

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БОНДИНГОВЫХ СИСТЕМ

Катышева И.Е.

ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И.

Евдокимова” Минздрава России

Появление адгезивных систем было напрямую связано с появлением группы композитных пломбирочных материалов. До этого момента все используемые в стоматологии материалы обладали только механической ретенцией с твердыми тканями зуба, что требовало определенных подходов к препарированию, в частности препарирование с расширением, полное удаление свободной эмали, создание элементов макроретенции (дополнительные площадки). С 90-х годов XX века все реставрационные технологии были направлены на минимально инвазивные вмешательства. Появление адгезивных пломбирочных материалов позволило удалять только пораженные кариесом ткани без необходимости создания дополнительных элементов макроретенции, что позволяло добиться хорошего функционального результата. Несмотря на стремительное развитие адгезивной стоматологии, современный врач-стоматолог до сих пор сталкивается в клинической практике с проблемой недостаточной долговечности изготовленных реставраций. Нарушение краевого прилегания пломбы, возникновение микроподтекания, и иногда постпломбирочная гиперчувствительность - все это неизбежные осложнения, которые могут возникнуть из-за нарушений адгезивного протокола, а также из-за несовершенства самих адгезивных систем. В данный момент ведется активный поиск идеальной бондинговой системы, которая отвечала бы всем современным требованиям и позволяла бы установить сильную и долговременную связь с твердыми тканями зуба, которая также была бы проста в применении и не требовала больших временных затрат. В результате, появляется все больше новых методик, постоянно пополняется и без того обширный ассортимент адгезивных материалов. Данная ситуация может привести к возникновению некоторых сложностей в выборе той или иной технологии. Для того, чтобы иметь возможность улучшить свои клинические результаты, врач должен быть в курсе современных тенденций, что позволит ему лучше ориентироваться среди новых методов и выбрать для себя наиболее оптимальный из них. Целью данного обзора является ознакомление с существующими адгезивными системами, особенностями и способами их применения, выявление основных проблем современной адгезивной стоматологии, их механизма возникновения и методов их решения путем изучения и анализа литературных источников. Особенно подробно будут рассмотрены адгезивные протоколы с применением хлоргексидина и этанола, вокруг которых в настоящее время ведется много споров.

The stability of the bond between dentin and restoration material is the main problem of modern adhesive systems. When using the system total etching significantly lost bond strength for 0.5-5 years. It can lead to secondary caries, hypersensitivity and eventually to loss of restorations. The decrease in strength is associated 1) with incomplete infiltration of the collagen network bendingbow components of the system, which leads to nanomedicine dentinal fluid and gradual destruction of the created hybrid layer; 2) with the action of activated matrix metalloproteinases, which are found in non-filtered collagen in basal part of the hybrid layer. Despite the fact that the application of self-etching systems occurs complete infiltration of the collagen, adapttochange still occurs because the monomers these systems contain more hydrophilic monomers, which increases permeability hybrid layer for water and promotes the leaching of monomers. To cope with these problems, several methods have been proposed. It is impossible to say with certainty, the use of which of the methods will lead to the greatest clinical success, because at the moment there are no long-term studies that could tell about their effectiveness in the years ahead. According to the results of studies, when using the Protocol with chlorhexidine or ethanol with total etching systems the bond with dentin is maintained for for a longer period of time, but unfortunately, these methods can not completely to prevent nanomedecine and gradual loss of adhesive bond, but it is definitely, an important step towards strong and stable adhesion between dentin and composite material. At the moment, there is no ideal bonding system that would met all modern requirements. However, adhesive dentistry does not stand on place. Every day there are new technologies. The task of the dentist is to, to ensure that the choice of materials and methods of work is based on scientific data, which will allow improve clinical outcomes.

**Ключевые слова:** особенности, применение, адгезивные системы, современные, бондинговые системы, features, application, adhesive systems, modern, bonding systems.

**Основная часть**

Первые бондинговые системы образовывали связь между смазанным слоем и пломбировочным материалом. Смазанный слой в то время был неизвестен. В приложении 1 можно увидеть, как глобулы смазанного слоя находятся в устьях дентинных трубочек. Сила связи, которая возникает между смазанным слоем и бондинговой системой достигает величины от 5 до 10 МПа. В то же самое время полимеризационный стресс пломбировочного материала составляет от 15 до 17 МПа. Таким образом, сила стресса превышает силу связи - отсюда возникает отрыв[14].

В 1995 году доктор Michael Buonocore предложил протравливать эмаль 85% раствором ортофосфорной кислоты. Он заметил, что протравливание эмали увеличивает силу связи до 20-25 МПа. После протравливания эмаль высушивалась. Успешность этой техники была обусловлена тем, что эмаль содержит мало органических компонентов в отличие от дентина, и высушивание эмали не приводит к ухудшению силы связи. Когда Буанокор попробовал протравливать дентин, он обнаружил, что протравленный и высушенный дентин имеет такую же силу связи с пломбировочным материалом, как со смазанным слоем[14].

В 1982 доктор Nabuo Nakabayashi в своей научной работе показал, что происходит с дентином после его кислотного протравливания и промывания водой. Утратив свою минеральную составляющую, дентин оставляет за собой только коллагеновый матрикс. Если такой дентин пропитывается композиционными смолами - он превращается в кислотоустойчивую гидрофобную структуру. Именно Nakabayashi ввел термин "гибридный слой"[12].

Примерно в то же самое время доктор Такао Fusayama предложил методику тотального протравливания эмали и дентина. Чтобы вернуть после высушивания дентина его исходную структуру, стали использовать растворы метакрилатов в летучих растворителях или праймеры. Бондинг стал трехступенчатым процессом: тотальное травление и промывание, нанесение праймера и нанесение адгезива[20].

Следующее большое достижение в бондинге произошло в 1990 году - доктор John Kanak разработал технику влажного бондинга[10]. До него никто не знал, что жесткость минерализованного дентина составляет 19000 МПа, а жесткость протравленного кислотой дентина составляет 1 МПа. Образно говоря, коллагеновые фибриллы протравленного дентина подвешены в воде. Это приводит к тому, что после высушивания, протравленный дентин способен потерять до 65% своего объема за счет уменьшения межфибрилярного пространства. Коллапсированная коллагеновая сеть превращается в практически непроницаемую для композиционных смол пленку. Не пропитанные таким образом коллагеновые фибриллы, находящиеся под слоем полимеризованной смолы, медленно гидролизуются. Это приводит к тому, что нарушается прилегание и возникает дефект. Доктор

Kanka обнаружил, что если не убирать оставшуюся после протравливания дентина воду, то силу бондинга можно удвоить. Электронные микрофотографии показали, что гибридный слой при влажном бондинге увеличивается. Однако стоит учитывать тот факт, что способность входящего в состав праймера ацетона или этанола выгонять воду из коллагеновой фибриллярной сети не всегда совершенна. Часто бывает так, что вода растворяется в растворителе так быстро, что мономер больше не может оставаться растворенным, меняет свое агрегатное состояние и может даже превратиться в глобулы[14]. И это будет причиной ухудшения силы бондинга и причиной возникновения постпломбировочной чувствительности.

Стоит сказать пару слов об однокомпонентных бондинговых системах, которые сочетают в себе праймер и адгезив одновременно. Данные системы принадлежат к пятому поколению адгезивов и появились в середине 90-х гг[20]. Здесь необходимы два нанесения. В первый раз адгезив наносится в качестве праймера для того, чтобы восстановить коллагеновую фибриллярную сеть протравленного дентина и устранить лишнюю воду. Второй раз - для того, чтобы растворить глобулы изменившего свое агрегатное состояние мономера и сделать таким образом гибридный слой более гомогенным. Но на этом этапе развитие не прекратилось.

Уже в начале 90-х гг. XX появляется шестое и седьмое поколения адгезивных систем, которые представлены самопротравливающими системами[20]. Их преимуществом является то, что они гораздо менее чувствительны к нарушению адгезивной подготовки полости зуба, в отличие от четвертого и пятого поколений, в которых применяется метод тотального протравливания дентина. При этом устанавливается высокая сила связи с дентином с минимальным риском возникновения постпломбировочной чувствительности, не говоря уже о простоте и высокой скорости работы с данными системами, что особенно актуально для детской стоматологии. Однако самопротравливающие системы имеют и недостатки, к которым относится недостаточная эффективность протравливания интактной эмали, высокая стоимость и необходимость хранения в холодильнике. Кроме того, если говорить о седьмом поколении адгезивных систем, то пока на данный момент отсутствуют отдаленные клинические результаты их использования.

В связи со всем выше перечисленным возникает вопрос о том, что же может помочь устранить проблемы присущие современным адгезивам и повысить долговечность реставраций.

Как показывают исследования, в течение первых 0,5-5 лет происходит значительное снижение прочности и стабильности связи[15]. Уменьшение прочности связи дентина с реставрационным материалом в настоящее время происходит в основном из-за следующих

факторов: 1) наноподтекание дентинной жидкости в результате неполноценной инфильтрации коллагеновой сети бондинговой системой; 2) гидролиз гибридного слоя активными матричными металлопротеиназами; 3) гидрофильность связующих агентов, приводящих к поглощению воды и вытеснению мономеров. Данные проблемы адгезивных систем вытекают из гидрофильных свойств дентина и гидрофобных свойств композитного материала.

Матричные металлопротеиназы (ММП) впервые были описаны в 1962 году [8]. Это ферменты принадлежат к семейству эндопептидазы и локализуются во внеклеточном матриксе. ММП участвуют в ремоделировании тканей, подвергая белки, преимущественно коллаген, распаду путем гидролиза. К примеру, ремоделирование тканей происходит в процессе заживления и образования новых сосудов. ММП можно встретить почти во всех тканях организма, в том числе в слюне, десневой жидкости и дентине [11]. В дентине из 23 видов ММП встречаются: ММП2, 3, 8, 9 и 20 [21]. Они секретируются одонтобластами во время дентиногенеза и в дальнейшем встраиваются в структуру дентина в неактивной форме. Для того, чтобы ММП полноценно функционировали, необходима их активация, которая происходит под действием кислот с рН ниже 4,5 [11]. В зависимости от типа адгезивной системы ММП влияют по-разному на связь между дентином и композиционным материалом.

Современные адгезивные системы действуют по двум принципам: принцип тотального травления и принцип самопротравливания. Система тотального протравливания содержит фосфорную кислоту, которую используют для предварительной обработки твердых тканей зуба, затем кислоту смывают и после бережного высушивания наносят адгезив. Самопротравливающие адгезивы содержат кислотные мономеры, которые одновременно используются в качестве протравки и праймера. Системы тотального протравливания представлены в виде двух- и трехкомпонентных систем (5 и 4 поколения соответственно) в зависимости от того, наносится ли праймер отдельно или совместно с бондом. Аналогичным образом самопротравливающие системы доступны в виде одно- или двухступенчатых систем. Действие обеих систем основано на создании гибридного слоя путем пропитки смолами пористой эмали и дентина [13].

Так, при использовании, так называемой "etch and rinse system" или системы тотального травления, после воздействия на дентин 37% фосфорной кислотой обнажается коллагеновая фибриллярная сеть, которая впоследствии при идеальных условиях должна быть полностью инфильтрирована компонентами бондинговой системы с образованием гибридного слоя. [3] Однако оставшаяся в коллагене вода и градиент концентрации адгезива предотвращают глубокую инфильтрацию обнаженной фибриллярной сети. В базальной части гибридного слоя всегда остаются области с неинфильтрированным коллагеном, богатые на воду и бедные на связующие компоненты [15,3]. Впервые это явление было описано в 1995 году и было названо

"наноподтеканием"[19]. В отличие от микроподтекания, при котором происходит разрыв между дентином и реставрационным материалом, наноподтекание происходит в результате утечки дентинной жидкости без образования разрыва. Как следствие, возникает нанопористость в базальной части гибридного слоя. Данный аспект может быть усугублен слишком длительным протравливанием и пересушиванием дентина. Чрезмерное высушивание приводит, как уже говорилось, к коллапсу коллагеновой сети, что значительно усложняет проникновение компонентов бондинговой системы и, следовательно, образование гибридного слоя. Чрезмерное протравливание дентина приводит к более глубокой деминерализации и обнажению коллагена, в результате чего адгезив не может эффективно проникнуть в глубокий базальный слой коллагеновой сети, усиливая таким образом наноподтекание[24]. Под действием фосфорной кислоты ( $\text{pH}=0,4$ ) и кислотных мономеров адгезива ( $\text{pH}=2-2,8$ ) активируются находящиеся в дентине ММП[15,3], которые разрушают открытый коллаген в нижней части гибридного слоя. Постепенно коллагеновые фибриллы распадаются и образуются нанопоры. Клинически это проявляется нарушением краевого прилегания, разрушением реставрации, вторичным кариесом и гиперчувствительностью[4,11].

Для того, чтобы предотвратить разрушение гибридного слоя матриксными металлопротеиназами, целью адгезивных технологий должна быть либо полноценная инфильтрация обнаженного под действием фосфорной кислоты коллагена, либо инактивация ММП, расположенных в деминерализованной зоне. Для этих целей предлагается использование раствора хлоргексидина в качестве праймера после травления и перед нанесением адгезива.[4,15,11,3] Подавляющее большинство экспериментов, направленных на повышение прочности соединения с дентином были проведены с хлоргексидином. Хлоргексидин действует как неспецифический ингибитор ММП. Он эффективно ингибирует ММП-2, -9, -8, зменяя их трехмерную структуру, замещая ионы кальция и цинка, которые необходимы для их функционирования. Причем *in vitro* хлоргексидин способен ингибировать все существующие в дентине ММП только в концентрации 0,02%[4]. Кроме того, хлоргексидин обладает свойством так называемой субстантивности. Этот термин описывает химическое свойство хлоргексидина, которое позволяет ему не разрушаться и оказывать воздействие более длительный промежуток времени. В связи с этим ряд авторов предполагает, что концентрация и время аппликации хлоргексидина имеет второстепенное значение[4]. Соответственно, рекомендации варьируются от применения 2% хлоргексидина в течение 60 секунд[4,2,11] до применения 0,002%[4,2] хлоргексидина в течение 15 секунд[2]. Алгоритм нанесения довольно прост и включает в себя первым этапом процедуру травления 37% фосфорной кислотой и тщательное удаление кислоты. Далее наносится хлоргексидин с

помощью специального спонжика. По прошествии времени экспозиции полость зуба высушивается воздухом и повторно увлажняется адгезивом.

Преимуществом данного метода является то, что компоненты бондинговой системы, такие как спирт или мономер НЕМА (гидроксиэтил метакрилат) не растворяют хлоргексидин. И наоборот, хлоргексидин не ухудшает свойств адгезива, как *in vitro*, так и *in vivo*, позволяя сформировать постоянный гибридный слой[4,11]. Непосредственная сила связи при этом не меняется, однако значительно улучшается стабильность адгезионного соединения.

Как показали исследования[4,2,1], с адгезивами пятого поколения потеря прочности соединения в контрольной группе зубов в течение 1-2 лет составила приблизительно 50%. Однако зубы, предварительно обработанные хлоргексидином, показали потерю прочности - 20-25%, что в два раза ниже, чем в контрольной группе.

Влияние хлоргексидина на прочность связи с бондами четвертого поколения мало изучено[16]. По результатам исследований, хлоргексидин несколько улучшал степень адгезии, но различия с контрольной группой были статистически незначительными. Причиной может быть относительно низкая потеря прочности связи в контрольных группах, что еще раз демонстрирует лучшие результаты применения четвертого поколения адгезивных систем по отношению к пятому поколению.

Таким образом, применение хлоргексидина после процедуры травления приводит к значительному уменьшению разрушения гибридного слоя, к сохранению связи с дентином в течение более длительного времени, а также к заметному сокращению наноподетканий[4,2]. Тем не менее, максимальный срок исследования пока составил всего два года[11]. Следовательно, на данный момент мало что известно о том, как долго хлоргексидин может поддерживать свой ингибирующий эффект на ММП.

Между тем предпринимаются попытки совместить хлоргексидин с фосфорной кислотой или бондом[21,11]. Такие адгезивы имеют преимущество, поскольку нет необходимости в дополнительных этапах работы и дополнительных материалах, что упрощает задачу и требует меньших временных затрат. Например, проведенное в 2009 исследовании *in vitro*[21] показало, что совмещение 2% хлоргексидина с 37% фосфорной кислотой приводит к результатам, аналогичным тем, которые были получены с использованием хлоргексидина в качестве праймера после процедуры протравливания. В обоих случаях соединение с дентином оставалось стабильным в течение первых шести месяцев, в то время как в контрольных образцах, на которых хлоргексидин не применялся, уже появились признаки распада гибридного слоя.

В самопротравливающих системах травление дентина, обнажение коллагена и проникновение компонентов адгезива внутрь обнаженной фибриллярной сети происходит

одновременно[5,6]. В результате протравленный коллаген пропитывается полноценно, поскольку нет разницы в глубине проникновения кислоты и мономеров праймера. На первый взгляд, кажется, что у самопротравливающих систем не должно возникать проблем, связанных с наноподтеканием, как у систем тотального протравливания. Однако, проводилось исследование[5], где изучались десять самопротравливающих адгезивов. Исследование показало, что если в адгезивной системе содержатся слабые кислоты, то в дальнейшем могут возникать наноподтекания. Кроме того, в отличие от систем тотального протравливания, самопротравливающие системы содержат больше гидрофильных мономеров, что способствует повышению проницаемости гибридного слоя для воды и приводит к усиленному вымыванию мономера[3]. Следовательно, и при использовании систем самопротравливания обнажаются коллагеновые волокна, которые впоследствии могут быть разрушены потенциально активными ММП. Однако в литературе есть противоречивые данные о том, повышают ли данные системы активность ММП[6]. Введение в состав бондинговой системы ингибиторов ММП помогло бы решить проблему. Однако, по результатам исследования, включение 0,05% раствора хлоргексидина в самопротравливающий праймер не помогло предотвратить снижение силы сцепления с дентином[6].

Помимо ММП, на состояние гибридного слоя, на прочность адгезионного соединения между зубом и композиционным материалом влияет еще одна группа ферментов - цистеиновые катепсины (ЦК). Они относятся к эндопептидазам, которые продуцируются различными типами клеток, включая одонтобласты и пульпарные клетки. ЦК способны гидролитически разлагать компоненты внеклеточного матрикса, в частности коллаген. Подобно ММП, эти ферменты участвуют в разрушении обнаженного коллагена на дне гибридного слоя[23]. Исследования показали, что благодаря своему неспецифическому действию хлоргексидин способен инактивировать не только ММП, но и цистеиновые катепсины[23]. Следовательно, использование хлоргексидина в качестве праймера обладает дополнительным преимуществом, устраняя необходимость в использовании дополнительного ингибитора ЦК.

Помимо использования хлоргексидина для предотвращения активации ферментов были предложены и другие методы. Некоторые из них уже продемонстрировали клиническую эффективность, в то время как другие должны быть исследованы далее, прежде чем будут внедрены в повседневную практику врача-стоматолога.

В настоящее время очень популярен метод с использованием этилового спирта. Впервые о спиртовом протоколе заговорили в 2007 году[22]. В журнале по адгезивной стоматологии появилась статья, авторы которой утверждали, что гидрофильные мономеры, используемые в современных адгезивных системах улучшают их увлажняющие свойства и

позволяют избежать фазовых изменений при использовании гидрофобных мономеров. С другой стороны, как говорилось выше, адгезивы, содержащие гидрофильные мономеры демонстрируют более высокое сродство с водой. Это приводит в быстрому ухудшению их механических свойств. Важно напомнить, что при контакте с водой гидрофобные молекулы меняют свое фазовое состояние и при полимеризации образуют нерастворимые конъюгаты[14]. Авторы статьи решили, что раз гидрофильный гибридный слой быстро разрушается в полости рта, то необходимо сделать его более гидрофобным. В идеале, необходим гидрофильный мономер, который при полимеризации становится гидрофобным, но такого мономера не существует. Поэтому они решили пойти другим путем, а именно сделать протравленный дентинный матрикс менее гидрофильным. И это они решили сделать при помощи замещения воды дентинного протравленного матрикса на этанол.

Для создания качественного гибридного слоя необходимо сохранить структуру и упорядоченность коллагена. На химическом уровне в нормальном растянутом водой матриксе вода связывается с карбоксильными и имидными группами коллагена. Если же мы высушим полость, лишим коллаген этой воды, то водородные связи образуются между молекулами коллагена, и это приведет к коллапсу[10]. Сила водородных связей коллапсированного матрикса равняется  $14,8 \text{ (Дж*см}^3\text{)}^{1/2}$ . Чтобы вернуть коллагеновый матрикс в исходное состояние, необходимо, чтобы на него подействовало вещество с большей силой водородных связей. Различных вещества способны по-разному расширять коллагеновый матрикс. Вода обладает наибольшим потенциалом для решения этой задачи. Этанол обладает меньшей силой водородных связей, поэтому он недостаточно хорош для этого. Однако им можно заменить воду коллагенового матрикса, и при этом коллапс коллагеновых фибрилл будет минимален[22].

Кроме того, этанол способен создать лучшие условия для инфильтрации гидрофобным мономером[22]. Чтобы это доказать, необходимо обратимся к теории Хоя. Теория Хоя говорит о совместимости двух составляющих в случае, если разница между параметрами их растворимости меньше пяти. Чем меньше разница, тем лучше и совместимость. Инфильтрация дентина этанолом приводит к уменьшению его параметра растворимости и таким образом улучшает условия для соединения. Во-первых, благодаря этой теории мы получаем объяснение почему гидрофобные мономеры лучше растворяются в этаноле. Во-вторых, мы получаем научное подтверждение, почему спиртовой адгезивный протокол позволяет использовать все их преимущества. Помимо всего, этанол вызывает усадку протеогликанов, расположенных между фибриллами коллагена[22]. Тем самым он увеличивает межфибрилярное пространство, снова способствуя лучшей инфильтрации бондинговой системой.

Наконец, главная задача адгезивной стоматологии - увеличить срок службы гибридного слоя. Во влажной среде и под действием тока дентинной жидкости гидрофильный гибридный слой разрушается. В гибридном слое образуются каналы. По этой причине на гидрофобный гибридный слой возлагаются большие надежды. Кроме того, в водной среде начинают действовать ферменты, разрушающие коллаген, такие, например, как матриксные металлопротеиназы (ММП). Спиртовой адгезивный протокол устраняет лишнюю воду и лишает ММП среды ее действия[22,18].

В 2009 году группа исследователей изучала, как изменяется состояние гибридного слоя в течение 6 месяцев после различных пяти методик спиртового протокола[7]. Условно их можно разделить на полные и упрощенные. Исследователей интересовало, как поведут себя упрощенные методики. Что касается полных методик, то в их основе лежит процесс, который называется полная химическая дегидратация. Этот термин пришел из гистологии и обозначает выдерживание исследуемого материала в повышающихся концентрациях растворителя с целью его обезвоживания. В нашем случае необходимо применение 50, 70, 80, 95% спирта в течение 30 секунд и также трехкратное применение 100% спирта по 30 секунд. При самом быстром и точном исполнении данная техника занимает минимум 3-4 минуты, что делает ее довольно сложной и длительной для клинического применения. В связи с этим было решено уменьшить время экспозиции на 15 секунд. Общее время процедуры сократилось в два раза.

В упрощенных техниках производится экспозиция лишь 100% этанола по схеме:

- 7 раз по 30 секунд
- 3 раза по тридцать секунд
- 1 раз по 30 секунд

. В первую очередь, необходимо избегать высыхания поверхности протравленного дентина, потому что коллапс коллагеновых фибрилл перечеркнет все усилия. Также необходимо абсорбировать лишние растворители. Например, лишнюю воду или перед применением возрастающей концентрации необходимо абсорбировать предыдущую концентрацию спирта. Также необходимо активно втирать этанол во время экспозиции при помощи микробраша. Этот процесс называется агитацией. Необходимость в нем возникает также при нанесении адгезивных систем.

Какая техника оказалась лучшей по результатам исследования? Изучив исследуемые образцы спустя 24 часа и 6 месяцев, исследователи пришли к выводу, что наибольшей прочностью связей обладают образцы, на которых проводилась полная техника химической дегидратации (приложение 2). При исполнении упрощенных техник сила связи в течение шести месяцев уменьшилась в среднем на 25%, и в 25% случаев были выявлены значительные

нарушения связи. Там, где выполнялась полная техника, уровень микроподтекания гибридного слоя спустя 6 месяцев был минимальным.

По итогам, долгосрочный позитивный результат дает только полная химическая дегидратация, которая является сложной в исполнении и требует больших затрат времени.. Экспозиция спирта в 15 секунд позволит добиться оптимальных результатов при минимальных затратах времени. Тем не менее эта техника все равно довольно сложна. В-третьих, хочется добавить, что влияние дегидратации на коллаген подлежит дальнейшему изучению, поскольку, с одной стороны, отсутствие водной среды инактивирует матриксную металлопротеиназу, с другой стороны, есть исследования[9], которые утверждают, что отсутствие водной среды препятствует минерализации гибридного слоя. Таким образом перед нами встает дилемма. В целом спиртовой адгезивный протокол подлежит дальнейшей доработке и усовершенствованию. Важно также отметить, что в современных руководствах по детской стоматологии (например, в Национальном руководстве) не встречается упоминаний об использовании спиртового протокола в этом направлении.

Возникает закономерный вопрос, какой протокол наиболее эффективный? На этот вопрос попытались ответить авторы недавно проведенного исследования[17], которое было опубликованного в 2017 году. Они провели исследование более 90 премоляров, которые были удалены по ортодонтическим показаниям и которые не имели каких-либо кариозных поражений. Эти зубы были разделены на четыре группы, в каждой из которых по две подгруппы:

Первая группа - контрольная. Она включала в себя отпрепарированные зубы, на которых была использована техника влажного бондинга, без применения хлоргексидина или спирта. Эту группу и все остальные они разделили на две подгруппы: в первой подгруппе авторы проверяли результаты через 24 часа, а во второй - через 6 месяцев. Важно отметить, то что в исследовании использовался адгезив пятого поколения. То есть тестируемые методы направлены на решение проблем именно пятого поколения бондинговых систем.

Вторая группа - процедура аналогичная проведенной в первой группе, но после травления стенки полости пропитывались 100% этанолом в течение 60 секунд, а затем высушивались при помощи ватного шарика.

Третья группа - процедура аналогичная проведенной в первой группе, но после кислотного травления на 60 секунд наносили водный раствор 2% хлоргексидина с последующим высушиванием воздухом.

Четвертая группа - процедура аналогичная проведенной в первой группе, но после кислотного травления стенки полости пропитывались 100% этанолом в течение 60 секунд, а затем высушивались при помощи ватного шарика. После чего на 60 секунд наносили водный

раствор 2% хлоргексидина. Однако дальше авторы не указывают просушивалась ли полость после нанесения хлоргексидина в этой группе.

Дальше полученные образцы были помещены в специальный аппарат - инкубатор, который поддерживал температуру в 37°C, 100% влажность, и впоследствии регистрировались результаты через 24 часа и через 6 месяцев в зависимости от подгруппы. Оценку производили с помощью электронного микроскопа с большим увеличением. Обращали внимание на нарушение краевого прилегания, наличие и величину микроподтекания.

По результатам исследования, каждый из протоколов показал некоторую степень микроподтекания. Наихудший результат показала первая группа. Разница между первой и остальными группами оказалась значительной как в первой, так и во второй подгруппе. В то время как между остальными группами существенной разницы выявлено не было. Кроме того, по прошествии 6 месяцев скорость микроподтекания значительно возросла во всех группах. Похожие результаты были получены и для нарушения краевого прилегания. По результатам исследования, применение обоих протоколов и их комбинации улучшили стабильность связи реставрации и дентина, но не смогли полностью решить проблему. Хотя и спиртовой протокол показал несколько лучшие результаты, окончательную оценку, какой метод лучше, дать затруднительно, поскольку эксперимент длился всего 6 месяцев. Нельзя достоверно сказать, насколько тот или иной протокол окажется эффективен в долгосрочной перспективе. Кроме того, недостатком данного исследования является то, что оно проводилось в лабораторных условиях. Результаты исследования *in vitro* необязательно будут воспроизводиться в клинических условиях.

### **Заключение**

Стабильность связи между дентином и реставрационным материалом является основной проблемой современных адгезивных систем. При использовании систем тотального протравливания значительно теряется прочность связи в течение 0,5-5 лет. Это может привести к вторичному кариесу, гиперчувствительности и в конце концов к потере реставрации.

Уменьшение прочности связано 1) с неполной инфильтрацией коллагеновой сети компонентами бондиновой системы, что приводит к наноподтеканию дентинной жидкости и постепенному разрушению созданного гибридного слоя; 2) с действием активированных матриксных металлопротеиназ, которые содержатся в неинфильтрированном коллагене в базальной части гибридного слоя.

Несмотря на то, что при применении самопротравливающих систем происходит полная инфильтрация коллагена, надоподтекание все равно возникает, поскольку мономеры в составе

этих систем больше гидрофильных мономеров, что усиливает проницаемость гибридного слоя для воды и способствует вымыванию мономеров.

Чтобы справиться с данными проблемами было предложено несколько методов.

Нельзя с уверенностью сказать, использование какого из методов приведет к наибольшим клиническим успехам, поскольку на данный момент нет долгосрочных исследований, которые могли бы рассказать об их эффективности в перспективе лет.

По результатам исследований, при использовании протокола с хлоргексидином или этанолом с системами тотального протравливания связь с дентином сохраняется в течение более длительного периода времени, но, к сожалению, данные методы не могут полностью предотвратить наноподтекание и постепенную потерю адгезивной связи, но это, безусловно, важный шаг навстречу прочной и стабильной адгезии между дентином и композиционным материалом.

На данный момент пока не существует идеальной бондинговой системы, которая бы отвечала всем современным требованиям. Однако адгезивная стоматология не стоит на месте. Каждый день появляются новые технологии. Задача врача-стоматолога состоит в том, чтобы выбор материалов и методов работы основывался на научных данных, что позволит улучшить клинические результаты.

### **Библиография**

1. Breschi L, Martin P, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Tjäderhane L, Visintini E, Cadenaro M, Tay F R, De Stefano Dorigo E, Pashley D H: Use of a specific MMP-inhibitor (galardin) for preservation of hybrid layer. // Dent Mater 2010.
2. Breschi L, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Visintini E, Tjäderhane L, Ruggeri A Jr, Tay F R, Dorigo Ede S, Pashley D H: Chlorhexidine stabilizes the adhesives interface: a 2-year in vitro study. // Dent Mater 2009.
3. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenargo M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E: Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. // Dent Mater 2007.
4. Carrilho M R, Geraldeli S, Tay F, de Goes M F, Carvalho R M, Tjäderhane L, Reis A F, Hebling J, Mazzoni A, Breschi L, Pashley D In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. // J Dent Res 2007.
5. Carvalho R M, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley D H, Prati C, Tay F R: A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. // Biomaterials 2005.
6. De Munck J, Van den Steen P E, Mine A, Van Landuyt K L, Poitevin A, Opdenakker G, Van Meerbeek B: Inhibition of enzymatic degradation of adhesive-dentin interfaces. // J Dent Res 2009.

7. Fernanda T Sadek; Annalisa Mazzoni; Lorenzo Breschi; Franklin R Tay; Roberto R Braga Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols // J. Dent. Res. 2010.
8. Gross J, Lapière C.M. Collagenolytic activity in amphibian tissue: a tissue culture assay. // Proc Natl Acad Sci U S A 48 1962.
9. Implication of ethanol wet bonding in hybrid layer remineralization /J. Kim, L. Gu, L. Breschi et al. //J. Dent. Res. 2010.
10. Kanca J 3rd. Improved bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. // J Am Dent Assoc. 1992.Pashley DH. The evolution of dentin bonding. // Dent Today. 2003.
11. Moon P C, Weaver J, Brooks C N: Review of matrix metalloproteinases' effect on the hybrid dentin bond layer stability and chlorhexidine clinical use to prevent bond failure. // Open Dent J 2010.
12. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. // J Biomed Mater Res. 1982.
13. Ozer F, Blatz MB. Self-etch and etch-and-rinse adhesive systems in clinical dentistry. // Compend Contin Educ Dent. 2013.
14. Pashley DH. The evolution of dentin bonding. // Dent Today. 2003.
15. Pashley D H, Tay F R, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho R M, Carrilho M, Tezvergil-Mutluay A: State of the art etch-and-rinse adhesives. // Dent Mater 2010.
16. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM,Carrilho M, et al. State of the art etch-and-rinse adhesives. // Dental Materials 2011.
17. Ramezani Effect, I. Ramezani, E. Baradaran of Chlorhexidine and Ethanol on Microleakage of Composite Resin Restoration to Dentine // The Chinese Journal of Dental Research – 2017.
18. Sadek FT, Castellan CS, Braga RR, Mai S, Tjäderhane L,Pashley DH, et al. One-year stability of resin–dentin bondscreated with a hydrophobic ethanol-wet bondingtechnique. Dental Materials 2010.
19. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner J A, Matthews W G, Pashley D H Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. // Oper Dent 1995.
20. С.Н. Храпченко, Л.А. Казеко, А.А. Горегляд Современные адгезивные системы. - Минск, 2008.
21. Stanislawczuk R, Amaral R C, Zander-Grande C, Gagler D, Reis A, Loguercio A D: Chlorhexidine-containing acid conditioner preserves the longevity of resin-dentin bonds. // Oper Dent 2009.

22. Tay, F. C. M., Pashley, D. H., Kapur, R. R., Carrilho, M. R. O., Hur, Y. B., Garrett, L. V., & Tay, K. C. Y. Bonding BisGMA to dentin - A proof of concept for hydrophobic dentin bonding. *Journal of dental research*, 2007.

23. Tezvergil-Mutluay A, Mutluay M, SeseogullariDirihan R, Agee K A, Key W O, Scheffel D L, Breschi L, Mazzoni A, Tjäderhane L, Nishitani Y, Tay F R, Pashley D H: Effect of phosphoric acid on the degradation of human dentin matrix. // *J Dent Res* 2013.

24. Zhao S J, Zhang L, Tang L H, Chen J H Nanoleakage and microtensile bond strength at the adhesive-dentin interface after different etching times. // *Am J Dent* 2010.

### Приложение 1



Глобулы смазанного слоя в устьях дентинных трубочек[1].

### Приложение 2

**Table 1 – Microtensile bond strength values to acid-etched dentine when the experimental adhesive was applied accordingly to different dehydration protocols after 24 h or 6 months of artificial aging. Percentage of reduction in bond strength after 6 months of storage and percentage of premature failures, which were not included in the statistical analysis.**

Dehydration protocol	Dehydration procedure	Total dehydration time	24 h bond strength (MPa)	6 months bond strength (MPa)	% of reduction between 24 h and 6 months bond strength	% of premature failure
1	50%, 30 s 70%, 30 s 80%, 30 s 95%, 30 s 3 × 100%, 30 s	210 s	45.6 (5.9) <sup>a</sup>	43.1 (3.2) <sup>a</sup>	5.5	4.8
2	50%, 15 s 70%, 15 s 80%, 15 s 95%, 15 s 3 × 100%, 15 s	135 s	40.0 (3.1) <sup>ab</sup>	38.6 (3.2) <sup>ab</sup>	3.5	6.7
3	7 × 100%, 30 s	210 s	35.5 (4.3) <sup>ab</sup>	33.7 (7.1) <sup>bc</sup>	5.1	6.2
4	3 × 100%, 30 s	90 s	34.6 (5.7) <sup>bc</sup>	25.9 (4.1) <sup>c</sup>	25.1	20.8
5	1 × 100%, 30 s	30 s	24.7 (4.9) <sup>c</sup>	18.2 (4.2) <sup>c</sup>	26.3	21.1
6 MP (control)	–	–	41.2 (3.3) <sup>ab</sup>	38.3 (4.0) <sup>ab</sup>	7.1	8.3

Values are mean (SD) in MPa. Same superscripts letters indicate no statistically significant difference ( $p > 0.05$ ).

Результаты исследования различных техник спиртового протокола[24].