

**А. В. Поройская, Ю. А. Македонова, С. Н. Табульда, О. С. Альникина**

Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра патологической анатомии;  
Волгоградский медицинский научный центр;  
Лаборатория моделирования патологии

## **МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕНТИНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ БОНДИНГОВЫХ СИСТЕМ**

УДК 616-091.814

В эпоху современных технологий на стоматологическом рынке представлено большое разнообразие бондинговых систем. При пропитывании дентина адгезивной системой происходят гистологические изменения, влияющие как на сам дентин, так и на долговечность реставраций. Клиницист должен четко понимать морфологические изменения дентина под воздействием бондинговых систем различных поколений с целью правильного выбора праймера в зависимости от клинической ситуации в полости рта. В данной работе описаны изменения, происходящие в дентине. Эксперимент выполнен на удаленных зубах с применением современных адгезивов. После бондинга дентина в нижней части гибридного слоя остаются обнаженными некоторые волокна коллагена, как результат неполной пропитки смолой деминерализованной матрицы дентина. Открытые фибриллы коллагена могут быть гидролизированы дентин-матричными металлопротеиназами (МПП), что может привести к снижению прочности связи. Большинство ММП синтезируются и освобождаются из одонтобластов в виде проферментов, активирующихся при деминерализации внеклеточного матрикса. Они могут быть активированы под воздействием современных как самопротравливающих, так и традиционных адгезивов. Новые адгезивные системы должны обеспечить надежное ингибирование ММП с целью сохранения целостности гибридного слоя и улучшения прочности связей в адгезивных реставрациях.

*Ключевые слова: адгезивная система, дентин, коллаген, структура, изменения.*

**S. V. Poroyskaya, Yu. A. Makedonova, S. N. Tabulda, O. S. Alnikina**

## **MORPHOLOGICAL CHANGES OF DENTIN UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS BONDING SYSTEMS**

In the era of modern technology in the dental market presents a wide variety of bonding systems. When dentin is impregnated with an adhesive system, histological changes occur, affecting both the dentin itself and the durability of restorations. The Clinician should clearly understand the morphological changes of dentin under the influence of bonding systems of different generations, in order to choose the right primer depending on the clinical situation in the oral cavity. This paper describes the changes occurring in the dentin. The experiment was performed on the removed teeth using modern adhesives. After bonding dentin in the lower part of the hybrid layer remain exposed some collagen fibers as a result of incomplete impregnation with resin demineralized dentin matrix. Open collagen fibrils can be hydrolyzed by dentin matrix metalloproteinases (MPP), which can lead to decreased bond strength. Most MMPs are synthesized and released from odontoblasts in the form of Pro-enzymes activated by the demineralization of the extracellular matrix. They can be activated under the influence of modern both self-etching and traditional adhesives. New adhesive systems should provide reliable inhibition of MMP in order to preserve the integrity of the hybrid layer and improve bond strength in adhesive restorations.

*Key words: adhesive system, dentin, collagen, structure, changes.*

В последние несколько лет отмечается стремительное развитие дентин-связывающих бондингов. Коммерческие адгезивы предполагают нанесение кислоты (с последующей промывкой или без – у самопротравливающих) для поверхностной деминерализации дентина. Деминерализованный дентин затем пропитывается адгезивом для формирования так называемого «гибридного слоя». Гибридный слой структура, состоящая из коллагена I типа, протеогликанов и полимерных цепей. Инфильтрация адгезива начинается с распространения растворенных

жидких мономеров через зазоры между волокнами коллагена. Эти волокна коллагена внедряются в матрикс протеогликанов, что и играет основную роль в поддержании их стабильности в деминерализованном дентине [3, 15].

Большинство адгезивов обладают достаточными свойствами, чтобы противодействовать полимеризационной усадке и обеспечивать высококачественные немедленные связи. Тем не менее прочность бондинга в отдаленные сроки все еще является проблемой [9]. Успешное достижение долгосрочных связей с дентином оста-

ется сложной задачей, требующей тщательной инфильтрации деминерализованного дентина для формирования стабильного гибридного слоя [16]. Многие исследования показали, что бондинг-дентинные связи, созданные современными гидрофильными адгезивами, ухудшаются с течением времени [5]. Морфологические свидетельства гидролитической деструкции коллагена дентина и/или смолы были найдены в нескольких исследованиях, оценивающих отдаленные результаты *in vivo* [7].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить морфологические изменения дентина при нанесении современных бондинговых систем, применяемых на стоматологическом приеме.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для данного исследования были отобраны 60 удаленных человеческих зубов без учета возраста, пола и причины удаления. Зубы были тщательно очищены, дезинфицированы и обработаны стандартной химико-механической обработкой. Сформирована кариозная полость средних размеров, бондинг производился адгезивными системами 6-го и 7-го поколений. Зубы после пломбирования и отверждения материала выдерживали в термостате (при 37 °С 48 часов). Окрашивание зуба проводили метиленовым синим в течение 48 часов. Данный выбор

связан с тем, что метиленовый синий легко поддается визуальному обнаружению и точно измерению оставленного следа. Раствор метиленового синего имеет низкий молекулярный вес и проникает более глубоко вдоль пломб по сравнению с другими красителями. По окончании указанного времени исследуемые корни зубов были промыты дистиллированной водой, воск и лак с поверхности цемента удалены механическим способом. Полученные образцы фотографировали цифровой камерой Canon (Japan, 5.0 мегапикселей) на базе микроскопа Axiostar plus (Карл Цейс, Германия) с использованием объектива x50; x100, x400 и окуляра x10.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При применении адгезива Prime&Bond диффузия мономера в деминерализованной дентина происходит с уменьшением градиента концентрации мономера. Это приводит к тому, что в нижней части гибридного слоя остаются незащищенные и уязвимые волокна коллагена (рис. 1 А). Недостаточное проникновение смолы наблюдалось также в самопротравливающих адгезивных системах Бонд Форс II – Bond Force II. Наличие микроподтеканий в эти заполненные водой пространства с непокрытыми волокнами коллагена было подтверждено гистологически (рис. 1Б).

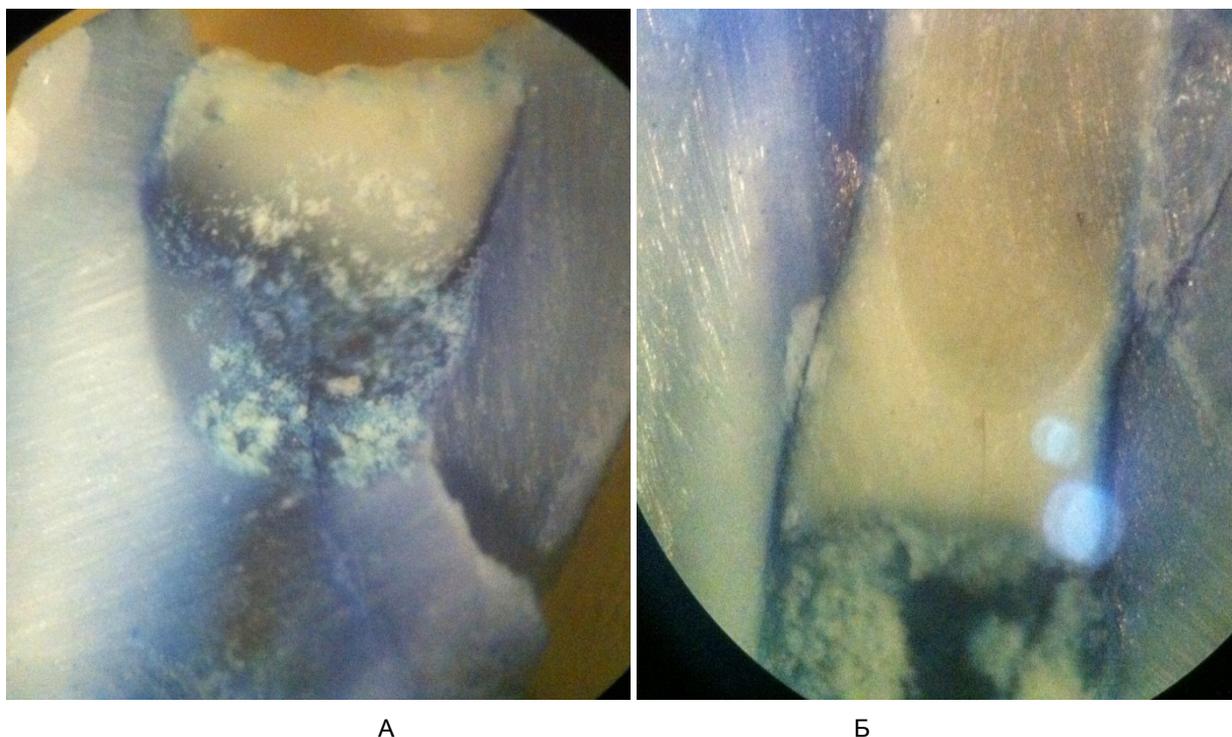


Рис. 1. Проникновение красителя на границе дентин-адгезив:  
А – адгезив Prime&Bond; Б – Бонд Форс II – Bond Force II. Окраска гематоксилин-эозином. Ув. x400

Отмечалось хаотичное расположение этих волокон из-за отсутствия защитного покрытия, обеспечиваемого полимером адгезива. Все это приводит к ослаблению силы сцепления.

Широко известно, что распространенные сегодня на рынке адгезивы содержат высокие концентрации ионов и гидрофильных мономеров, чтоб обеспечить сцепление с влажным дентином, а также для травления и обработки одновременно как эмали, так и дентина. Однако

у этих же мономеров имеется и несколько нежелательных эффектов.

Например, они могут образовывать проницаемый нестабильный слой, способный к адсорбции воды, с последующим оцелачиванием и гидролизом полимера. Таким образом, в течение долгого времени одновременно в нижних слоях гибридного слоя волокна коллагена разрушают ММП, а в верхних происходит гидролиз слоя нестабильного слоя полимера (рис. 2).

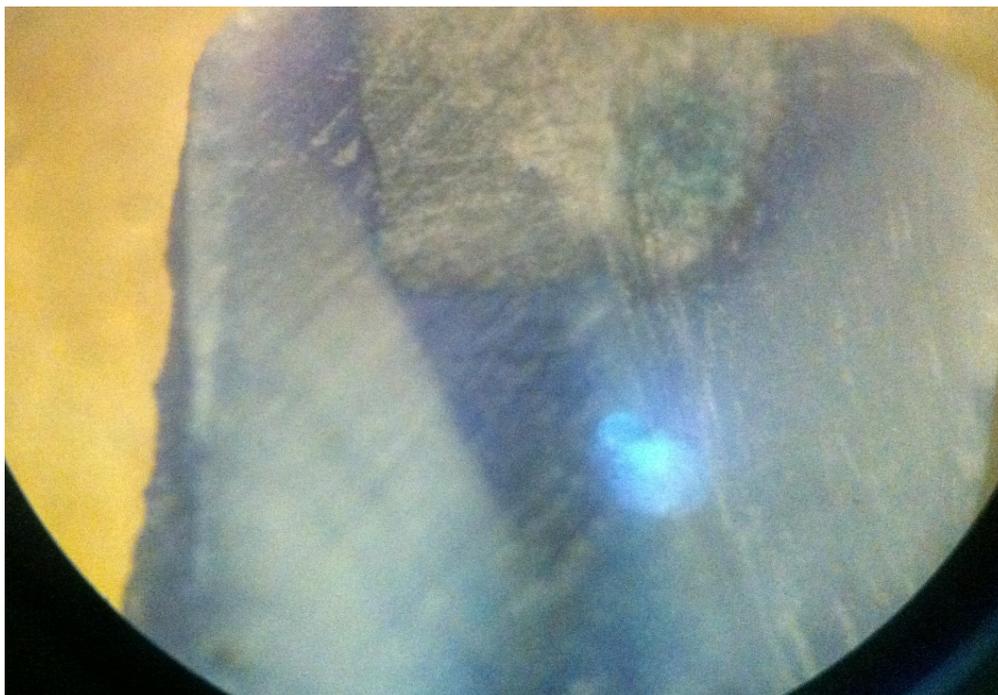


Рис. 2. Окрашивание границы пломба-дентин. Окраска гематоксилин-эозином. Ув. х400

При обработке кариозной полости при применении бондинговой системы обязательным условием является протравливание эмали зуба. Низкий pH 37 % геля фосфорной кислоты (pH 0,17) приводит не только к деминерализации порошка дентина и активации ММП, но и к денатурации этих ферментов. Значения pH многих коммерческих упрощенных адгезивов, содержащих кислотные мономеры, находятся между 1 и 2, этого достаточно для деминерализации дентина, но не достаточно для денатурации ММП. Таким образом, скрытая ММП может быть активирована самопротравливающими адгезивами, что приводит к деструкции коллагена, участвующего в бондинге, и уменьшает прочность соединения в отдаленные сроки [12].

Несколько факторов снижают долговечность бондинга. Например: применение упрощенных адгезивов, недостаточное проникновение смолы, высокая проницаемость бондинга и активация эндогенных коллагенолитических

ферментов. После поверхностной деминерализации, смолы адгезива инфильтрируют ЕСМ дентина и полимеризуются *in situ*, формируя так называемый «гибридный слой» [1]. Успешное долгосрочное связывание зависит от образования однородного и сильного гибридного слоя при идеальном проникновении смолы в субстрат дентина. Морфологические свидетельства гидролитической деградации коллагена в гибридном слое после длительного периода были представлены в нескольких исследованиях. Деградация коллагена гибридного слоя предполагает наличие открытых фибрилл коллагена. Наличие непокрытых волокон коллагена в нижней части гибридного слоя из-за несовершенства пропитки смолой деминерализованной дентина матрицы было подтверждено [4, 13]. Хотя самопротравливающие адгезивы и имеют возможность для травления и проникновения одновременно, они также могут обладать недостаточным проникновением.

В дополнение к несовершенному проникновению в субстрат дентина, вода – еще один фактор, способствующий гидролитической функции ММП. ММП – гидролазы, под воздействием воды (например, слюна) они гидролизуют пептидные связи в коллагене, что приводит к деструкции бондинговой поверхности. Недавние исследования подтвердили важную роль воды в разрушении бондинга, когда образцы были погружены в минеральное масло, потери силы сцепления со временем не происходило. Это согласуется с другим исследованием, показавшим, что коллаген в частично деминерализованном дентине, хранившемся в искусственной слюне, был почти разрушен после 250 дней, но этого не происходило в минеральном масле [2, 15].

Вымывание смол также происходит с течением времени через каналы микроподтеканний, образованными нестабильным полимерным гидрогелем, формирующимся в толще гибридного слоя. Это приводит к обнажению коллагеновых волокон, которые подвергаются последующему гидролизу протеолитическими ферментами, высвобождающимися из матрицы

дентина. Это может быть причиной почти полного исчезновения части гибридного слоя после 4 лет хранения в воде.

Разрушение коллагена может увеличить содержание воды и быть основной причиной дальнейшей деградации коллагена на границе бондинга, вызывая ухудшение долгосрочных связей (рис. 3).

И в заключение было доказано, что ММП принимают участие в деструкции коллагена в отдаленные сроки, если при формировании гибридного слоя волокна коллагена были недостаточно пропитаны адгезивом. Это разрушение угрожает целостности бондинга.

*In vitro* была подтверждена ответственность собственных протеиназ дентина за гидролиз коллагена дентина в гибридном слое, как следствие неполноценной инфильтрации [1, 6]. Для достижения прочных связей рекомендовано как можно полное пропитывание. Покрытие коллагена смолой защищает его от последующей деградации. При отсутствии непокрытых волокон коллагена деградация гибридного слоя перестает быть проблемой [8] (рис. 4).



Рис. 3



Рис. 4

Если адгезив запечатывает матрикс дентина и предохраняет его от воды, то это защищает коллаген от гидролиза ММП. Однако как долго это продолжается, до сих пор не ясно [11].

В последнее время были сформулированы основные проблемы в отношении обеспечения долговечности бондинга. Долговечности угрожает дезагрегация гибридного слоя, главным образом, из-за активации дентинных ММП. Для достижения превосходной инфильтрации мономеров, ингибирования деструкции коллагена, а также для замедления сорбции воды были предложены несколько методов: использование гидрофобного адгезива, имеющего низкий уровень сорбции воды и растворимость, после применения «все в одном» праймера, нанесение нескольких слоев, удлинение времени отверждения [4, 10], увеличение испарения растворителя использование электрического тока [14].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на сегодняшний день не существует идеальной бондинговой системы, обеспечивающей качественный герметизм.

Новые адгезивные системы должны способствовать сохранению целостности гибридного слоя и улучшению прочности связей в адгезивных реставрациях, что, в свою очередь, позволит повысить долговечность пломб и улучшить клинические результаты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Activation of gelatinolytic/collagenolytic activity in dentin by self-etching adhesives [Text] / Y. Nishitani [et al.] // *Eur J Oral Sci.* – 2006. – Vol. 114 (2). – P. 160–166.
2. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges [Text] / B. van Meerbeek [et al.] // *Oper Dent.* – 2003. – Vol. 28 (3). – P. 215–235.
3. Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo [Text] / J. Hebling [et al.] // *J Dent Res.* – 2005. – Vol. 84 (8). – P. 741–746.
4. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging [Text] / D. H. Pashley [et al.] // *J Dent Res.* – 2004. – Vol. 83 (3). – P. 216–221.
5. Conversion of one-step to two-step self-etch adhesives for improved efficacy and extended application

- [Text] / N. M. King [et al.] // Am J Dent. – 2005. – Vol.18 (2). – P. 126–134.
6. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface [Text] / L. Breschi [et al.] // Dent Mater. – 2008. – Vol. 24 (1). – P. 90–101.
  7. Electric device improves bonds of simplified etch-and-rinse adhesives [Text] / G. Pasquantonio [et al.] // Dent Mater. – 2007. – Vol. 23 (4). – P. 513–518.
  8. Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin [Text] / J. De Munck [et al.] // J Dent Res. – 2003. – Vol. 82 (2). – P. 136–140.
  9. Immunohistochemical localization of matrix-metalloproteinase-2 in human coronal dentin [Text] / L. W. Boushell [et al.] // Arch Oral Biol. – 2008. – Vol. 53 (2). – P. 109–116.
  10. *In vivo* chlorhexidine stabilization of hybrid layers of an acetone-based dentin adhesive [Text] / M. G. Brackett [et al.] // Oper Dent. – 2009. – Vol. 34 (4). – P. 381–385.
  11. *In vivo* preservation of the hybrid layer by chlorhexidine [Text] / M. R. Carrilho [et al.] // J Dent Res. – 2007. – Vol. 86 (6). – P. 529–533.
  12. Influence of whitening on the degree of conversion of dental adhesives on dentin [Text] / M. Cadenaro [et al.] // Eur J Oral Sci. – 2006. – Vol. 114 (3). – P. 257–262.
  13. Matrix metalloproteinase-8 (MMP-8) is the major collagenase in human dentin [Text] / M. Sulkala [et al.] // Arch Oral Biol. – 2007. – Vol. 52 (2). – P. 121–127.
  14. Micromorphological changes in resin-dentin bonds after 1 year of water storage [Text] / M. Hashimoto [et al.] // J Biomed Mater Res. – 2002. – Vol. 63 (3). – P. 306–311.
  15. Permeability of adhesive resin films [Text] / M. Hashimoto [et al.] // J Biomed Mater Res B Appl Biomater. – 2005. – Vol. 74 (2). – P. 699–705.
  16. Self-etching increases matrix metalloproteinase expression in the dentin-pulp complex [Text] / N. Lehmann [et al.] // J Dent Res. – 2009. – Vol. 88 (1). – P. 77–82.