поверхность дентина:

- в просвет дентинных канальцев;
- в поверхностный слой межтубулярного дентина.

При применении самопротравливающих адгезивов просвет дентинных канальцев заблокирован пробками смазанного слоя, препятствующими формированию выраженных полимерных тяжей. Многие авторы приписывают последним ключевую роль в фиксации

комполита [4, 6, 7, 10]. Однако степень пространственного заполнения системы дентинных канальцев и боковых анастомозов практически не изучена, но можно предположить, что ненаполненная полимерная матрица после полимеризации вряд ли obtурирует просвет дентинного канальца герметично. После травления устья дентинных канальцев открываются и расширяются, создавая свободный доступ для компонентов адгезивных посредников. При пенетрации в межтубулярный дентин лимитирующим фактором выступают освобожденные после травления коллагеновые волокна.

Целью исследования явилось определение объема пенетрации различных типов адгезивных посредников в поверхность дентина и оценка влияния компонентов гибридного слоя на уровень адгезии композитов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили 40 экстрагированных некариозных человеческих моляров, находившиеся в 0,5% растворе хлорамина-Т в течение 1 мес. В каждом зубе были препарированы полости 1-го класса по Блеку

(4×4 мм), либо композит апплицировался на оголенную поверхность дентина без стенок, т. е. учитывалось влияние фактора конфигурации полости (С-фактор). В качестве пломбировочного материала использовался Filtek Z 250 (3М Espe) в сочетании с трехкомпонентной адгезивной системой 4-го поколения Syntac Classic (Vivadent) и самопротравливающего однокомпонентного адгезива G-Bond (GC, Япония). Фотополимеризацию всех светоотверждаемых материалов проводили галогеновой лампой (Translux® CL, Heraeus Kulzer, Dormagen). Для кислотного протравливания использовался Gel Etchant (3М Espe). Дальнейшее пломбирование выполнялось тремя горизонтальными слоями. Через 24 ч после наложения пломбы зубы распиливались алмазной пилой с водяным охлаждением (Isomet®, Vuehler, Lake Bluff, IL, США) на 4–5 шлифов толщиной 0,5–0,7 мм. Полученные образцы имели форму палочек, состоящих из дентина и композита. Прочность на разрыв между дентином и композитом измерялась универсальной испытательной машиной (Zwicki—Modell Z/2,5 Ulm, Германия) со скоростью подачи 1 мм/мин. Половина образцов подвергалась термоциклической нагрузке в режиме 5–55°C, 10 000 циклов (Naake, Германия).

Проникновение компонентов адгезивной системы в поверхность дентина изучалось с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (CLSM). Для оценки объема пенетрации с помощью CLSM к адгезивным посредникам подмешивались специальные люминесцентные красители Rhodamin В и Lumilux (Merck, Германия), позволяющие визуализировать в разном цвете компоненты адгезивных посредников. Измерялись толщина гибридного слоя, длина тяжей полимера и их толщина в области основания и в глубине до 200 мкм.

Для определения плотности obturации системы дентинных канальцев был разработан специальный протокол с двукратным нанесением адгезивного посредника 4-го поколения с техникой тотального травления. Из удаленных зубов были подготовлены шайбы, состоящие из дентина, толщиной 7–8 мм, путем отпиливания бугров до полного удаления эмали с одной стороны зуба

и корней до уровня фуркации — с другой. Полученные образцы фиксировались в специальной форме из самотвердеющей пластмассы (рис. 1), которая помещалась в устройство для шлифования сверхтонких слоев с дозирующим винтом (рис. 2, 3).

На первом этапе поверхность дентина обрабатывалась ортофосфорной кислотой, за которой следовало нанесение адгезивного посредника 4-го поколения Syntac Classic. Гибридный слой полимеризовался галогеновой лампой. На втором этапе производилось сошлифовывание гибридного слоя на 20 мкм, причем просветы дентинных канальцев оставались obturированы тяжями полимера. С целью выявления остаточного пространства между полимерным тяжем и стенкой дентинного канальца, возникшего при полимеризационной усадке, проводился повторный бондинг,



Рис. 1. Образцы, подготовленные для лазерного конфокального сканирующего исследования



Рис. 2. Устройство для микрошлифования образцов: а) вид сверху; б) вид снизу

при котором в состав адгезива подмешивался краситель.

Для искусственного формирования полимерных тяжей в случае применения самопротравливающего адгезива образец на 30 с помещался в эксикатор. Вакуум приводил к более интенсивному заполнению дентинных канальцев.

Статистическая обработка материала проводилась с использованием однофакторного дисперсионного анализа (модуль ANOVA; LSD — SPSS 11.5).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, при технике тотального травления происходит выраженное формирование тяжей адгезива на достаточно большую глубину. Напротив, самопротравливающие посредники практически не проникают в просвет дентинных канальцев (см. рис. 3).

Однако «качество» тяжей, т. е. их длина, толщина у основания и в глубине, сцепление или плотность прилегания к стенкам дентинного канальца практически не изучены. Отправной точкой для возникновения дискуссии о роли влияния заполнения дентинных ка-

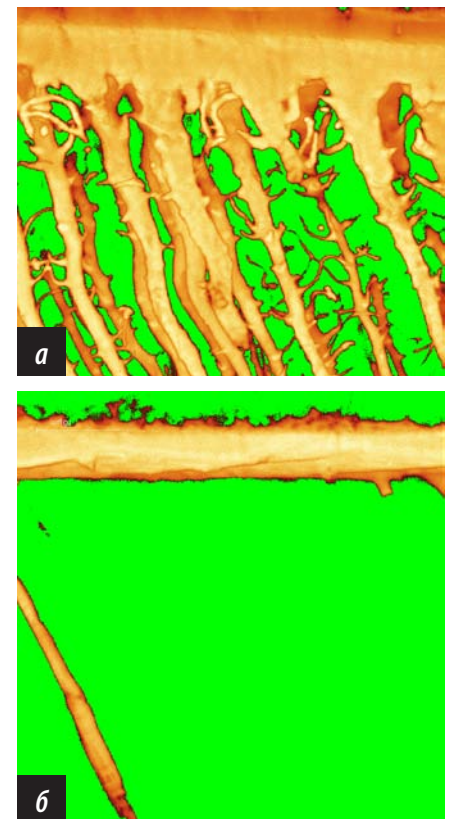


Рис. 3. Пенетрация бондингового агента: а) при технике тотального травления; б) после использования самопротравливающего адгезива

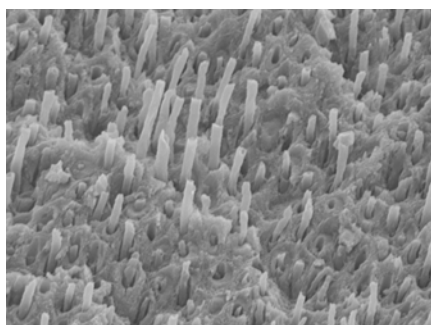


Рис. 4. Выход тяжей адгезива после проведения микроиспытания на разрыв

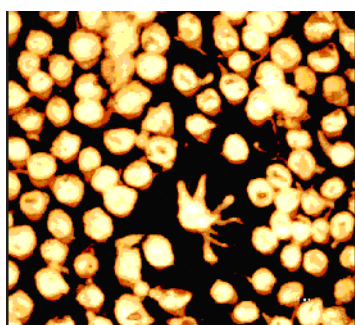


Рис. 5. Образование пузырьков воздуха при заполнении адгезивом просвета дентинных канальцев

нальцев на качество адгезии послужил тот факт, что при проведении испытания на разрыв тяжей адгезива могут в некоторых случаях практически свободно выходить из просвета дентинных канальцев, формируя своеобразный «лес» на поверхности композитной части образца (рис. 4).

Возможности конфокальной лазерной сканирующей микроскопии позволили исследовать гибридную зону практически на всю глубину, без деструктивных воздействий, а именно элиминации органической части дентина или высушивания в вакууме при подготовке образцов для растровой электронной микроскопии. В нашем исследовании мы рассматривали гибридную зону не только в привычном продольном пересечении, но и в поперечном, что позволяет более объективно судить о степени заполнения просвета дентинных канальцев. Было выявлено, что в непосредственной близости от гибридной зоны дентинные канальцы заполнены достаточно плотно, однако и здесь, в массе полимерной матрицы наблюдаются включения пузырьков воздуха (рис. 5).

При сканировании на большую глубину найдено, что тяж адгезива может заполнять менее половины просвета

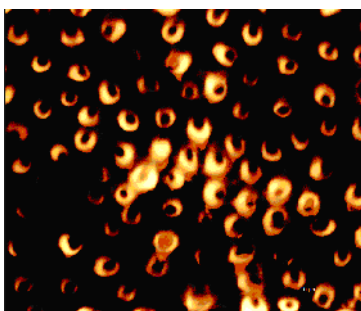


Рис. 6. Пенетрация адгезива в стенки дентинного канальца на глубине свыше 100 мкм

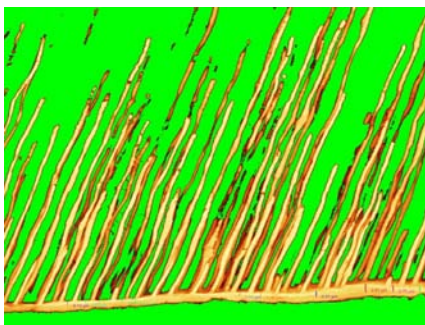


Рис. 7. Формирование тяжей самопротравливающего адгезива под действием вакуума

дентинного канальца. Практически адгезив просто стекает по стенке на определенную глубину. Повторный бондинг позволил визуализировать это явление. На расстоянии в 100–150 мкм от поверхности вообще не происходит формирование тяжа адгезива, наблюдается только пропитывание — прайминг стенок дентинных канальцев (рис. 6).

При продольном рассмотрении такой

каналец кажется заполненным. По результатам, полученным с помощью CLSM, можно заключить, что полноценной герметизации просвета дентинных канальцев не наблюдается и соответственно остается высокой опасность микроподтекания, бактериальной инвазии и т.д.

Самопротравливающие адгезивные посредники практически не проникают в систему дентинных канальцев и многочисленных анастомозов, формируя лишь единичные, слабо выраженные тяжи.

Применение вакуума позволило получить гибридную зону, аналогичную гибридной зоне образцов с техникой тотального травления (рис. 7), однако искусственно сформированные полимерные тяжи не привели к увеличению силы адгезии к поверхности дентина (табл. 1).

Термоциклическая нагрузка позволила выявить следующие закономерности. В сериях образцов, изготовленных без влияния фактора конфигурации полости при использовании вакуума происходит достоверное снижение показателей на 23% ($p < 0,01$). Без применения вакуума термоциклическая нагрузка не снижает показатели адгезии. Как и ожидалось, в полостях 1-го класса вследствие влияния фактора конфигурации полости уровень адгезии значительно ниже (67,6 МПа) по сравнению с образцами, полученными с выровненной поверх-

ТАБЛИЦА 1. ПОКАЗАТЕЛИ АДГЕЗИИ К ПОВЕРХНОСТИ ДЕНТИНА В ПОЛОСТЯХ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ (в МПа)

Конфигурация полости	Без вакуума		С вакуумом	
	без термоциклической нагрузки	с термоциклической нагрузкой	без термоциклической нагрузки	с термоциклической нагрузкой
Без С-фактора	90,9±27,6 (19)	92,7±31,8 (21)	86,7±27,4 (21)	71,8±26,9** (23)
Класс 1	67,6±26,5 (21)	50,2±20,3* (20)	57,2±19,4 (24)	47±14,2** (21)

Примечание. Здесь и в табл. 2: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; в скобках указано количество измерений.

ТАБЛИЦА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБРИДНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ САМОПРОВАЛИВАЮЩЕГО АДГЕЗИВНОГО ПОСРЕДНИКА (в мкм)

Группа	Толщина гибридного слоя	Длина тяжей	Толщина тяжей	
			основание	глубина
Без вакуума	1,03±0,16 (22)	10,8±9,6 (9)	1,95±0,52 (35)	—
Вакуум	1,8 ±0,61*** (39)	74,4±37*** (31)	2,2±0,45* (45)	1,48±0,29 (34)

ности дентина. Термоциклическая нагрузка также оказала максимальное деструктивное воздействие на зону соединения в замкнутом пространстве полости за счет различия коэффициентов термического расширения между композитом и твердыми тканями зуба. Применение вакуума не выявило положительных результатов в адгезии заместительного материала ко дну полости (57,2 МПа).

В то же время под действием вакуума происходит более выраженное заполнение просвета дентинных канальцев адгезивным посредником (табл. 2).

Толщина гибридного слоя увеличивается с 1,03 до 1,8 мм. Длина тяжей увеличивается в 7 раз ($p < 0,001$). Толщина тяжей увеличивается как в поверхностных, так и глубоких слоях дентина. При этом необходимо отметить, что в естественных условиях адгезивный посредник в глубину практически не проникает.

Таким образом, с точки зрения силы сцепления композитов с поверхностью дентина основным фактором является проникновение компонентов адгезивной системы в поверхность межтубулярного дентина. Пенетрация в просвет дентинных канальцев имеет второстепенное значение. С позиций качества герметизации можно также сказать, что новейшие открытия таких явлений, как трансудация дентинного ликвора сквозь гибридную зону и формирование так называемых водных деревьев при использовании нитрата серебра подтверждают тот факт, что после отверждения адгезивного посредника остается достаточно пространства как для центрального проникновения дентинного ликвора, так и для центростремительной инвазии бактерий и других активных веществ со стороны полости рта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. De Munck J., Van Landuyt J., Peumans M. et al. A Critical Review of the Durability of Adhesion to Tooth Tissue: Methods and Results. *J. Dent. Res.* — 2005. — Vol. 84. — 118—132.
2. Van Meerbeek B., De Munck J., Yoshida Y. et al. Buonocore memorial lecture: adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper. Dent.* — 2003. — Vol. 28, № 3. — P. 215—235.
3. Kenshima S., Francci C., Reis A. et al. Conditioning effect on dentin, resin tags and hybrid layer of different acidity Self-Etch adhesives applied to thick and thin smear layer. *J. Dent.* — 2006. — Vol. 34 — P. 775—783.
4. Lang H., Müllejans R., Schiller N. et al. Dentinal tubule orientation and bond strength of composite resins. *Dtsch. Zahnarztl. Z.* — 2001. — Vol. 56. — P. 527—531.
5. Inoue S., Koshiro K., Yoshida Y. et al. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J. Dent. Res.* — 2005. — Vol. 84. — P. 1160—1164.
6. Mitsui F., Peris A., Cavalcanti A. et al. Influence of thermal and mechanical load cycling on microtensile bond strengths of total and self-etching adhesive systems. *Oper. Dent.* — 2006. — Vol. 3. — P. 240—247.
7. Tay F.R., Pashley D.H. Have dentine adhesives become too hydrophilic? *J. Can. Dent. Assoc.* — 2003. — Vol. 69, № 11. — P. 726—731.
8. Van Meerbeek B., Van Landuyt K., De Munck K. et al. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent. Mater. J.* — 2005. — Vol. 24. — P. 1—13.
9. Nikolaenko S.A., Lohbauer U., Roggendorf M. et al. The influence of C-factor and layering technique on microtensile bond strength to dentin. *Dent. Mater.* — 2004. — Vol. 20. — P. 579—585.
10. Yoshida E., Uno S. Voids formation along the bonding interface between a smeared dentin surface and all-in-one adhesives. *Dent. Mater. J.* — 2004. — Vol. 23. — P. 643—649.