

ПРИМЕНЕНИЕ АДГЕЗИВНЫХ СИСТЕМ В СТОМАТОЛОГИИ: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ (ОБЗОР)

М. А. Асланян — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний; **О. В. Еремин** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, заведующий кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний, доцент, доктор медицинских наук; **Ю. Ю. Труфанова** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний, доцент, кандидат медицинских наук; **Мел. А. Асланян** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, студентка 5-го курса стоматологического факультета; **А. О. Еремин** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, студент 5-го курса стоматологического факультета; **О. А. Быкова** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, старший лаборант кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний; **А. И. Завьялов** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения (с курсами правоведения и истории медицины), доктор медицинских наук.

USE OF ADHESIVE SYSTEMS IN DENTISTRY: PAST AND PRESENT (REVIEW)

M. A. Aslanyan — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Assistant; **O. V. Eremin** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Head of Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Assistant Professor, Doctor of Medical Sciences; **Yu. Yu. Trufanova** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Assistant Professor, Candidate of Medical Sciences; **Mel. A. Aslanyan** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Faculty of Dentistry, Student; **A. O. Eremin** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Faculty of Dentistry, Student; **O. A. Bykova** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Senior Assistant; **A. I. Zavyalov** — Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Department of Public Health and Health Care with the Course of Medical Law and History of Medicine, Professor, Doctor of Medical Sciences.

Дата поступления — 09.04.2018 г.

Дата принятия в печать — 17.05.2018 г.

Асланян М. А., Еремин О. В., Труфанова Ю. Ю., Асланян Мел. А., Еремин А. О., Быкова О. А., Завьялов А. И. Применение адгезивных систем в стоматологии: прошлое и настоящее (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2018; 14 (2): 234–239.

В последние десятилетия в свете минимально инвазивного подхода препарирования твердых тканей зуба адгезивная стоматология достигла значительного прогресса, произведя революцию во многих аспектах восстановительной стоматологии. Изменилось отношение к подготовке полостей, поскольку благодаря адгезивным системам нет необходимости препарировать полости с дополнительными ретенционными пунктами для обеспечения механической адгезии с пломбирочным материалом. Таким образом, появление адгезивных систем способствует сохранению большего количества недеминерализованной эмали и дентина при препарировании твердых тканей зуба в соответствии с принципом «биологической целесообразности». Для достижения прочной связи с твердыми тканями зуба разработано множество адгезивных систем. Сложность достижения прочной связи обусловлена неоднородностью структуры и состава твердых тканей зуба, гидрофильностью открытой поверхности дентина, наличием смазанного слоя, образующегося в процессе препарирования полости, и характеристиками самого адгезива, такими как его физико-химические свойства и способ взаимодействия с эмалью и дентином. С развитием технологий адгезивные системы эволюционировали от систем, не предполагающих протравливание твердых тканей зуба, к системам с предварительным тотальным протравливанием и самопротравливающим адгезивным системам.

Ключевые слова: адгезивные системы, праймер, бондинговый агент.

Aslanyan MA, Eremin OV, Trufanova YuYu, Aslanyan MelA, Eremin AO, Bykova OA, Zavyalov A. I. Use of adhesive systems in dentistry: past and present (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2018; 14 (2): 234–239.

In recent decades, in the sphere of minimally invasive approach to preparing hard dental tissues, adhesive dentistry has made significant progress, revolutionizing many aspects of restorative dentistry. The attitude towards cavity preparation has changed due to adhesive systems as there is no necessary to prepare cavities with additional retention points to ensure mechanical adhesion with the filling material. Thus, the introduction of adhesive systems contributes to the preservation of more non-demineralized enamel and dentin in the preparation of hard dental tissues in accordance with the principle of “biological expediency”. To achieve a better connection with the hard tissues of the tooth, a number of adhesive systems has been developed. The complexity of achieving a better connection is due to the heterogeneity of the structure and composition of the hard dental tissues, the hydrophilicity of the exposed dentin surface, smear layer formed during the preparation of the cavity and the characteristics of the adhesive system, such as its physical and

chemical properties and the way it interacts with enamel and dentin. With the development of technologies, adhesive systems have evolved from systems that do not involve the etching of hard dental tissues to systems with preliminary total etching and self-etching adhesive systems.

Key words: adhesive systems, primer, bonding agent.

Введение. История развития адгезивных систем берет начало в далеком 1949 году, когда швейцарский химик Оскар Хаггер, работавший в компании Amalgamated Dental, получил патент на первый дентальный адгезив «Sevriton Cavity Seal», разработанный для соединения твердых тканей зуба с композитным пломбировочным материалом «Sevriton». Адгезив состоял из кислотных мономеров, способных взаимодействовать на молекулярном уровне с дентином зуба для образования прочной связи с пломбировочным материалом [1]. Адгезив содержал диметакрилат глицерофосфорной кислоты, полимеризующийся при помощи сульфидной кислоты, используемой в качестве инициатора. Концепция Хаггера вскоре была принята другими исследователями, после чего последовала разработка новых поколений адгезивных систем [2].

В 1952 г. профессора Джон Маклин и Айвар Крамер выяснили, что материал «Sevriton Cavity Seal» химически связывается с твердыми тканями зуба, образуя структуру, очень похожую на то, что сегодня называется гибридным слоем [3]. Это был первый отчет об изменениях в дентине, стимулированных кислотным мономером. Та же концепция просматривается и в развитии нового поколения дентинных адгезивов.

В 1954 г. Майкл Буонокоре успешно провел первые эксперименты для достижения адгезии к эмали при помощи предварительного кислотного травления. Он описал использование 85%-ной ортофосфорной кислоты, которая после смыывания обеспечивала поверхность, подходящую для последующего нанесения адгезива и улучшающую ретенцию пломбировочного материала [4]. В 1968 г. Майкл Буонокоре и Джон Гвиннетт опубликовали описание механизма кислотного травления 37%-ной ортофосфорной кислотой для модификации структуры эмали перед аппликацией бондингового агента [5]. Пенетрация адгезивной смолы в пористую зону приводит к образованию смоляных меток, тем самым обеспечивая микромеханическую ретенцию с протравленной эмалью [6]. Та же самая концепция, примененная к дентину в 1958 г., не показала должных результатов из-за наличия строго гидрофобных смол в составе адгезива и высокой полимеризационной усадки композитных пломбировочных материалов, используемых в то время. Появление композитных материалов с уменьшенной полимеризационной усадкой дало необходимый толчок для окончательного наступления эры «адгезивной стоматологии».

В 1970 г. Дж. Эйк с помощью сканирующего электронного микроскопа обнаружил так называемый смазанный слой, образующийся в результате препарирования твердых тканей зуба. Смазанный слой представляет собой слой дентинных опилок толщиной 1,0 мкм, состоящих из разрушенного гидроксиапатита и фрагментированного денатурированного коллагена. Дентинные опилки, проникая в дентинные каналы на глубину до 10 мкм, образуют смазанный слой [7]. В клинических условиях смазанный слой

играет роль истинного физического барьера, уменьшающего проницаемость дентина на 86% [8]. Для преодоления этого препятствия и обеспечения достаточной прочности и долговечности адгезии между пломбировочным материалом и твердыми тканями зуба требуется определенная степень травления твердых тканей зуба перед последующим нанесением бондингового агента. Существуют два способа преодоления низкой прочности, связанной с наличием смазанного слоя: 1) удаление смазанного слоя посредством нанесения на поверхность дентина протравочного геля, содержащего 25–40%-ную ортофосфорную кислоту, и его дальнейшего смыывания; 2) использование кислотных праймеров, проникающих сквозь смазанный слой, соединяющихся с ним и модифицирующих его. Для обоих способов микромеханическая ретенция является основным механизмом адгезии к эмали и дентину.

В 1982 г. доктор Нобуо Накабайаши исследовал и описал образование гибридного слоя. Он считал, что смола может проникать в протравленный кислотой дентин, формируя новую структуру, состоящую из матрицы смолы, усиленной коллагеновыми фибриллами. Гибридный слой рассматривался как основной механизм связи пломбировочного материала с твердыми тканями зуба [9].

В начале 1990-х гг. на стоматологическом рынке были представлены трехступенчатые адгезивные системы тотального травления, в конце 1990-х гг. — двухступенчатые системы тотального травления и двухступенчатые самопротравливающие системы.

В последнее время внимание производителей сосредоточено на упрощении процедуры нанесения компонентов адгезивной системы и сокращении времени манипуляций.

Несмотря на существенное различие в способе травления между адгезивными системами, предлагающими предварительное тотальное протравливание твердых тканей зуба, и самопротравливающими адгезивными системами, другие этапы адгезивной подготовки, а именно «прайминг» и фактическая «связывающая» фаза, могут быть как отдельными, так и объединенными.

Адгезивные системы представляют собой смеси гидрофильных и гидрофобных мономеров: гидрофильные повышают проницаемость твердых тканей зубов, в то время как гидрофобные сополимеризуются с пломбировочным материалом [10]. Мономеры, наиболее часто входящие в состав адгезивной системы, представляют собой гидроксиэтилметакрилат (HEMA) и бисфенолглицидилметакрилат (Bis-GMA). Первый, HEMA, полностью смешивается в воде и служит превосходным полимеризуемым смачивающим агентом для адгезива. Bis-GMA, наоборот, гораздо более гидрофобный и поглощает только около 3% воды от объема его структуры после полимеризации [11]. Смесь двух мономеров обеспечивает оптимальные свойства адгезивных систем. Мономеры, присутствующие в дентальных адгезивах, аналогичны мономерам, входящим в состав композитных пломбировочных материалов, что обеспечивает прочную связь между адгезивом и вышележащим композитом. Чтобы повысить смачиваемость, распространение и проникновение полимеризуемых мономеров в толщу

дентина, в состав адгезива в качестве «разбавляющих» агентов добавляются растворители. Растворители представляют собой воду, этиловый спирт, бутиловый спирт или ацетон. Первые три являются гидрофильными и, таким образом, усиливают взаимодействие мономеров с поверхностной жидкостью, в то время как ацетон хорош при вытеснении воды из дентинных канальцев. Любой растворитель, не испарившийся во время высушивания, будет включен в гибридный слой в качестве ослабляющего агента [12].

Актуальность и классификация адгезивных систем. На протяжении последних десятилетий появилось множество различных классификаций адгезивных систем, основанных на порядке появления, количестве клинических шагов и механизме действия.

Концепция каждого поколения заключалась в уменьшении количества флаконов, участвующих в процессе адгезивной подготовки, сведении к минимуму количества клинических шагов, обеспечении быстрой аппликационной методики применения и улучшении химического состава, способствующего более прочному связыванию компонентов адгезивной системы с твердыми тканями зуба.

Первое поколение. Адгезивные системы первого поколения разработаны Майклом Буонокоре в 1955 г., продемонстрировавшим появление связи между подвергшимся кислотному травлению дентином и пломбирочным материалом благодаря использованию смолы, содержащей диметакрилат глицерофосфорной кислоты (NPG-GMA). Бифункциональные молекулы мономера бондингового агента одним концом связывались с ионами кальция, входящими в состав кристаллической решетки гидроксиапатита, другим — с мономером в составе пломбирочного материала [13]. Однако присутствие влаги значительно снижало эту связь. В целом это поколение показало отрицательные клинические результаты, такие как низкая прочность связи, составляющая 1–3 МПа [14].

Представителем первого поколения является Cosmic Bond.

Второе поколение. Второе поколение адгезивных систем позиционировалось в конце 1970-х гг. с целью улучшения связующих агентов, используемых в адгезивах первого поколения. В состав адгезивов второго поколения для улучшения связывания с ионами кальция минерализованной структуры зуба входят полимеризуемые фосфаты, добавленные к Bis-GMA-смолам. Механизм связывания заключается в образовании ионной связи между кальцием и хлорфосфатными группами [15]. Эта ионная связь быстро разрушается в присутствии жидкости, что ведет к дебондингу и возникновению микроподтеканий. Адгезивные системы второго поколения больше не используются, в основном из-за неудачных попыток соединения со смазанным слоем и получения слабой, ненадежной связи. Прочность связи: 4–8 МПа.

Представители: Bondlite, Dual-20 Cure Scotchbond, Creation Bonding Agent.

Третье поколение. В начале 1980-х гг. обозначилось третье поколение адгезивных систем, которое претерпело очень важное изменение: кондиционирование не только эмали, но и дентина с целью частичного растворения и модификации смазанного слоя. Адгезивные системы этого поколения представляют собой трехбутылочные врсии, включающие двухкомпонентный праймер (Primer A, Primer B)

и бонд (Bond) [16]. Кондиционирование дентина осуществлялось праймером, содержащим органическую кислоту (ЭДТА, малеиновую кислоту), гидрофильный мономер (4-МЕТА или HEMA) и растворитель (спирт или ацетон), что позволяло повысить проницаемость дентина. Модификация смазанного слоя органической кислотой позволяла гидрофильному мономеру пропитывать его, обеспечивая связь с поверхностным слоем дентина [17]. Несмотря на модификацию смазанного слоя, адгезия к дентину осталась достаточно низкой: 10–15 МПа. Завершающий этап адгезивной подготовки включал нанесение бонда, содержащего гидрофобные мономеры (Bis-GMA; UDMA; TEGDMA).

Представители: A. R. T. Bond, All-Bond, Denthesive, Gluma, Scotchbond-2, Superbond, Tenure, Metabond, Amalgambond, Syntac Classic, XR Bond, Prisma Universal Bond 3.

Современные адгезивные системы. Классификация В. Van Meerbeek [18]:

I. Адгезивные системы, предусматривающие предварительное тотальное протравливание твердых тканей зуба:

трехшаговые: 1) протравливание; 2) прайминг; 3) бондинг;

двухшаговые: 1) протравливание; 2) прайминг+бондинг.

II. Самопротравливающие адгезивные системы: двухшаговые: 1) протравливание+прайминг; 2.) бондинг;

одношаговые: 1) протравливание+прайминг+бондинг.

Четвертое поколение (трехшаговые адгезивные системы, предусматривающие предварительное тотальное протравливание твердых тканей зуба). В конце 1980 — начале 1990-х гг. созданы адгезивные системы четвертого поколения.

Адгезивные системы четвертого поколения впервые обеспечили полное удаление смазанного слоя. Адгезивные системы этого поколения состоят из трех основных компонентов: протравочной кислоты, праймера и бонда, находящихся в отдельных флаконах. Работа с адгезивами четвертого поколения требует строгого соблюдения методики контролируемого травления эмали и дентина с последующим использованием праймера и адгезива как на поверхности эмали, так и на поверхности дентина [19]. Концепция тотального травления и влажного бондинга заключается в одновременном протравливании дентина и эмали ортофосфорной кислотой в течение 15–20 секунд. [20]. Для избегания коллапса коллагеновых волокон поверхность дентина должна оставаться влажной (так называемый влажный бондинг) [21]. Гидрофильный праймер, нанесенный на поверхность дентина, проникает в открытую коллагеновую сеть, образуя гибридный слой. Гибридный слой образован пропитанным смолой поверхностным слоем дентина. Цель идеальной гибридации: обеспечение высокой прочности сцепления и запечатывание дентинных канальцев. Прочность связи (25 МПа) значительно уменьшает краевое микроподтекание по сравнению с более ранними адгезивами [22]. Адгезивы этого поколения показывают хорошие долгосрочные клинические результаты при правильном использовании и являются наиболее универсальными, поскольку могут использоваться практически для любого протокола бондинга.

Представители: Adper Scotchbond Multi-Purpose (3M ESPE), Adper Scotchbond Multi-Purpose Plus

(3M ESPE), All-Bond 2 (Bisco Inc), Bond-it (Pentron Corporation), Ecusit-Primer/Mono (DMG), FL Bond (Shofu), Gluma Solid Bond (Heraeus Kulzer), Optibond (Kerr), Optibond FL (Kerr), PAAMA (SDI), Probond (DENTSPLY), Quadrant Unibond (Cavex), Solobond Plus (VOCO), Syntac (Ivoclar Vivadent).

Пятое поколение (двухшаговые адгезивные системы, предусматривающие предварительное тотальное протравливание твердых тканей зуба). В 1990-х гг. с целью сокращения количества компонентов, этапов и общего времени адгезивной подготовки разработаны адгезивные системы пятого поколения, представляющие собой смесь низкомолекулярных гидрофильных смол и эластомеров, растворенных в воде, спирте или ацетоне (one-bottle systems).

Методика работы включает два этапа: тотальное протравливание твердых тканей зуба (эмали 15–30 сек, дентина не более 15 сек) 31–35%-ной фосфорной кислотой с дальнейшим ее смыванием; нанесение однокомпонентного адгезива (15–30 сек). Для достижения равномерного распределения адгезива по стенкам полости рекомендуется производить двукратную аппликацию адгезива, вторая порция наносится сразу же после нанесения первой порции [23]. Для улучшения проникновения адгезива в дентин рекомендуется втирать его в стенки полости при помощи аппликатора. Адгезив тщательно высушивается слабой струей воздуха, после чего стенки полости покрываются блестящей, неподвижной пленкой. Заключительным этапом является полимеризация адгезива.

Адгезивные системы пятого поколения в большей степени подвержены водной деградации с течением времени, нежели адгезивы четвертого поколения, что связано с гидрофильной природой полимеризованного праймера. Не все адгезивы пятого поколения совместимы с самоотверждающимися материалами и материалами двойного отверждения. Низкий уровень pH ингибированного кислородом слоя и мономеров в некоторых упрощенных для использования адгезивов деактивирует третичные амины в композитах химического отверждения. Прочность связи: до 25 МПа.

Представители: Bond-1 (Pentron), Clearfil Photobond (Kuraray), Excite (Ivoclar Vivadent), Excite DSC (Ivoclar Vivadent), Gluma Comfort Bond (Heraeus Kulzer), Gluma One Bond (Heraeus Kulzer), Heliobond (Ivoclar Vivadent), One Coat Bond (Coltene Whaledent), One-Step (Bisco Inc), One-Step Plus (Bisco Inc), OptiBond Solo Plus (Kerr), Optibond Solo Plus dual cure (Kerr), Polibond (VOCO), Prime&Bond NT (DENTSPLY), Prime&Bond NT dual cure (DENTSPLY), Single Bond (3M ESPE), Quadrant Uni-1-Bond (Cavex), Solist (DMG), Solobond M (VOCO), Stae (SDI), XPBOND (DENTSPLY).

Шестое поколение (самопротравливающие адгезивные системы). Основным путем развития адгезивных систем во второй половине 1990 — начале 2000-х гг. была концепция сапропротравливания. Адгезивные системы шестого поколения созданы с целью исключения этапа классического травления путем химического включения его в один из других этапов. Для кондиционирования эмали и дентина используются самопротравливающие праймеры (самопротравливающие несмываемые кондиционеры), состоящие из смеси слабых органических кислот, гидрофильных мономеров НЕМА, стабилизаторов и различных добавок, обеспечивающих предотвращение коллапса коллагеновых волокон деминерализи-

зованного дентина и уменьшение постоперативной чувствительности [24]. Наиболее распространены самопротравливающие праймеры на основе малеиновой кислоты. Кислоты, растворив смазанный слой, нейтрализуются, образуют химическую связь с адгезивом и интегрируются в состав гибридного слоя. Такие адгезивные системы действуют по принципу трансформации смазанного слоя.

Адгезивные системы шестого поколения подразделяются на две группы:

1. Двухшаговые самопротравливающие адгезивные системы: состоят из гидрофильного самопротравливающего праймера и бонда, находящихся в отдельных флаконах. Самопротравливающий праймер втирается аппликатором в дно и стенки полости в течение 20–30 секунд, подсушивается воздухом, после чего наносится бонд.

Представители: Adhe SE (Ivoclar Vivadent), Clearfil Liner Bond 2 (Kuraray), Clearfil Protect Bond (Kuraray), Clearfil SE Bond (Kuraray), Contax (DMG), Nano-Bond (Pentron Corporation), One Coat Self Etching Bond (Coltene Whaledent), Optibond Solo Plus Self-etch (Kerr), Tokuso Mac Bond II (Tokuyama Dental), Unifil Bond (GC).

2. Одношаговые самопротравливающие адгезивные системы: двухкомпонентные адгезивные системы, находящиеся в разных флаконах и требующие смешивания компонентов перед применением. Рекомендуется, чтобы компоненты были смешаны непосредственно перед использованием, затем смесь гидрофильных и гидрофобных компонентов смолы наносится на дно и стенки полости зуба.

Представители: Adper Prompt L Pop (3M ESPE), Futurabond NR (VOCO), One-up F Bond (Tokuyama Dental), One-up Bond F Plus (Tokuyama Dental), Reactmer Bond (Shofu Inc), Tyrian SPE (Bisco Inc), Unicem (3M ESPE), Xenon III (DENTSPLY).

Наибольшее преимущество адгезивов шестого поколения заключается в том, что их эффективность в меньшей степени зависит от состояния гидратации дентина, в отличие от систем тотального травления. Адгезивы шестого поколения показывают достаточно хорошую связь только с дентином, но широкому внедрению в практику препятствует меньшая в сравнении с адгезивами четвертого и пятого поколений прочность связи с эмалью. Это может быть связано с уровнем pH самопротравливающего праймера, недостаточным для травления эмали на необходимую глубину, и затрудненным контролем степени обработки поверхности дентина, приводящим к недостаточной трансформации «смазанного» слоя [25]. Для преодоления этой проблемы перед нанесением адгезива рекомендуется предварительное протравливание твердых тканей зуба ортофосфорной кислотой [26]. Однако следует помнить о том, что в дополнительном протравливании нуждается только эмаль, так как дополнительное протравливание дентина может привести к слишком глубокой для дальнейшего полного проникновения праймера зоне деминерализации [27]. Прочность связи: до 20 МПа.

Седьмое поколение (одношаговые самопротравливающие адгезивные системы). Адгезивные системы седьмого поколения активно разрабатывались в 2003–2005 гг. Это светоотверждаемые, однокомпонентные, содержащие в своем составе десенситайзер, системы, предусматривающие одноэтапную обработку дентина и эмали.

Все ингредиенты, необходимые для связывания, помещены в один флакон, что значительно упроща-

ет протокол бондинга, поскольку устраняются ошибки, возникающие на этапе смешивания компонентов адгезивных систем предыдущих поколений. Смешивание и помещение всех химических компонентов, необходимых для нормального функционирования адгезивной системы, в один флакон и сохранение их стабильности в течение длительного времени представляют серьезную задачу. Будучи кислотными, адгезивные системы седьмого поколения содержат значительное количество воды в своем составе и могут быть подвержены гидролизу [28]. В отличие от систем тотального протравливания, самопротравливающие адгезивные системы не открывают полностью дентинные каналы, смазанный слой растворяется, и, благодаря высокогидрофильным свойствам, является возможностью проникновения адгезива в каналы и перитубулярный дентин. Кроме того, после однократного нанесения и полимеризации они становятся более гидрофильными, чем двухшаговые самопротравливающие системы, что обуславливает их склонность к сорбции воды, ограничение глубины проникновения смолы в ткани зуба и появление пустот в гибридном слое [29]. Адгезивы седьмого поколения, как оказалось, имеют самые низкие начальные и долгосрочные прочностные свойства среди всех адгезивных систем, представленных на стоматологическом рынке (прочность связи: до 20 МПа).

Схема работы предусматривает предварительное встряхивание раствора во флаконе, затем нанесение его на эмаль и дентин несколькими слоями, начиная с эмали, экспозицию 20–30 секунд, раздувание воздухом и полимеризацию 5–20 секунд.

Представителями адгезивных систем седьмого поколения являются Opti Bond All-In-One (Kerr), I-Bond (Heraeus Kulzer), Xeno IV (DENTSPLY), Brush & Bond (Parkell), G-Bond (GC), Clearfil S3 Bond (Kuraray). Brush & Bond, I-Bond, G-Bond в качестве растворителя содержат водно-ацетоновую смесь; Xeno IV и Clearfil S3 Bond — водно-спиртовую; Opti Bond All-In-One — воду, спирт и ацетон.

Добавление в состав нанонаполнителей со средним размером частиц 12 нм увеличивает глубину проникновения мономеров смолы в дентинные каналы и, следовательно, толщину гибридного слоя, что, в свою очередь, улучшает механическую связь между твердыми тканями зуба и пломбировочным материалом и нивелирует полимеризационный стресс, способствуя более длительному сохранению краевого прилегания [30]. Тип нанонаполнителей и способ их включения в состав адгезивной системы влияют на вязкость смолы и способность мономеров проникать в пространство между коллагеновыми волокнами. Нанонаполнители размером более 15–20 нм увеличивают вязкость адгезивов и могут скапливаться над увлажненной поверхностью, что ведет к уменьшению прочности связи [31]. Нанонаполнитель содержат Brush & Bond, G-Bond и Xeno IV. Полимеризация материалов усовершенствована за счет новых инициаторов, которые позволяют полимеризовать материал под действием всех известных сегодня в стоматологии источников света (галогеновые, светодиодные, плазменные лампы и лазеры). В целом эти системы еще мало изучены как *in vitro*, так и *in vivo*, а результаты оценок разных экспертных организаций достаточно противоречивы.

Заключение. При применении современных адгезивных систем и композитных пломбировочных материалов следует не только строго придерживаться инструкций фирм-производителей, но и понимать

суть происходящих при указанных манипуляциях процессов, химизм превращений применяемых при этом веществ.

Несмотря на то что адгезия — укоренившаяся и предсказуемая клиническая процедура, кислотное травление дентина всегда интересовало клиницистов и исследователей, как решающий фактор качества адгезии. С одной стороны, непреднамеренное пересушивание протравленного дентина после смыывания кислоты существенно увеличивает риск возникновения коллапса коллагеновых волокон, что ограничивает диффузию мономеров смолы в интра-тубулярный дентин, а с другой — чрезмерная влажность также приводит к снижению прочности связи из-за разбавления адгезива жидкостью. Рекомендуется убирать избыток жидкости ватными шариками, одноразовыми аппликаторами, бумажными пинами и поролоновыми губками, имеющими различный размер и впитывающими определенное количество влаги, при этом оставляя поверхность дентина достаточно увлажненной для создания полноценного гибридного слоя. Кроме того, чрезмерное травление дентина может приводить к ослаблению прочности связи, объясняемой невозможностью проникновения смоляных мономеров в открытые дентинные каналы и диффундированию через гидратированную деминерализованную коллагеновую сеть на глубину проникновения протравочного агента, что, в свою очередь, допускает ток жидкости в дентинных каналах. Таким образом, отсутствие проникновения адгезива в дентинные каналы на достаточную глубину оставляет неимпрегнированные, плохо инфильтрированные, неподдерживаемые области в основании гибридного слоя, подверженные микроподтеканиям, гидролизу коллагена и ухудшению сцепления с течением времени. Для достижения необходимой прочности связи экспериментальным путем установлено время для травления: дентина 15 секунд и эмали 30 секунд.

В целом современные адгезивные системы при клинически обоснованном, квалифицированном и технологически правильном применении обеспечивают высокую прочность связи между твердыми тканями зуба и композитной реставрацией, а также помогают избежать развития нежелательных побочных эффектов.

Конфликт интересов не заявляется.

Авторский вклад: написание статьи — М. А. Асланян, Ю. Ю. Труфанова, Мел. А. Асланян, А. О. Еремин, О. А. Быкова, А. И. Завьялов; утверждение рукописи для публикации — О. В. Еремин.

References (Литература)

1. Söderholm KJ. Dental Adhesives... How it All Started and Later Evolved. *J Adhes Dent* 2007; 9: 227–230.
2. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28: 3757–3785.
3. Mclean JW, Kramer IRH. A clinical and pathological evaluation of a sulphonic acid-activated resin for use in restorative dentistry. *Br Dent J* 1952; 93: 255–269.
4. Buonocore M, Wileman W, Brudevold F. A report on a resin composition capable of bonding to human dentin surfaces. *J Dent Res* 1956; 35: 846–851.
5. Buonocore M, Marsui A, Winnett AJ. Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding. *Arch Oral Biol* 1968; 13 (1): 61–70.
6. Swift E, Jr, Perdigao J, Heymann H. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art. *Quintessence Int* 1995; 26: 95–110.

7. Eick J, Wilko R, Anderson C, et al. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res* 1970; 49: 1359–1368.
8. Bowen RL, Eick JD, Henderson DA, et al. Smear layer: removal and bonding considerations. *Oper Dent Suppl* 1984; 3: 30–34.
9. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res* 1982; 16 (3): 265–273.
10. Breschi L, Mazzoni A, De Stefano D, et al. Adhesion to intraradicular dentin: a review. *J Adhes Sci Technol* 2009; 7: 1053–1083.
11. Van Landuyt KL, Yoshida Y, Hirata I, et al. Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance. *J Dent Res* 2008; 87 (8): 757–761.
12. De Munck J, Mine A, Poitevin A, et al. Metaanalytic review of parameters involved in dentin bonding. *Journal of Dental Research* 2012; 91: 351–357.
13. Buonocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955; 34: 849–853.
14. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, et al. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dental Materials* 2008; 24: 90–101.
15. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28: 3757–3785.
16. Reis AF, Giannini M, Pereira PN. Influence of water-storage time on the sorption and solubility behavior of current adhesives and primer/adhesive mixtures. *Oper Dent* 2007; 32: 53–59.
17. Leinfelder KF. Dentin adhesives for the twenty-first century. *Dent Clin North Am* 2001; 45 (1): 1–6.
18. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, et al. State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials* 2011; 27: 17–28.
19. Kanca J. A method for bonding to tooth structure using phosphoric acid as a dentin-enamel conditioner. *Quintessence Int* 1991; 22: 285–290.
20. Erickson RL, Barkmeier WW, Latta MA. The role of etching in bonding to enamel: a comparison of self-etching and etch-and-rinse adhesive systems. *Dental Materials* 2009; 25: 1459–1467.
21. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dental Materials* 2010; 26: 24–37.
22. Van Meerbeek B. The “myth” of nanoleakage. *J Adhes Dent* 2007; 9: 491–492.
23. Alex G. Adhesive considerations in the placement of direct composite restorations. *Compend* 2008; 1 (1): 20–25.
24. Joseph P, Yadav C, Satheesh K, et al. Comparative evaluation of the bonding efficacy of sixth, seventh and eighth generation bonding agents: An in vitro study. *Int Res J Pharm* 2013; 4 (9): 143–147.
25. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, et al. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dental Materials* 2008; 24: 1412–1419.
26. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, et al. Eight-year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dental Materials* 2010; 26: 1176–1184.
27. Frankenberger R, Lohbauer U, Roggendorf MJ, et al. Selective enamel etching reconsidered: better than etch-and-rinse and self-etch. *J Adhes Dent* 2008; 10: 339–344.
28. Perdigão J, Sezinando A, Monteiro PC. Laboratory bonding ability of a multi-purpose dentin adhesive. *Amer J Dent* 2012; 25 (3): 153–158.
29. Van Landuyt KL, De Munck J, Mine A, et al. Filler debonding & subhybrid layer failures in self-etch adhesives. *J Dent Res* 2010; 89 (10): 1045–1050.
30. Hanabusa M, Mine A, Van Meerbeek B, et al. Bonding effectiveness of a new “multi-mode” adhesive to enamel and dentine. *J Dent* 2012; 40 (6): 475–484.
31. Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, et al. Self-assembled Nano-layering at the Adhesive Interface. *J Dent Res* 2012; 91 (4): 376–381.