

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБРИДНОГО СЛОЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АДГЕЗИВНЫХ СИСТЕМ В РЕСТАВРАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ

Пстыга Е. Ю.¹, Поспелов А. В.², Пстыга С. Л.³, Бенеш Ю. Д.¹

*¹Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь;*

*²Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь;*

*³Учреждение здравоохранения «Стоматологический кабинет ИП Пстыги Ю. И»,
г. Брест, Республика Беларусь*

Реферат. Трудности использования адгезивных систем связаны с неоднородностью структуры зуба, гидрофильностью поверхности дентина, свойствами тканей зуба после препарирования полости и характеристиками самих адгезивов. Стоматологические адгезивы в настоящее время классифицируются по поколениям или по типу взаимодействия со смазанным слоем. В данной работе представлены результаты сравнения адгезивных систем IV, V, VII поколений по толщине гибридного слоя, проведен анализ гомогенности структуры гибридного слоя.

Ключевые слова: гибридный слой, смазанный слой, адгезивные системы, сканирующий электронный микроскоп.

Введение. Широкое использование адгезивных систем повлияло на многие аспекты восстановительной и профилактической сто-

матологии. Отношение к подготовке кариозной полости изменилось с тех пор, как вместо механической ретенции пломбы стали

использоваться адгезивные системы [1]. Их применение помогает избежать нарушения краевого прилегания, развития вторичного кариеса, разгерметизации пломбы, возникновения постоперативной чувствительности, что определяет их важную роль в эстетической реставрационной терапии.

Стоматологические адгезивные системы претерпели существенные изменения в своем химическом составе и количестве компонентов за последние 40 лет. Адгезия к эмали оставалась неизменно простой и надежной с момента введения в 1955 г. М. Буонокором техники кислотного протравливания эмали ортофосфорной кислотой. Доктор Буонокор понимал, что им были заложены основы адгезивной стоматологии: «Мы предвидим, что образование хороших связей, которые мы продемонстрировали, с поверхностями эмали открывает возможность успешного запечатывания ямок и фиссур в целях профилактики кариеса. Кроме того, хорошая адгезия на края эмалевой полости защитит от вторичного кариеса» [2, 3].

Трудности использования адгезивных систем связаны с неоднородностью структуры зуба, гидрофильностью поверхности дентина, свойствами тканей зуба после препарирования полости и характеристиками самих адгезивов, такими как их физико-химические свойства и типы их взаимодействия с тканями зуба. Адгезивные системы состоят как из гидрофильных, так и из гидрофобных мономеров. Первый из них увлажняет ткани зуба, обеспечивает адгезию к гидрофильному дентину, а второй обеспечивает взаимодействие и полимеризацию с композиционным материалом. Химический состав адгезивов также включает инициаторы обработки, ингибиторы или стабилизаторы, растворители и некоторые неорганические наполнители [4].

Стоматологические адгезивы в настоящее время классифицируются по поколениям или по типу взаимодействия со смазанным слоем. Смазанный слой определяется как слой налета на поверхности тканей зуба, образующийся при его препарировании [3, 5]. Он различается по толщине, шероховатости, плотности и степени прикрепления к подлежащим структурам зуба в зависимости от подготовки поверхности.

Несмотря на возможность использования различных техник протравливания («то-

тальное протравливание», «селективное протравливание», «самопротравливание») и другие основные этапы, а именно нанесение праймера и бонда могут быть разделены или объединены.

В 1980–90 гг. были представлены адгезивные системы четвертого поколения. Три основных компонента, входящих в его состав, хранятся в разных емкостях и используются в определенной последовательности. Концепция тотального протравливания твердых тканей зуба заключается в обработке эмали и дентина раствором 37%-й ортофосфорной кислоты в течение 15–20 с для удаления смазанного слоя, однако необходимо, чтобы поверхность дентина оставалась влажной для предотвращения разрушения неподдерживаемых коллагеновых волокон. При использовании раствора гидрофильного компонента вещество может проникать в открытый коллагеновый слой с образованием гибридного слоя. В случае использования адгезивов четвертого поколения прочность соединений варьируется в диапазоне 20–25 МПа. Эта система технически высокочувствительна, поэтому при травлении дентина требуется высокая точность. Правильное использование адгезивов этого поколения дает очень хороший клинический результат, однако считается трудоемкой процедурой, так как включает в себя три этапа.

В 1990-е гг. появилось пятое поколение адгезивных систем, которые упростили процесс адгезии за счет сокращения клинических этапов, что в свою очередь требовало меньше временных затрат. Этот механизм известен как двухшаговая система тотального протравливания. Кроме того, было необходимо предотвратить разрушение коллагеновых волокон в деминерализованном дентине, что и было достигнуто за счет проникновения гидрофобной смолы в дентинные каналы и образования надежного гибридного слоя. Однако со временем данные адгезивы имеют тенденцию разлагаться под воздействием воды из-за гидрофильности полимеризованного гибридного слоя, при использовании же четвертого поколения гидрофильный компонент покрывается гидрофобным бондом, что делает адгезив менее растворимым в воде. На основании ряда исследований было установлено, что стома-

тологические адгезивы пятого поколения характеризуются высокой степенью адгезии. Однако они более подвержены дегарадации, чем адгезивы четвертого поколения. Прочность соединения при использовании пятого поколения колеблется в пределах 25 Мпа.

Самопротравливающие материалы были представлены на стоматологическом рынке в то время, когда стоматологи мечтали о более простых в использовании и менее чувствительных к технике адгезивных материалах. Несмотря на то, что эти качества очень привлекательны для клиницистов, следует всегда учитывать, как эти новые материалы взаимодействуют с поверхностью дентина. Поскольку современные самопротравливающие материалы имеют более высокие значения pH, чем кислоты, используемые в адгезивных системах тотального травления, и самопротравливающие материалы не смыываются, смазанный слой или его компоненты включаются в склеиваемые слои.

Адгезивные системы шестого поколения, представленные во второй половине 1990-х — начале 2000-х гг., также известны как «самопротравливающие праймеры». Использование адгезивных систем шестого поколения исключает этап протравливания ортофосфорной кислотой. Система является двушаговой и состоит из самопротравливающего праймера и адгезива. Преимуществом является то, что эффективность меньше зависит от состояния гидратации дентина, чем у систем с тотальным травлением. В настоящее время данная система практически не применяется, так как на смену ей пришла более новая и простая в применении адгезивная система седьмого поколения.

Адгезивные системы VII поколения были внедрены с 1999 по 2005 г. и представляют собой самопротравливающую одношаговую адгезивную систему, все компоненты которой были объединены в одном флаконе. Ее появление позволило контролировать чувствительность к влаге. В то же время был получен сверхпрочный гибридный слой. Вероятность совершения ошибки со стороны стоматолога минимизирована, поскольку этот метод не требует смешивания различных компонентов один с другим. Однако вместить все химические вещества в один флакон и поддерживать их стабильность в течение длительного периода времени очень сложно. В

составе самопротравливающего агента в качестве растворителя нередко выступает вода, которая может быть склонна к гидролизу и химическому разложению [6]. Более того, эти системы становятся достаточно гидрофильными после полимеризации, что облегчает их растворимость в воде. Считается, что преимущество этого поколения заключается в том, что оно не требует смешивания различных систем, а образующиеся связи становятся значительно прочнее. Методика работы включает нанесение на зуб предварительно приготовленной смеси кислоты, праймера и бонда с последующей фотополимеризацией для достижения конечного результата.

Цель работы — проведение сравнительного анализа толщины и структуры гибридного слоя при использовании адгезивных систем IV, V и VII поколений.

Материалы и методы. Для исследования было отобрано 60 интактных, экстрагированных по ортодонтическим показаниям зубов. После экстракции зубы помещались для обеззараживания и хранения в 10%-й раствор формалина комнатной температуры. Критериями включения зубов в исследование явились: отсутствие кариозных поражений корня, отсутствие предшествующего эндодонтического лечения, отсутствие реставраций, отсутствие некариозных поражений твердых тканей зуба.

Зубы были разделены на три группы ($n = 20$) в зависимости от поколения адгезивной системы, используемой при выполнении реставрации. Зубы первой группы ($n = 20$) восстанавливали с использованием адгезивной системы IV поколения, зубы второй группы ($n = 20$) — с использованием адгезивной системы V поколения, зубы третьей группы ($n = 20$) — с использованием адгезивной системы VII поколения.

Перед этапом препарирования зубы были промыты проточной водой. Для препарирования были использованы алмазные боры различной абразивности. Для зубов 1-й и 2-й групп была использована техника тотального протравливания 37%-й ортофосфорной кислотой (15 с дентин, 30 с эмаль), для зубов 3-й группы — техника самопротравливания (без использования ортофосфорной кислоты). После этапа протравливания полости были высушены отраженной струей воздуха (до появления матовости эмали и не пересуши-

вая дентин). Далее в каждой группе была проведена адгезивная подготовка согласно инструкции к каждой адгезивной системе. В 1-й группе на поверхность дентина наносился праймер, просушивался, затем на поверхность эмали и праймера наносился бонд, просушивался, полимеризовался в течение 20 с. Во 2-й группе после этапа протравливания и высушивания полости на поверхность эмали и дентина наносился адгезив, просушивался, полимеризовался в течение 20 с. В 3-й группе после этапа препарирования полость просушивалась, затем вносился адгезив втирающими движениями в течение 20 с, просушивался, полимеризовался в течение 20 с. Далее все подготовленные образцы были запломбированы с использованием универсального текучего фотополимеризационного композиционного материала. Была проведена финишная обработка полученной реставрации с использованием полировочных боров, дисков, головок, щеток, полировочной пасты.

Из полученных образцов были изготовлены продольные шлифы с использованием алмазных боров различной абразивности, полировочных дисков.

Все образцы исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JEOL JSM-5610LV (увеличение $\times 50$, $\times 100$, $\times 250$, $\times 500$, $\times 1000$) с последующим фотографированием образцов. Исследование проводилось на базе кафедры консервативной стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет», центра физико-химических методов исследования УО «Белорусский государственный технологический университет». Измерение толщины гибридного слоя проводили в программе для морфометрического анализа PhotoM v.1.21 калиброванной линейкой (в микрометрах). Для оценки количества пор в гибридном слое фотографии были разделены на 7 полей зрения (10×15 мкм), поры подсчитывались вручную в каждом поле зрения. Результаты были проанализированы и статистически обработаны в программе Statistica 10 с использованием методов непараметрической статистики (H -критерий Краскела – Уоллиса, U -критерий Манна – Уитни).

Результаты и их обсуждение. Микрофотографии шлифов на сканирующем электронном микроскопе представлены на рисунке 1.

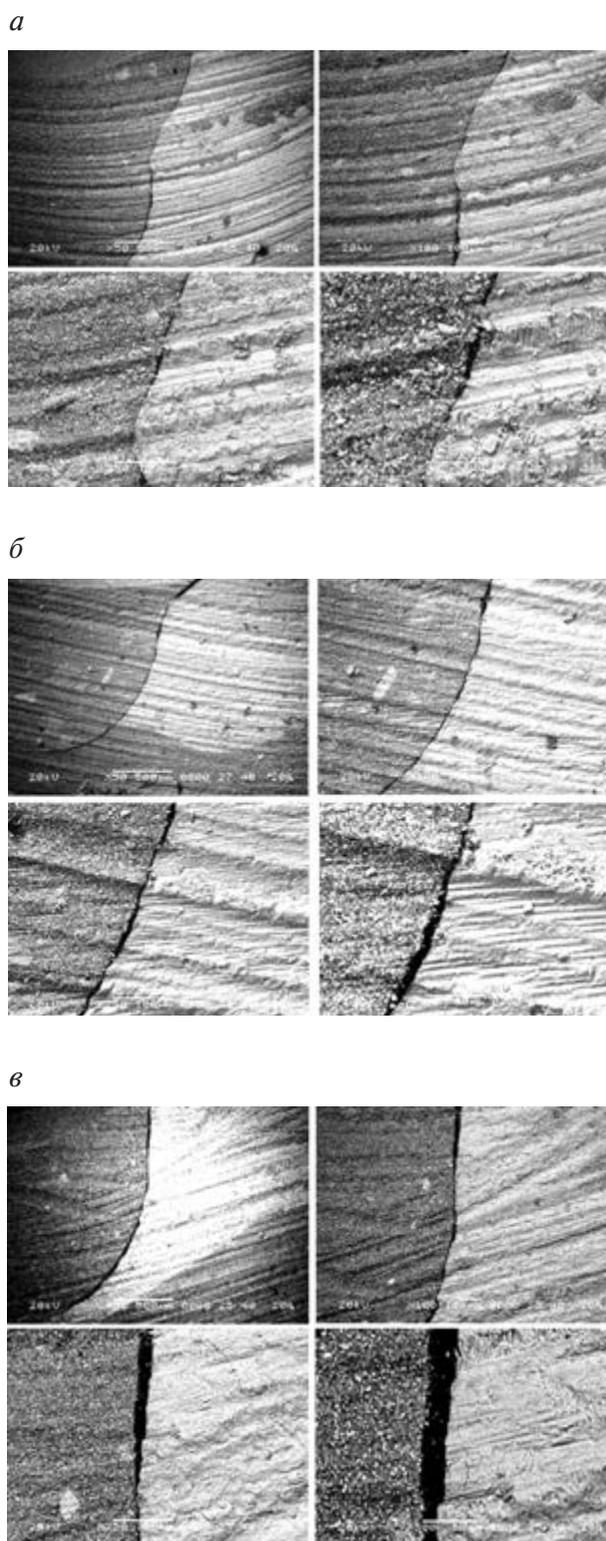


Рисунок 1 — Фотография СЭМ ($\times 50$, $\times 100$, $\times 250$, $\times 500$) гибридный слой при использовании адгезивной системы IV поколения (а), гибридный слой при использовании адгезивной системы V поколения (б), гибридный слой при использовании адгезивной системы VII поколения (в)

Для исследования толщины и структуры гибридного слоя были использованы микрофотографии с увеличением $\times 1000$. При исследовании на сканирующем электронном микроскопе наименьшую толщину гибридно-

го слоя наблюдали в группе образцов № 1 (IV поколение) (рисунок 2) и № 2 (V поколение) (рисунок 3), наибольшую — у образцов группы № 3 (VII поколение) (рисунок 4). Результаты измерений представлены в таблице.

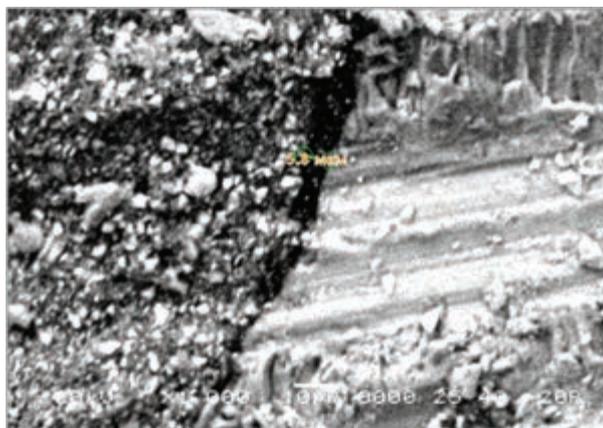


Рисунок 2 — Фотография СЭМ ($\times 1000$) гибридный слой при работе адгезивной системой IV поколения

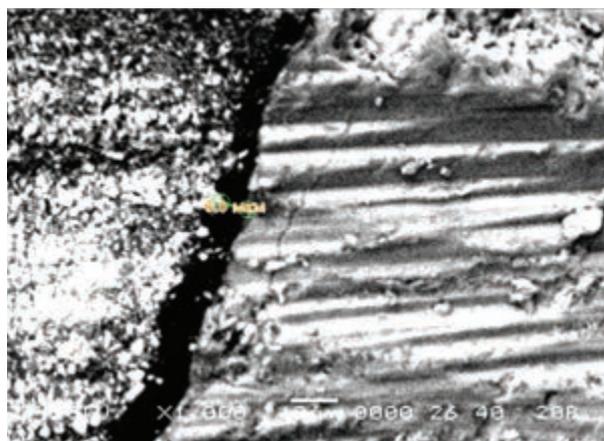


Рисунок 3 — Фотография СЭМ ($\times 1000$) гибридный слой при работе адгезивной системой V поколения

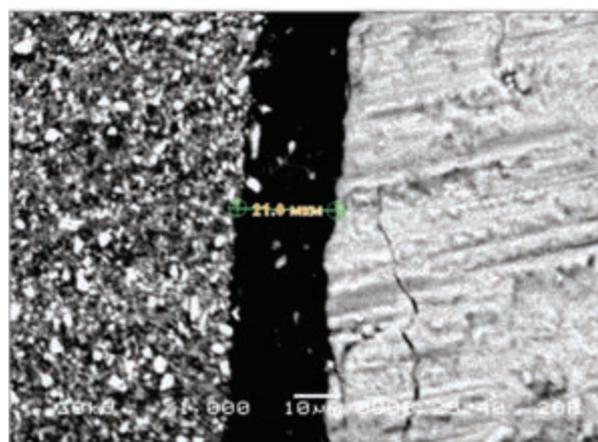


Рисунок 4 — Фотография СЭМ ($\times 1000$) гибридный слой при работе адгезивной системой VII поколения

Таблица — Толщина гибридного слоя (мкм)

Показатель	Группа 1 (IV поколение)	Группа 2 (V поколение)	Группа 3 (VII поколение)
$M \pm SD$ (мкм)	$5,04 \pm 1,97$	$5,08 \pm 1,38$	$20,06 \pm 0,78$
Max	8,6	9,2	21,8
Min	2,0	3,4	18,8

Множественные сравнения независимых групп по количественным переменным проводили с использованием непараметрического U -критерия Краскела — Уоллиса. При

множественных сравнениях толщины гибридного слоя образцов трех групп установлены статистически значимые различия ($H = 60,59192$, $df = 2$, $p < 0,001$) (рисунок 5).

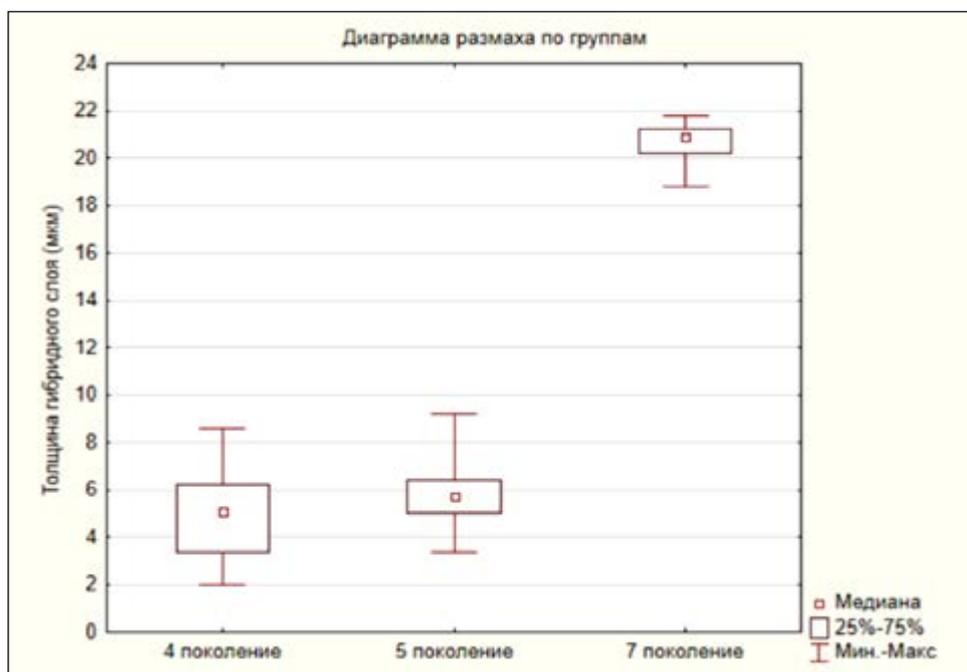


Рисунок 5 — Множественные сравнения трех групп

Были проведены апостериорные (парные) сравнения между группами с помощью U -критерия Манна – Уитни (рисунок 6). При сравнении толщины гибридного слоя в группах образцов № 1 и № 2 (рисунок 6, а) не было выявлено статистически значимых различий между группами

($U = 340, p = 0,105812$). При сравнении образцов групп № 1 и 3 (рисунок 6, б) выявлены статистически значимые различия ($U = 0, p < 0,05$). При сравнении толщины гибридного слоя в группах № 2 и 3 (рисунок 6, в) также были выявлены статистически значимые различия ($U = 0, p < 0,05$).

а

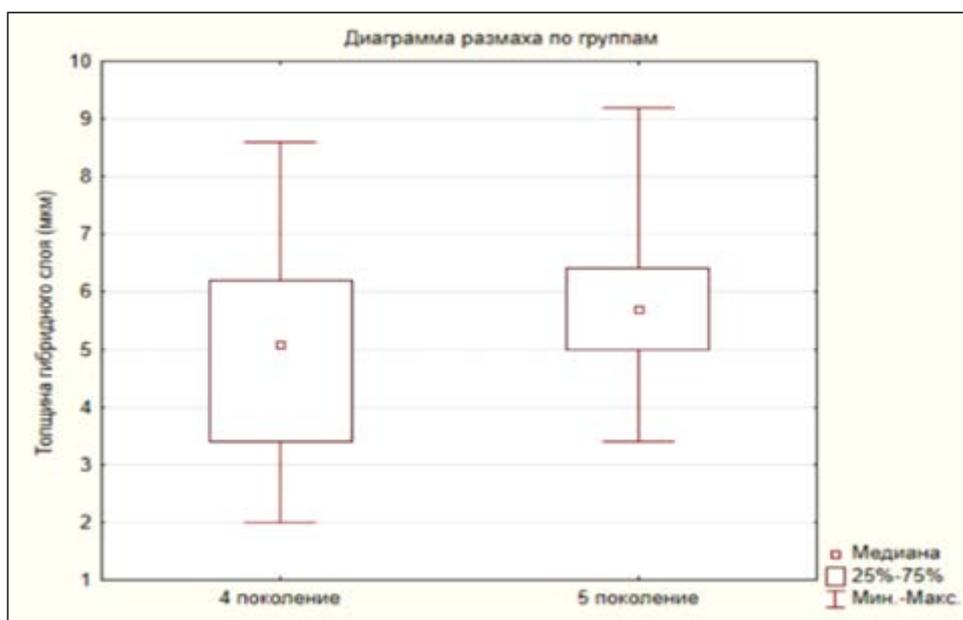
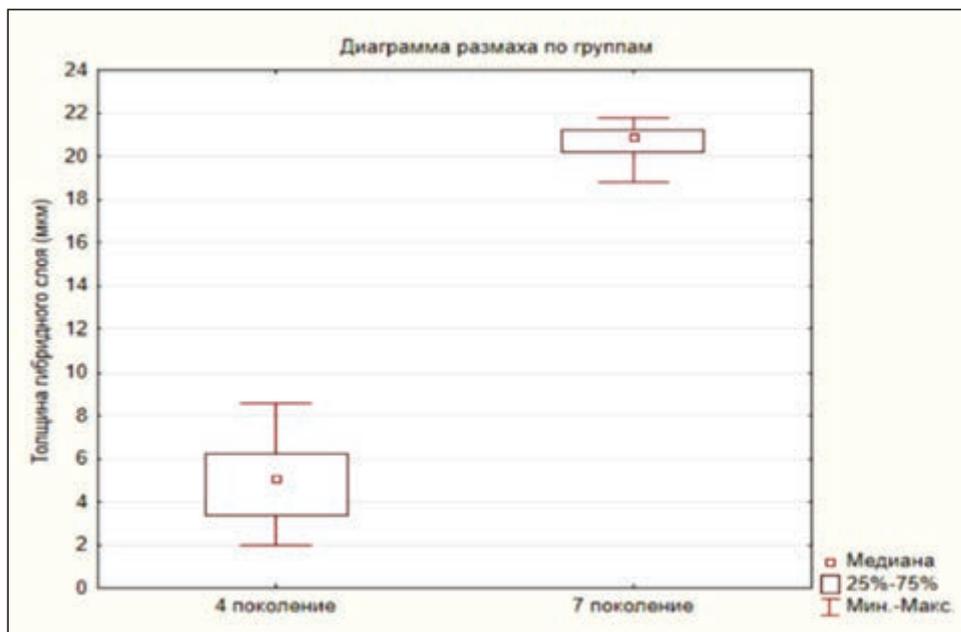


Рисунок 6 (начало) — Апостериорные сравнения образцов групп № 1 и 2 (а)

б



в

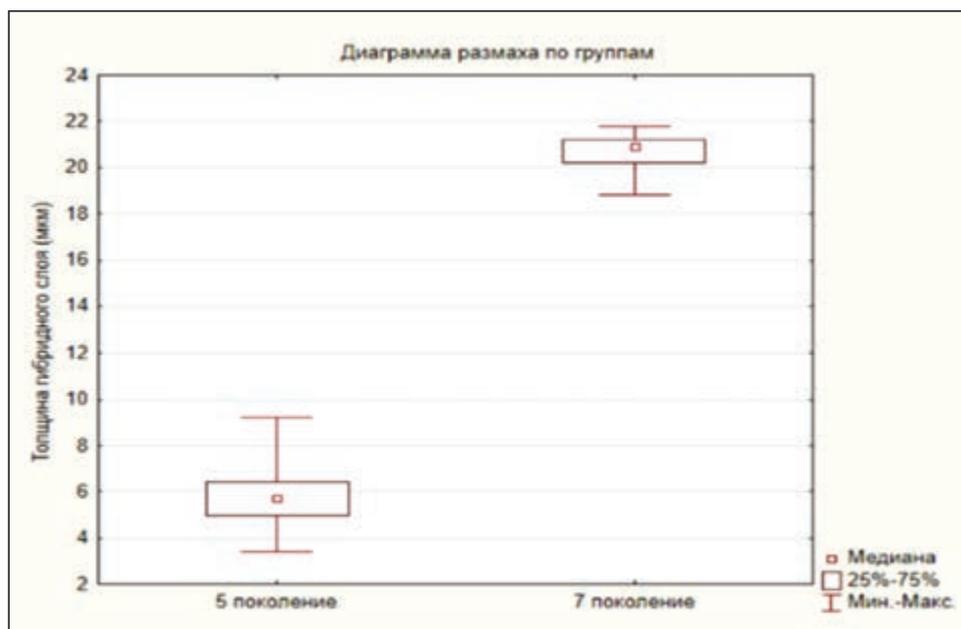


Рисунок 6 (окончание) — Апостериорные сравнения образцов групп № 1 и 3 (б), групп № 2 и 3 (в)

Была проведена оценка гомогенности структуры гибридного слоя путем измерения количества пор, возникающих после полимеризации (рисунки 7–9). В результате исследования установлено, что среднее количество пор в гибридном слое в образцах группы № 1 составило $7,28 \pm 2,92$, группы

№ 2 — $4,28 \pm 0,95$, группы № 3 — $5,0 \pm 3,60$. При попарном сравнении групп установлено статистически значимое различие между образцами групп № 1 и 2 ($U = 6,5$, $p = 0,025$), при попарном сравнении образцов групп № 1, 3 и 2, 3 поколения статистически значимых различий не выявлено.



Рисунок 7 — Оценка гибридного слоя на наличие пор при работе адгезивной системой IV поколения

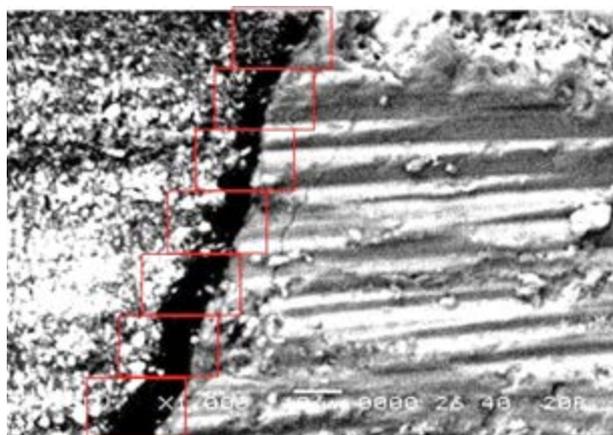


Рисунок 8 — Оценка гибридного слоя на наличие пор при работе адгезивной системой V поколения

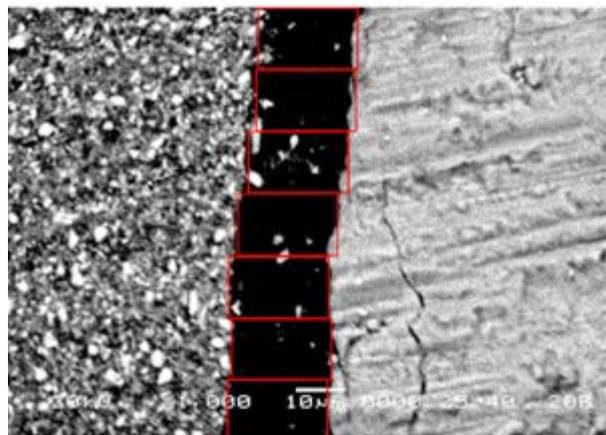


Рисунок 9 — Оценка гибридного слоя на наличие пор при работе адгезивной системой VII поколения

Заключение. На основании полученных в результате исследования морфометрических данных наиболее оптимальной адгезивной системой можно считать систему V поколения, так как гибридный слой при ее использовании обладает оптимальной толщиной, равномерен на всем протяжении и имеет гомогенную структуру (в сравнении с системами IV и VII поколений).

Кроме того, меньшее количество шагов по сравнению с адгезивными системами IV поколения снижает вероятность совершения ошибок при ее использовании.

Полученные данные наряду с другими результатами исследования могут быть использованы для разработки отечественной адгезивной системы, соответствующей современным требованиям.

Список цитированных источников

1. Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type / E. Sofan [et al.] //Annali di stomatologia. — 2017. — Т. 8, № 1. — С. 1.
2. From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology / B. V. Meerbeek [et al.] //J. of Adhesive Dentistry. — 2020. — Т. 22, № 1. — Р. 7–34.
3. Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations / J. Perdigon [et al.] //J. of Esthetic and restorative Dentistry. — 2021. — Т. 33, № 1. — С. 51–68.
4. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives / K. L. Van Landuyt [et al.] //Biomaterials. — 2007. — Т. 28, № 26. — С. 3757–3785.



5. The influence of the dentin smear layer on adhesion: a self-etching primer vs. a total-etch system / S. S. A. Oliveira [et al.] // *Dental materials*. — 2003. — Т. 19, № 8. — С. 758–767.
6. Micromorphological effects and the thickness of the hybrid layer—a comparison of current adhesive systems / J. A. Skupien [et al.] // *J. Adhes Dent*. — 2010. — Т. 12, № 6. — С. 435–442.

Comparative characteristics of the hybrid layer using modern adhesive systems in restoration therapy

Pstyga K. Y.¹, Paspelau A. U.², Pstyga S. L.³, Benesh J. D.¹

¹Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus;

²Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus;

³Dental Office of Pstyga Y. I., Brest, Republic of Belarus

Difficulties in the use of adhesive systems are associated with the heterogeneity of the tooth structure, the hydrophilicity of the dentin surface, the properties of the tooth tissues after cavity preparation and the characteristics of the adhesives themselves. Dental adhesives are currently classified by generation or by type of interaction with the smear layer. This article presents the results of a comparison of adhesive systems of IV, V, VII generations in terms of the thickness of the hybrid layer, an analysis of the homogeneity of the structure of the hybrid layer was carried out in order.

Keywords: hybrid layer, smear layer, adhesive systems, scanning electron microscope.