



Бабаев Д.В.¹ ✉, Адамчик А.А.¹, Рубникович С.П.², Денисова Ю.Л.²

¹ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

² Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Обзор современных композитных реставрационных материалов в контексте минимально инвазивного лечения пришеечных эрозий зубов

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста – Д.В. Бабаев; редактирование статьи, обработка текста – А.А. Адамчик, С.П. Рубникович, Ю.Л. Денисова.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Подана: 01.04.2026

Принята: 08.06.2026

Контакты: mr.dmitriibabaev@mail.ru,

Резюме

Введение. Эрозивные поражения твердых тканей зубов представляют нарастающую клиническую проблему, распространенность которой среди взрослого населения достигает 45%. Пришеечная область особенно уязвима вследствие минимальной толщины эмали и близости к десневому краю. Выбор оптимального реставрационного материала для восстановления эрозивных дефектов требует учета специфических условий функционирования реставрации – продолжающегося кислотного воздействия, механических нагрузок и особенностей адгезии к склерозированному дентину.

Цель. Провести анализ современных данных о свойствах композитных реставрационных материалов, определяющих их пригодность для минимально инвазивного восстановления пришеечных эрозивных дефектов, с акцентом на химическую стабильность, износостойкость и долговечность адгезивного соединения.

Материалы и методы. Выполнен обзор литературы на основе поиска в базах данных PubMed/MEDLINE и Scopus. Критерии включения: оригинальные исследования и систематические обзоры, посвященные физико-химическим свойствам композитных материалов, механизмам их деградации в кислотной среде, клинической эффективности реставраций некариозных пришеечных поражений. В анализ включены только источники, прошедшие верификацию по PMID или DOI.

Результаты. Устойчивость композитных материалов к эрозивной деградации определяется составом мономерной системы, типом и объемным содержанием наполнителя, качеством силанизации частиц. Композиции с преобладанием уретандиметакрилата демонстрируют меньшее водопоглощение по сравнению с материалами на основе Bis-GMA/TEGDMA. Высоконаполненные композиты (более 55% наполнителя по объему) проявляют лучшую износостойкость.

Заключение. Современные композитные материалы являются обоснованным выбором для минимально инвазивного восстановления пришеечных эрозивных дефектов. Долгосрочный успех лечения определяется не только свойствами материала, но и устранением или контролем этиологических факторов эрозии. Необходимы

дальнейшие клинические исследования с длительным периодом наблюдения для оптимизации протоколов выбора материалов.

Ключевые слова: эрозия зубов, пришеечные дефекты, композитные материалы, минимально инвазивное лечение, химическая деградация, износостойкость

Babaev D.¹ ✉, Adamchik A.¹, Rubnikovich S.², Denisova Ju.²

¹ Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

² Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

Modern Composite Restorative Materials in the Context of Minimally Invasive Treatment of Cervical Dental Erosions: An Analytical Review

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: the concept and design of research, collecting material, writing text – Babaev D.; editing, processing text – Adamchik A., Rubnikovich S., Denisova J.

Funding: the authors declare no funding for the study.

Submitted: 01.04.2026

Accepted: 08.06.2026

Contacts: mr.dmitriibabaev@mail.ru

Abstract

Introduction. Erosive lesions of dental hard tissues represent an increasingly significant clinical challenge, with prevalence rates reaching up to 45% among adult populations. The cervical region is particularly vulnerable owing to the minimal enamel thickness and proximity to the gingival margin. Selection of an optimal restorative material for the management of erosive defects necessitates consideration of the specific functional conditions to which the restoration is subjected, including ongoing acid exposure, mechanical loading, and the complexities of adhesion to sclerotic dentine.

Aim. To analyse current evidence regarding the properties of composite restorative materials that determine their suitability for minimally invasive restoration of cervical erosive defects, with particular emphasis on chemical stability, wear resistance, and longevity of the adhesive interface.

Materials and methods. A literature review was conducted through systematic searches of the PubMed/MEDLINE and Scopus databases. Inclusion criteria comprised original investigations and systematic reviews addressing the physicochemical properties of composite materials, mechanisms of their degradation in acidic environments, and clinical performance of restorations in non-carious cervical lesions. Only sources verified by PMID or DOI were included in the analysis.

Results. The resistance of composite materials to erosive degradation is governed by the composition of the monomer system, the type and volumetric content of filler particles, and the quality of particle silanisation. Formulations with a predominance of urethane dimethacrylate demonstrate lower water sorption compared with Bis-GMA/TEGDMA-based materials. Highly filled composites (exceeding 55% filler by volume) exhibit superior wear resistance.

Conclusion. Contemporary composite materials represent an evidence-based choice for minimally invasive restoration of cervical erosive defects. Long-term treatment success is determined not solely by material properties but also by the elimination or control of aetiological factors underlying the erosion. Further clinical investigations with extended follow-up periods are required to optimise material selection protocols.

Keywords: dental erosion, cervical lesions, composite materials, minimally invasive treatment, chemical degradation, wear resistance

■ ВВЕДЕНИЕ

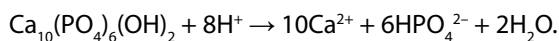
Эрозия твердых тканей зубов представляет собой патологический процесс, характеризующийся прогрессирующей необратимой потерей минерализованной ткани вследствие химического воздействия кислот небактериального происхождения [1]. Данное определение, принятое Европейской федерацией консервативной стоматологии, принципиально ограничивает эрозию от кариозного процесса, в патогенезе которого ключевую роль играет микробный фактор [2].

Этиологические факторы эрозии подразделяются на экзогенные и эндогенные. К экзогенным относятся пищевые кислоты (цитрусовые фрукты, ягоды, уксус), кислотосодержащие напитки (газированные напитки, фруктовые соки, спортивные напитки, вино), лекарственные препараты (аскорбиновая кислота, препараты железа), профессиональные факторы (работа с кислотами, дегустаторы вин). Эндогенными источниками кислоты являются желудочный сок при гастроэзофагеальной рефлюксной болезни, регургитация при расстройствах пищевого поведения (нервная анорексия, булимия), хроническая рвота различной этиологии [3].

Систематический анализ эпидемиологических данных, выполненный Jaeggi & Lussi (2014), свидетельствует о значительной распространенности эрозивных поражений в различных популяциях. Среди взрослого населения распространенность эрозии варьирует от 20 до 45% в зависимости от региона, возрастной группы и применяемых диагностических критериев [4]. Особую озабоченность вызывает рост распространенности эрозии среди детей и подростков, что связывают с изменением пищевых привычек и увеличением потребления кислотосодержащих напитков [5].

Пришеечная область зубов является одной из наиболее частых локализаций эрозивных поражений. Это обусловлено рядом анатомических и физиологических особенностей: минимальной толщиной эмали в области шейки зуба, близостью к десневому краю, застоем кислотного содержимого в пришеечной зоне при рефлюксе, механической травматизацией при агрессивной чистке зубов [6].

Механизм эрозивного повреждения твердых тканей зубов включает последовательные стадии, детально описанные в фундаментальных работах по химии эрозии [6, 7]. Начальная стадия – поверхностное размягчение. При контакте эмали с кислотой происходит частичная деминерализация поверхностного слоя. Водородные ионы взаимодействуют с кристаллами гидроксиапатита, вызывая их растворение:



Скорость растворения определяется несколькими факторами. Критическим значением pH для эмали считается условное значение 5,5, для дентина – 6,5 [8]. Однако

тип кислоты имеет не меньшее значение, чем абсолютное значение pH. Хелатирующие кислоты (лимонная, винная, ЭДТА) обладают способностью связывать ионы кальция, выводя их из равновесия с минеральной фазой, что усиливает деминерализацию даже при относительно высоких значениях pH [9].

Прогрессирующая стадия – объемная потеря ткани. При продолжающемся или повторяющемся кислотном воздействии поверхностное размягчение переходит в необратимую потерю ткани. Размягченная эмаль становится особенно уязвимой к механическому воздействию – абразии при чистке зубов, жевательным нагрузкам, истиранию языком и пищевым комком [10].

Слюна играет важнейшую защитную роль в патогенезе эрозии. Буферная емкость слюны определяет способность нейтрализовать кислоту, скорость слюноотделения влияет на время клиренса кислоты из полости рта. Приобретенная пелликула формирует физический барьер, препятствующий прямому контакту кислоты с эмалью. Насыщенность слюны ионами кальция и фосфата определяет потенциал реминерализации [11].

Пришеечные эрозивные дефекты обладают рядом характерных клинических признаков, отличающих их от других форм некариозных поражений. Типичная морфология включает пологие, блюдцеобразные углубления с гладким, глянцевым дном. В отличие от клиновидных дефектов абфракционного генеза, эрозии не имеют острых углов и граней. Локализация преимущественно на вестибулярных поверхностях характерна для экзогенной этиологии (пищевые кислоты), тогда как небные поверхности верхних зубов чаще поражаются при эндогенном происхождении кислоты (рефлюкс, рвота) [6]. Дифференциальная диагностика пришеечных поражений представляет определенные трудности, поскольку в реальной клинической ситуации часто наблюдается сочетание нескольких этиологических факторов – эрозии, абразии, абфракции и атриции. Термин «износ зубов» (tooth wear) используется для обозначения многофакторной потери твердых тканей без четкого разграничения отдельных механизмов [2].

Концепция минимально инвазивной стоматологии основана на максимальном сохранении здоровых тканей зуба при достижении терапевтических целей. Применительно к эрозивным поражениям данный подход включает несколько компонентов:

1. Этиотропное лечение. Первоочередной задачей является идентификация и устранение (или контроль) этиологического фактора. Без решения этой задачи любое реставрационное вмешательство будет паллиативным, а прогноз – неблагоприятным. При гастроэзофагеальном рефлюксе необходима консультация гастроэнтеролога и назначение антисекреторной терапии. При расстройствах пищевого поведения показано участие психиатра или психотерапевта. Модификация пищевых привычек (ограничение частоты потребления кислых продуктов, использование соломинки для напитков, полоскание водой после приема кислоты) способствует снижению интенсивности эрозивного воздействия [3, 6].
2. Реминерализующая терапия. На начальных стадиях эрозии, при наличии только поверхностного размягчения без значительной потери ткани, показано применение реминерализующих препаратов. Фториды способствуют образованию фторопатита, более устойчивого к кислотному растворению. Препараты кальция и фосфата поддерживают насыщенность ротовой жидкости относительно минеральной фазы эмали [11].

3. Реставрационное лечение. Показаниями к реставрационному вмешательству являются: значительная потеря ткани с нарушением анатомической формы зуба, повышенная чувствительность, не купируемая консервативными методами, эстетические нарушения, риск возникновения осложнений (пульпит, перелом коронки). Принцип минимальной инвазивности предполагает отказ от традиционного препарирования по Блэку с формированием ретенционных элементов. Современные адгезивные технологии позволяют обеспечить фиксацию реставрации без удаления здоровых тканей [2].

Реставрации, выполненные у пациентов с эрозией, функционируют в специфических условиях, что предъявляет особые требования к материалам:

1. Химическая стабильность. Материал должен противостоять кислотному воздействию, поскольку этиологический фактор часто не устраняется полностью. Растворение или размягчение материала в кислотной среде приведет к прогрессирующей деградации реставрации.
2. Износостойкость. Помимо химического воздействия, пришеечные реставрации подвергаются механическим нагрузкам при чистке зубов. С учетом того, что размягченные ткани зуба вокруг реставрации особенно уязвимы к абразии, материал не должен значительно отличаться по износостойкости от окружающих тканей во избежание формирования ступенек и краевых дефектов.
3. Адгезия к измененным тканям. Дентин в области длительно существующих эрозий часто склерозирован – дентинные каналы облитерированы минеральными отложениями, что затрудняет адгезивную подготовку. Материал и адгезивная система должны обеспечивать надежную связь с таким субстратом.
4. Биосовместимость. Близость пришеечных реставраций к десневому краю повышает требования к биосовместимости во избежание воспалительной реакции мягких тканей.
5. Эстетические свойства. Пришеечная область находится в зоне видимости, что определяет значимость эстетических характеристик – цветосоответствия, полируемости, стабильности цвета [12, 13].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести анализ современных данных о свойствах композитных реставрационных материалов, определяющих их пригодность для минимально инвазивного восстановления пришеечных эрозивных дефектов, с акцентом на химическую стабильность, износостойкость и долговечность адгезивного соединения.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск литературы выполнен в электронных базах данных PubMed/MEDLINE, eLibrary, ResearchGate и Scopus за период с 1984 по 2026 г. Использованы следующие поисковые запросы и их комбинации: эрозия зубов, пришеечные дефекты, erosion, cervical lesions, композитные материалы, минимально инвазивное лечение, химическая деградация, износостойкость, composites, minimally invasive treatment, wear resistance.

Критерии включения: оригинальные исследования (in vitro, in vivo, клинические), систематические обзоры и метаанализы, публикации на английском или русском языках, наличие верифицируемого идентификатора (PMID, DOI), релевантность теме обзора.

Критерии исключения: описания клинических случаев (case reports), тезисы конференций без полнотекстовой публикации, публикации, не прошедшие верификацию в базах данных, исследования исключительно временных или прокладочных материалов.

Первичный отбор выполнен по заголовкам и аннотациям. Публикации, соответствующие критериям включения, подвергнуты полнотекстовому анализу. Для каждого включенного источника проведена верификация библиографических данных по PMID или DOI. Уровень доказательности оценивался в соответствии с иерархией: систематические обзоры и метаанализы → рандомизированные контролируемые исследования → проспективные когортные исследования → ретроспективные исследования → исследования *in vitro*. При наличии противоречивых данных приоритет отдавался исследованиям более высокого методологического качества.

Систематический поиск в электронных базах данных выявил 834 потенциально релевантные публикации. После удаления дубликатов ($n=198$) скринингу подвергнуто 636 научных исследований. На этапе анализа заголовков и абстрактов исключено 479 публикаций как не соответствующих критериям включения.

Полнотекстовому анализу подвергнуто 157 статей, из которых 113 исключены по следующим причинам:

- отсутствие исследуемых материалов – 53;
 - недостаточные данные для анализа – 36;
 - дублирующие данные в публикации – 24.
- В итоговый анализ включено 44 научных исследования.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Композитные реставрационные материалы представляют собой гетерогенные системы, включающие органическую полимерную матрицу, неорганический наполнитель и интерфейс между ними, образованный силановым связующим агентом. Каждый из этих компонентов подвержен специфическим механизмам деградации при воздействии кислотной среды. Органическая матрица современных композитов формируется в результате полимеризации диметакрилатных мономеров. Процесс полимеризации никогда не достигает 100% конверсии; типичная степень конверсии составляет 55–75% в зависимости от состава материала и условий полимеризации. Непрореагировавшие мономеры и олигомеры остаются включенными в полимерную сеть и способны к элюированию в окружающую среду [15].

Гидролитическая деградация полимерной матрицы протекает по механизму расщепления сложноэфирных связей, присутствующих в структуре метакрилатных мономеров. Вода диффундирует в полимерную сеть, вызывая набухание (пластификацию) и создавая условия для гидролиза. Кислотный катализ ускоряет расщепление эфирных связей, приводя к образованию низкомолекулярных фрагментов, которые вымываются из материала. Гидролитическая деградация композитов проявляется снижением прочностных характеристик после длительной экспозиции во влажной среде. Авторы установили корреляцию между степенью водопоглощения и потерей механических свойств [15, 16].

Водопоглощение полимерной матрицы определяется ее химическим составом. Sideridou et al. (2003) провели систематическое исследование сорбционных

Таблица 1

Сорбционные характеристики мономеров

Table 1

Sorption characteristics of monomers

Мономер	Водопоглощение (мкг/мм ³)	Растворимость (мкг/мм ³)
Bis-GMA	38–42	3,1–3,5
UDMA	25–33	1,8–2,4
TEGDMA	54–68	5,2–6,8
Bis-EMA	21–26	1,2–1,8

характеристик индивидуальных мономеров и их комбинаций. Установлено, что водопоглощение гомополимеров существенно различается (табл. 1).

Высокое водопоглощение Bis-GMA обусловлено наличием 2 гидроксильных групп в молекуле, образующих водородные связи с водой. TEGDMA, несмотря на отсутствие гидроксильных групп, демонстрирует наибольшее водопоглощение вследствие гидрофильности этиленгликолевых звеньев и относительно рыхлой структуры образуемой полимерной сети [17, 18].

Силановые связующие агенты обеспечивают химическую связь между неорганическим наполнителем и органической матрицей. Типичным представителем является γ-метакрилоксипропилтриметоксисилан (γ-MPS), образующий силоксановые связи Si–O–Si с поверхностью стеклянных частиц. Силоксановые связи подвержены гидролитической атаке, особенно в кислотной среде. Sideridou & Karabela (2011) изучали влияние структуры силанового агента на сорбционные характеристики нанокомпозитов. Авторы установили, что качество силанизации – ключевой фактор, определяющий стабильность интерфейса наполнитель/матрица. Неполная или дефектная силанизация создает участки, уязвимые для проникновения воды и последующей деградации [17, 18].

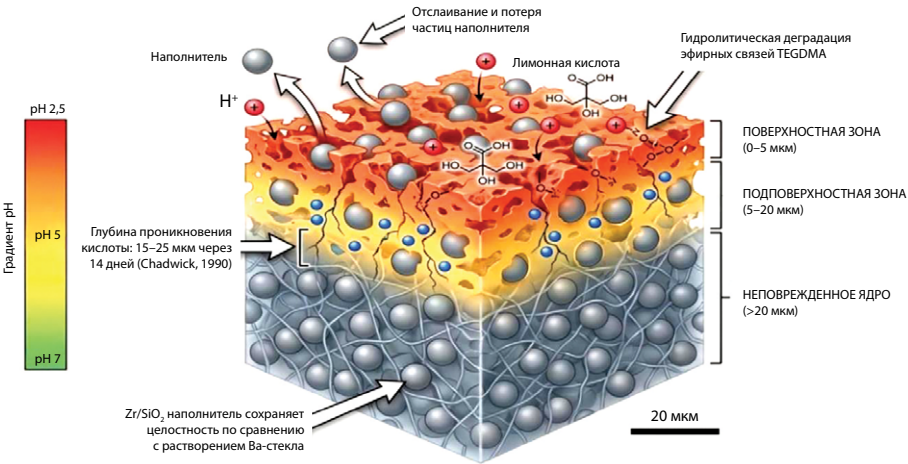


Рис. 1. Механизм гидролитической деградации полимерной матрицы композита

Fig. 1. Mechanism of hydrolytic degradation of the polymer matrix of a composite

При разрушении силановой связи частицы наполнителя теряют адгезию к матрице. Под действием механических нагрузок или продолжающейся химической атаки происходит выпадение частиц с формированием поверхностных дефектов. Этот процесс приводит к увеличению шероховатости поверхности и ускорению дальнейшей деградации [19]. Частицы наполнителя также подвергаются химическому воздействию, хотя и в меньшей степени, чем органическая матрица. Стекланные наполнители на основе бариевого или стронциевого алюмосиликатного стекла проявляют определенную растворимость в кислотной среде (рис. 1).

Chadwick et al. (1990) исследовали влияние различных сред хранения на поверхностную микротвердость и износостойкость композитов. Авторы установили, что кислотные среды вызывают более выраженную деградацию по сравнению с нейтральными, причем степень деградации зависит от состава наполнителя. Стекла с высоким содержанием бария проявляют большую растворимость в кислоте, тогда как кремнеземные наполнители (чистый SiO_2) демонстрируют высокую химическую инертность [20].

Совокупность описанных процессов формирует характерный паттерн эрозивной деградации композитов, который можно представить как каскад последовательных и взаимоусиливающих событий [14] (рис. 2).

Диффузия воды и кислоты в поверхностный слой матрицы > пластификация и гидролиз полимерной сети > вымывание продуктов деградации и остаточных мономеров > обнажение частиц наполнителя на поверхности > гидролиз силановых связей > выпадение частиц наполнителя > формирование поверхностных кратеров, увеличение шероховатости > увеличение площади атаки, ускорение деградации [19–21] – данный каскадный механизм объясняет нелинейный характер эрозионного износа композитов, отмечаемый в ряде исследований. Turssi et al. (2005) показали,



Рис. 2. Каскадный механизм эрозивной деградации композитных материалов
Fig. 2. Cascade mechanism of erosive degradation of composite materials

что скорость износа возрастает по мере увеличения продолжительности эрозивного воздействия, что согласуется с представлением о прогрессирующем накоплении поверхностных дефектов [21].

Важно отметить влияние состава органической матрицы на химическую стабильность.

Характеристика основных мономерных систем

Bis-GMA (бисфенол А-глицидилметакрилат) остается основой большинства стоматологических композитов с момента его введения Bowen в 1962 г. (патент США 3.066.112). Молекула Bis-GMA содержит 2 ароматических кольца, обеспечивающих жесткость, и 2 метакрилатные группы для полимеризации. Однако наличие 2 гидроксильных групп обуславливает высокую вязкость мономера и выраженную гидрофильность полимера [22]. Высокая вязкость Bis-GMA (500–800 Па·с) требует введения дополнительных компонентов для достижения рабочей консистенции. Традиционно используется TEGDMA, снижающий вязкость до приемлемых значений, но одновременно увеличивающий водопоглощение и полимеризационную усадку композиции. TEGDMA (триэтиленгликольдиметакрилат) используется преимущественно как разбавитель. Низкая молекулярная масса обеспечивает высокую подвижность молекул и, следовательно, высокую степень конверсии. Однако TEGDMA-полимеры характеризуются наибольшим водопоглощением среди распространенных стоматологических мономеров, что негативно влияет на долгосрочную стабильность (рис. 3) [23].

UDMA (уретандиметакрилат) представляет альтернативу Bis-GMA с улучшенными характеристиками. Уретановые группы в структуре молекулы обеспечивают формирование межмолекулярных водородных связей, повышающих когезионную прочность полимера. Отсутствие гидроксильных групп снижает гидрофильность. По данным Sideridou et al. (2003), водопоглощение UDMA-полимеров на 25–35% ниже, чем у Bis-GMA-полимеров (рис. 4) [23].

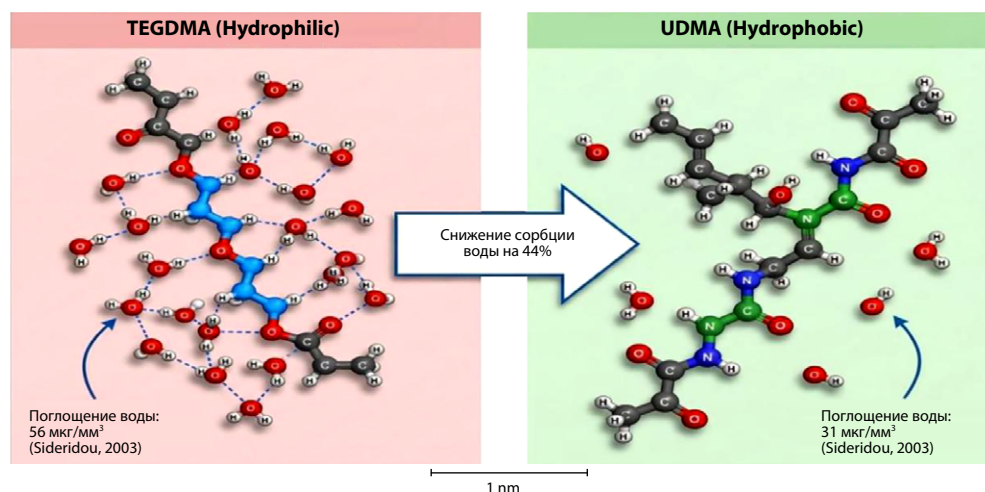


Рис. 3. Разница водопоглощения TEGDMA и UDMA

Fig. 3. Difference in water absorption between TEGDMA and UDMA

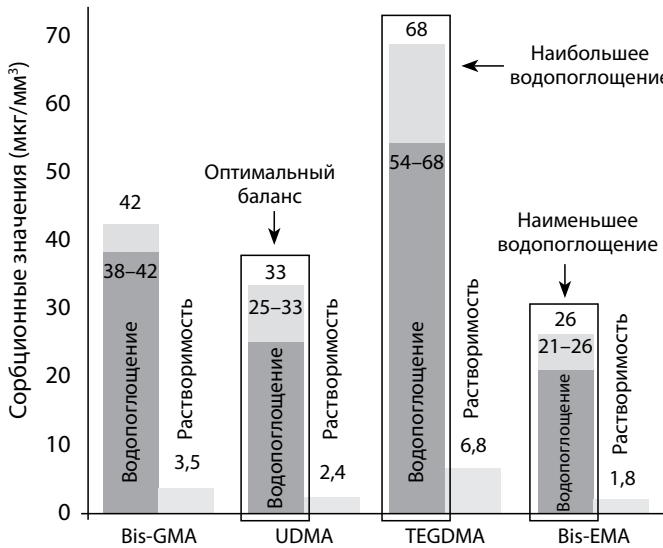


Рис. 4. Сорбционные характеристики мономеров композитов
Fig. 4. Sorption characteristics of composite monomers

Коммерческие композиты содержат комбинации мономеров, оптимизированные для достижения баланса между технологическими и эксплуатационными свойствами. Ferracane (2006) подчеркивает, что конечные свойства полимера определяются не только составом мономерной смеси, но и степенью конверсии, условиями полимеризации, наличием ингибиторов и стабилизаторов [14].

Влияние содержания наполнителя

Объемное содержание наполнителя является одним из ключевых параметров, определяющих механические свойства и износостойкость композитов. Turssi et al. (2005) установили обратную корреляцию между содержанием наполнителя и износом ($r=-0,72$, $p<0,01$). Увеличение доли наполнителя означает уменьшение доли органической матрицы, подверженной гидролизу, что закономерно повышает химическую стабильность [21]. Современные композиты содержат в среднем 55–70% наполнителя по объему (или 70–87% по массе). Heintze et al. (2007) в исследовании взаимосвязи физических параметров и износа композитов подтвердили, что содержание наполнителя – значимый, но не единственный показатель износостойкости. Авторы отметили, что при сопоставимом наполнении различия в износе между материалами могут достигать двукратных значений, указывая на роль других факторов – типа наполнителя, качества силанизации, состава матрицы [24].

Влияние размера и морфологии частиц

Эволюция композитных материалов сопровождалась прогрессивным уменьшением размера частиц наполнителя: от макронаполненных (10–50 мкм) через микронаполненные (0,04–0,4 мкм) к современным нанопополненным и наногибридным (0,005–0,4 мкм) материалам. Уменьшение размера частиц обеспечивает улучшение

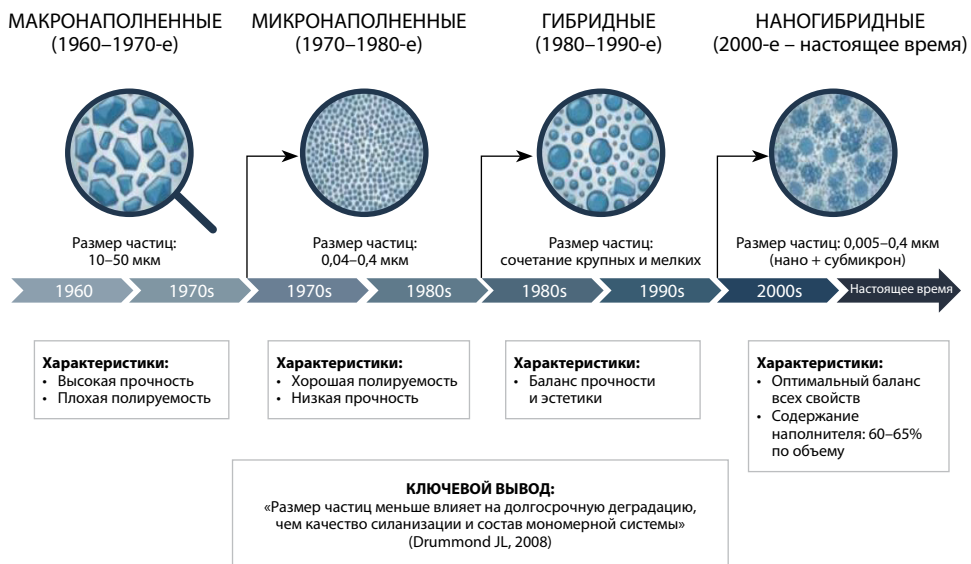


Рис. 5. Эволюция размера частиц наполнителя в композитах
Fig. 5. Evolution of filler particle size in composites

полируемости и эстетических свойств, однако влияние на износостойкость неоднозначно. Drummond (2008) в систематическом обзоре пришел к заключению, что размер частиц оказывает меньшее влияние на долгосрочную деградацию, чем качество силанизации и состав мономерной системы [19]. Современные наногибридные композиты сочетают наночастицы (обеспечивающие полируемость) с более крупными частицами или агломератами (обеспечивающими механическую прочность). Такая комбинация позволяет достичь оптимального баланса свойств (рис. 5) [25].

Тип наполнителя и химическая стойкость

Состав наполнителя влияет на его устойчивость к химическому воздействию. Кремнеземные наполнители (SiO_2) обладают высокой кислотостойкостью вследствие химической инертности. Стекланные наполнители, содержащие барий, стронций, цинк для обеспечения рентгеноконтрастности, проявляют большую растворимость в кислотной среде [20]. Honório et al. (2008) исследовали влияние циклического pH-воздействия на различные реставрационные материалы. Авторы установили, что композиты демонстрируют меньшую деградацию по сравнению со стеклоиономерными цементами, но различия между композитами с разным составом наполнителя также статистически значимы [26].

Рассмотрим особенности современных классов композитных материалов:

- **наногибридные композиты.** Наногибридные композиты представляют современный стандарт универсальных реставрационных материалов. Они содержат комбинацию наноразмерных частиц (20–75 нм) и субмикронных частиц (0,4–1 мкм), что обеспечивает высокое общее наполнение (60–65% по объему) при сохранении хорошей полируемости. Ilie et al. (2013) провели комплексную оценку

механических свойств современных композитов. Наногибридные материалы продемонстрировали оптимальный баланс прочности, износостойкости и эстетических свойств, что обосновывает их широкое клиническое применение [25];

- композиты типа bulk fill. Bulk fill композиты разработаны для упрощения клинического протокола за счет возможности полимеризации слоями до 4–5 мм (против 2 мм для конвенциональных материалов). Это достигается модификацией состава: повышение светопропускания за счет оптимизации показателя преломления, применение более эффективных фотоинициаторов, модификация мономерной системы для снижения полимеризационного стресса. Bucuta & Ilie (2014) исследовали светопропускание и микромеханические свойства bulk fill композитов в сравнении с конвенциональными материалами [27]. Установлено, что bulk fill материалы обладают значимо более высокой транслюценцией, однако микромеханические свойства (твердость, модуль упругости) несколько ниже, особенно у низковязких (flowable) представителей класса [27, 28].

Leprince et al. (2014) провели комплексную оценку физико-механических характеристик коммерчески доступных bulk fill композитов. Авторы выявили значительную вариабельность свойств между материалами данного класса (табл. 2) [29].

Применительно к реставрации эрозивных дефектов следует учитывать, что высоковязкие bulk fill композиты с содержанием наполнителя более 55% по объему сопоставимы с конвенциональными материалами по потенциальной износостойкости, а низковязкие bulk fill композиты с пониженным наполнением могут проявлять меньшую устойчивость к эрозивной деградации. При использовании низковязких bulk fill в качестве основы целесообразно перекрытие высоконаполненным композитом в зонах эрозивного воздействия [29].

Ilie & Hickel (2011) исследовали свойства flowable bulk fill композита на основе модифицированного UDMA-мономера (технология SDR). Материал продемонстрировал низкий полимеризационный стресс при сохранении адекватной степени конверсии, однако механические свойства были ниже, чем у высоконаполненных материалов [28]. Исследования in vitro позволяют оценить поведение материалов в контролируемых условиях. Основные методологические подходы включают:

- статическую экспозицию – погружение образцов в кислотный раствор на определенное время. Простота метода обеспечивает воспроизводимость, однако условия далеки от клинической ситуации;
- циклическое pH-воздействие – чередование фаз деминерализации (кислота) и реминерализации (искусственная слюна), более адекватно моделирующее условия полости рта. Honório et al. (2008) использовали данный подход для оценки деградации реставрационных материалов [26];

Таблица 2
Физико-механические характеристики коммерчески доступных bulk fill композитов
Table 2
Physical and mechanical characteristics of commercially available bulk fill composites

Параметр	Высоковязкие bulk fill	Низковязкие bulk fill	Конвенциональные
Содержание наполнителя (об.%)	55–70	38–48	55–65
Прочность на изгиб (МПа)	95–135	80–120	100–150
Глубина полимеризации (мм)	4,0–5,5	4,0–5,0	1,5–2,5

- комбинированное эрозивно-абразивное воздействие – сочетание кислотной атаки с механической чисткой, моделирующее типичное поведение пациента. Attin et al. (2000) продемонстрировали, что чистка зубов непосредственно после эрозивного воздействия значительно усиливает потерю ткани [10].

Wongkhantee et al. (2006) исследовали влияние кислых пищевых продуктов и напитков на поверхностную твердость эмали, дентина и реставрационных материалов. Композиты продемонстрировали снижение микротвердости на 8–15% после экспозиции в апельсиновом соке и кока-коле, тогда как стеклоиономерные цементы – на 20–35%. Авторы заключили, что композиты обладают лучшей устойчивостью к пищевым кислотам по сравнению со стеклоиономерами [30].

Chadwick et al. (1990) показали, что хранение в кислотной среде (молочная кислота, pH 4,0) вызывает более выраженное снижение микротвердости композитов, чем хранение в воде или искусственной слюне. Степень деградации коррелировала с содержанием наполнителя [20].

Turssi et al. (2005) изучали взаимосвязь характеристик наполнителя с износостойкостью и степенью конверсии композитов. Авторы установили, что объемное содержание наполнителя является более значимым показателем износостойкости, чем размер частиц. Композиты с наполнением более 60% по объему демонстрировали износ, в 1,5–2 раза меньший, чем материалы с наполнением 45–50%. При этом степень конверсии также влияла на износостойкость: неполная полимеризация увеличивала подверженность материала как химической, так и механической деградации [21].

Honório et al. (2008) в исследовании циклического pH-воздействия сравнивали устойчивость различных классов реставрационных материалов. Протокол включал 5-минутную экспозицию в лимонной кислоте (pH 2,5) с последующим



Рис. 6. Устойчивость реставрационных материалов к циклическому pH-воздействию
Fig. 6. Resistance of restorative materials to pH cycling

60-минутным хранением в искусственной слюне, повторяемые циклы в течение 7 дней. Результаты продемонстрировали следующую иерархию устойчивости (от наибольшей к наименьшей) (рис. 6): микрогибридные композиты > нанопополненные композиты > компомеры > стеклоиономерные цементы, модифицированные смолой > конвенциональные стеклоиономерные цементы [26].

Авторы подчеркнули, что статистически значимые различия между композитами и стеклоиономерами обусловлены принципиально разными механизмами деградации: растворение матрицы стеклоиономеров происходит непосредственно в кислотной среде, тогда как деградация композитов имеет преимущественно гидролитический характер и развивается медленнее.

Важно отметить, интерпретация результатов лабораторных исследований требует понимания их ограничений. Drummond (2008) в систематическом обзоре выделил следующие проблемы:

- условность моделирования. Условия *in vitro* не воспроизводят всей сложности среды полости рта – присутствие слюны, пелликулы, микробной биопленки, динамических механических нагрузок. Концентрации кислот и время экспозиции в лабораторных протоколах часто значительно превышают реальные клинические условия;
- отсутствие стандартизации. Различия в методологии между исследованиями (тип кислоты, pH, температура, продолжительность воздействия, методы оценки) затрудняют сравнение результатов и обобщение данных;
- использование свежизготовленных образцов. Большинство исследований выполнено на образцах без предварительного старения, тогда как клинически значимые изменения развиваются в реставрациях, уже подвергшихся определенной деградации;
- неопределенная клиническая релевантность. Корреляция между результатами лабораторных тестов и клиническими исходами не всегда очевидна. Материал, демонстрирующий превосходство *in vitro*, может не проявлять преимуществ в клинических условиях, и наоборот.

Ferracane (2006) подчеркнул, что данные исследований *in vitro* следует рассматривать как индикатор потенциального поведения материала, требующий подтверждения в клинических исследованиях [14].

Наиболее ценную информацию о клинической эффективности реставрационных материалов предоставляют проспективные исследования с длительным периодом наблюдения. Da Rosa Rodolpho et al. (2011) опубликовали результаты 22-летнего наблюдения за композитными реставрациями жевательных зубов – одного из наиболее продолжительных исследований в данной области. Исследование включало 238 реставраций, выполненных у 55 пациентов. Кумулятивная выживаемость представлена в табл. 3.

Таблица 3
Данные по кумулятивной выживаемости материалов
Table 3
Data on cumulative survival of materials

Срок наблюдения	5 лет	10 лет	15 лет	22 года
Выживаемость	95,4%	90,1%	79,4%	63,2%

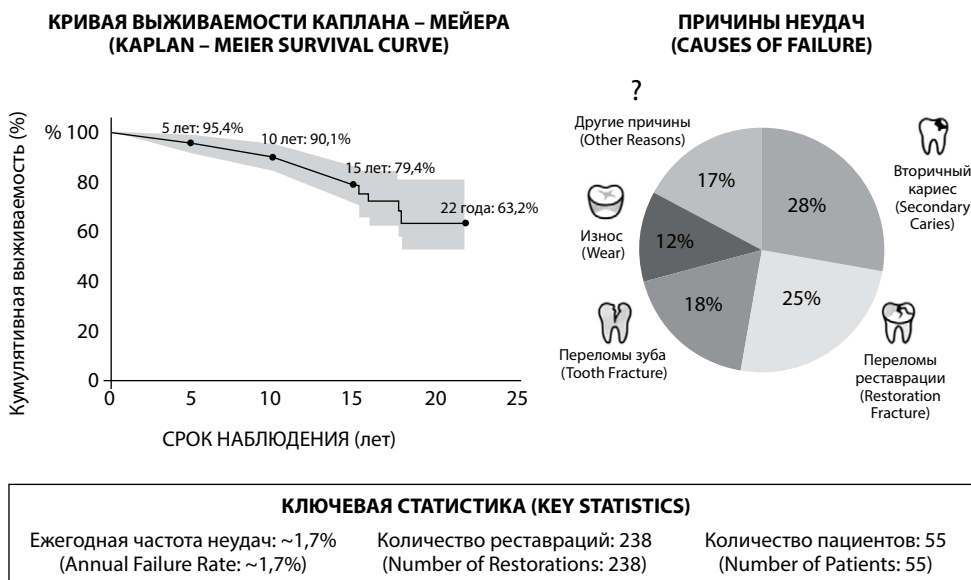


Рис. 7. Выживаемость композитных реставраций в результате 22-летнего наблюдения
Fig. 7. Survival of composite restorations after a 22-year observation period

Основными причинами неудач были: вторичный кариес (28%), переломы реставрации (25%), переломы зуба (18%), износ (12%), другие причины (17%). Авторы отметили, что ежегодная частота неудач составила около 1,7%, что согласуется с данными других долгосрочных исследований (рис. 7) [31].

Важно отметить, что данное исследование выполнено на материалах 1980–1990-х гг. Современные композиты обладают улучшенными характеристиками, что позволяет ожидать лучших клинических результатов, хотя это предположение требует подтверждения в сопоставимых по продолжительности исследованиях.

Van Dijken & Pallesen (2016) опубликовали результаты 5-летнего рандомизированного контролируемого исследования bulk fill композитных реставраций. В исследование включены 183 реставрации I и II класса, выполненные с использованием высоковязкого bulk fill композита. Контрольную группу составили реставрации из конвенционального наногибридного композита [32]. Результаты не выявили статистически значимых различий между группами: через 5 лет 10 реставраций оказались неудачными (5,5%), все – II класса, 4 реставрации с использованием SDR-CeramX моно+ и 6 реставраций только с использованием CeramX моно+. Основными причинами неудач были перелом зуба (6) и вторичный кариес (4). Годовая частота неудач (AFR) для всех реставраций (I и II класса) составила для реставраций с объемным заполнением 1,1%, а для реставраций только из полимерного композита – 1,3% ($p=0,12$) [32]. Далее Van Dijken & Pallesen (2017) расширили период наблюдения до 6 лет, подтвердив отсутствие значимых различий между bulk fill и конвенциональными композитами

по всем оцениваемым параметрам. Авторы заключили, что высоковязкие bulk fill композиты являются клинически приемлемой альтернативой конвенциональным материалам для реставрации жевательных зубов [33]. Следует отметить, что данные исследования выполнены на кариозных полостях I и II класса; экстраполяция результатов на пришеечные эрозивные дефекты требует осторожности вследствие различий в условиях функционирования реставраций.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Некариозные пришеечные дефекты (non-carious cervical lesions – NCCL) эрозивного генеза представляют собой клиническую ситуацию, принципиально отличающуюся от кариозных полостей жевательной группы, для которых традиционно разрабатываются и тестируются композитные реставрационные материалы. Перенос данных, полученных для окклюзионных реставраций, на пришеечные дефекты кислотного происхождения без критической переоценки является методологической ошибкой, что необходимо учитывать. Эрозивные пришеечные поражения формируются вследствие хронического воздействия кислот эндогенного (гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, расстройства пищевого поведения) или экзогенного (кислые напитки, цитрусовые, вино, профессиональные вредности) происхождения [38–40]. Пришеечная область является зоной наибольшей уязвимости вследствие тонкого слоя эмали в области эмалево-цементного соединения и анатомической близости к десневой борозде, аккумулирующей кислый экссудат при рефлюксе [41].

Продолжающаяся кислотная экспозиция создает агрессивную химическую среду, в которой реставрация подвергается циклическому воздействию низких значений pH (2,0–4,5) [20]. Материал должен противостоять не только механическим, но и химическим факторам деградации – гидролитической деструкции силановой связи наполнитель/матрица и эрозии полимерной матрицы [42, 43].

Прогнозируемая устойчивость реставрационных материалов в кислой среде – это не прямая характеристика, а аналитический вывод на основании данных о составе и свойствах композитов. На основании анализа работ Ilie & Hickel, Ferracane, Drummond, Söderholm, Van Meerbeek и Heintze [14, 15, 19, 24, 28, 34, 44] приходим к выводу, что ряд признаков реставрационных материалов особо значимы в контексте лечения кислотной эрозии:

1. Объемное содержание наполнителя (vol%) – чем выше, тем меньше доля матрицы, обычно лучше устойчивость к среде.
2. Массовое содержание наполнителя (wt%) – дополнительный показатель общей насыщенности неорганической фазой.
3. Тип наполнителя silica/zirconia – лежит в основе более инертных систем композитов.
4. Современные гидрофобно-ориентированные системы матриц (TCD-DI-HEA, AUDMA, AFM, UDMA-based) – более устойчивы в кислой среде, чем классические Bis-GMA/TEGDMA-системы. Матрица влияет на сорбцию воды, размягчение и долговременную стабильность.

Рассмотрим некоторые популярные реставрационные композитные материалы по физико-химическим параметрам и сравним их на предмет устойчивости в кислой среде. Массовая и объемная доля наполнителя извлекалась из IFU (инструкция по применению), Technical Product Profile (технический профиль материала) или

Таблица 4
Характеристика исследуемых композитных материалов
Table 4
Characteristics of the studied composite materials

Категория	Материал	Производитель	Тип наполнителя	Наполнение (wt%)	Наполнение (vt%)	Основные мономеры (матрица)
Универсальные наногибридные						
	Harmonize	Kerr	Наносферы ART: SiO ₂ , ZrO ₂	81	64,5	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA
	Estelite Sigma Quick	Tokuyama	Сферические супра-нано: Spherical silica-zirconia filler + composite filler	82	71	Bis-MPEPP, TEGDMA
	Gradia Direct X	GC	Микрофил/гибрид: Fluoro-alumino-silicate glass	77	65	UDMA, TEGDMA
	Filtek Supreme Ultra	3M	Нанонаполненный универсальный: Non-agglomerated silica, zirconia, zirconia/silica clusters	78,5	63,3	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, PEGDMA, TEGDMA
	Venus Pearl	Kulzer	Наногибрид: Barium-aluminum-fluoride glass + SiO ₂	80	64	TCD-DI-HEA, UDMA
Высоковязкие Bulk fill						
	Tetric EvoCeram Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	Наногибрид + Ivocerin: Barium glass, ytterbium fluoride, mixed oxide, prepolymer Dimethacrylate	80	61	Bis-GMA, UDMA
	Filtek One Bulk Fill	3M	Нанокластеры: Silica, zirconia, ytterbium trifluoride, cluster filler	76,5	58,4	AUDMA, UDMA, AFM, 1,12-dodecane-DMA
	GrandioSO x-tra	VOCO	Наногибрид: Glass ceramic + nano-silica	86	73	Bis-GMA, Bis-EMA
	Sonic Fill 2	Kerr	Наногибрид: Glass/oxide/silica filler system	83,5	69	EBPADMA/TEGDMA
Жидкотекучие Bulk fill						
	GrandioSO Heavy Flow	VOCO	Наногибрид: Glass ceramic + nano-silica	83	68	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA
	SDR flow+	Dentsply Sirona	Микрогибрид: Barium alumino fluoro borosilicate glass, Sr-Al-fluoro-silicate glass, silica	68	44	UDMA modified + TEGDMA
	Venus Bulk Fill	Kulzer	Микрогибрид: Barium-aluminum-fluoride glass, ytterbium fluoride, SiO ₂	65	38	UDMA, EBPDMA
	Filtek Bulk Fill Flowable	3M	Наногибрид: Silica, zirconia, ytterbium trifluoride	64,5	42,5	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA
	X-tra base	VOCO	Микрогибрид: Barium-boron-aluminosilicate glass + silica	75	61	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA
	Beautiful Bulk Flow	Shofu	Гиомер (S-PRG)	74,5	56,7	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA
	Estelite Bulk Fill Flow	Tokuyama	Сферические супра-нано: Spherical silica-zirconia filler + composite filler	70	56	Bis-MPEPP/TEGDMA



Окончание таблицы 4

	G-aenial Universal Injectable	GC	Наполненный силоксаном: Barium glass, strontium glass, silica, prepolymerized filler	69	57	Bis-MEPP, UDMA, TEGDMA
	Tetric EvoFlow Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	Наногибрид + Ivocerin: Barium glass, ytterbium fluoride, mixed oxide	75	54	Bis-GMA, UDMA

Примечание: технические данные получены из официальных источников производителей композитных материалов (табл. 5).

Таблица 5
Официальные источники технических данных по исследуемым композитам
Table 5
Official sources of technical data on the studied composites

Производитель	Главный ресурс	Раздел документации
3M	https://www.3m.com/dental-us	multimedia.3m.com/mws/
VOCO	https://www.voco.dental	/products/downloads/
Ivoclar Vivadent	https://www.ivoclar.com	/downloadcenter/
Dentsply Sirona	https://www.dentsplysirona.com	/content/dam/dentsply/pim/
Kerr Dental	https://www.kerrdental.com	/resource-center
Kulzer	https://www.kulzer.com	/downloads/
GC Corporation	https://www.gc.dental	/products/downloads/
Tokuyama Dental	https://www.tokuyama-dental.com	/downloads/
Shofu	https://www.shofu.com	/downloads/

Прогнозируемая кислотостойкость наполнителя
(аналитическая интерпретация, не заявление производителя)

Более химически инертные (стабильные) Потенциально более подверженные изменениям поверхности под действием кислоты (реактивные)

КАТЕГОРИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ (доминирующий тип системы)	Материалы (сгруппированы по прогнозируемой стабильности)			
(1) Системы с доминированием диоксида кремния / циркония (например, нанопополнители, кластеры)	Filtek Supreme Ultra Filtek One Bulk Fill Estelite Sigma Quick Estelite Bulk Fill Flow Harmonize			
(2) Бариевое стекло / фторалюмосиликатное / иттербий-содержащее стекло системы		Venus Pearl Tetric EvoCeram Bulk Fill SDR flow+ Venus Bulk Fill x-tra base G-aenial Universal Injectable Tetric EvoFlow Bulk Fill		
(3) Смешанные стеклокерамические наногибридные системы (различные стекла, часто высокая нагрузка)			GrandioSO x-tra GrandioSO Heavy Flow SonicFill 2	
(4) S-PRG Гиомерная система (поверхностно-реактивный стеклоиономер)				Beautifil Bulk Flow

ПРИМЕЧАНИЕ: интерпретация основана на открытых данных производителя о составе и рецензируемой литературе по стоматологическим материалам, касающейся химии наполнителей, водопоглощения и кислотной деградации. Относительные положения иллюстрируют потенциальные тенденции, основанные на типах рецептур, и не являются окончательными гарантиями эффективности в конкретных клинических ситуациях.

Рис. 8. Прогнозируемая кислотостойкость наполнителей композитов (аналитическая интерпретация)
Fig. 8. Predicted acid resistance of composite fillers (analytical interpretation)

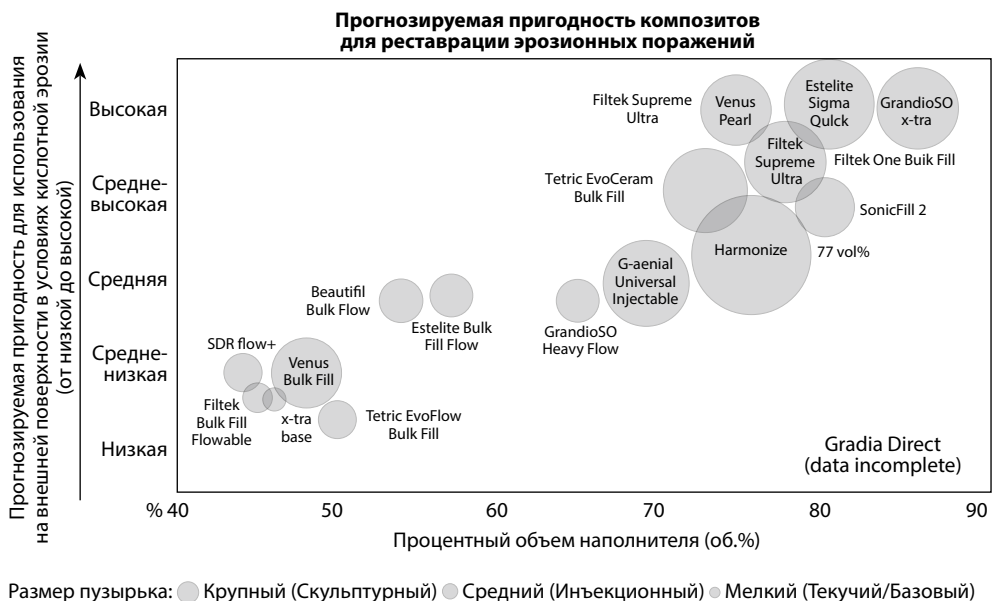


Рис. 9. Прогнозируемая пригодность композитов в условиях эрозий
Fig. 9. Predicted suitability of composites under erosive conditions

Scientific Documentation (раздел научной документации), а состав органической матрицы верифицировался по соответствующим Safety Data Sheets (паспорт безопасности продукта) (табл. 4).

Наиболее высокие значения объемного наполнения среди анализируемых материалов были заявлены для GrandioSO x-tra (73 vol%), Estelite Sigma Quick (71 vol%) и SonicFill 2 (69 vol%). Наиболее современные мономерные системы среди открыто декларируемых составов были характерны для Venus Pearl (TCD-DI-HEA/UDMA) и Filtek One Bulk Fill (AUDMA/UDMA/AFM), тогда как ряд flowable bulk fill материалов характеризуется более низкой объемной долей наполнителя и, соответственно, большей долей органической матрицы. Данные представлены на рис. 8.

Таким образом, по совокупности данных можно выделить несколько композитных материалов, прогнозируемо наиболее подходящих для реставрации эрозий кислотной этиологии по ряду ключевых параметров (рис. 9).

Получается, что у композита Venus Pearl прогнозируемо одна из самых привлекательных матриц для кислой среды, у Filtek One Bulk Fill – современная bulk fill матрица и стабильная filler-система, Filtek Supreme Ultra отличается надежным профилем наполнения, а Estelite Sigma Quick имеет высокий процент наполнения и уникальную сферическую форму наполнителя. Нужно отметить, что GrandioSO x-tra – лидер по наполнению, хотя матрица более традиционная.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературы позволяет сформулировать следующие выводы относительно применения композитных материалов для минимально инвазивного лечения пришеечных эрозий:

1. Композитные материалы являются обоснованным выбором для реставрации пришеечных эрозивных дефектов. Они обладают достаточной химической стабильностью, износостойкостью, эстетическими свойствами и возможностью адгезивной фиксации без макромеханического препарирования.
2. Устойчивость композитов к эрозивной деградации определяется комплексом факторов: составом мономерной системы (меньшая гидрофильность матриц на основе UDMA по сравнению с Bis-GMA/TEGDMA), объемным содержанием наполнителя (более высокое наполнение – лучшая износостойкость), качеством силанизации частиц наполнителя, степенью конверсии мономеров.
3. Современные наногибридные композиты с содержанием наполнителя более 55–60% по объему обеспечивают оптимальный баланс свойств для реставрации эрозивных дефектов.
4. Высоковязкие bulk fill композиты демонстрируют клиническую эффективность, сопоставимую с конвенциональными материалами, и могут применяться для реставрации пришеечных дефектов с учетом их физико-механических характеристик.
5. Низковязкие (flowable) композиты с пониженным содержанием наполнителя менее предпочтительны для зон, подверженных эрозивному воздействию, и при их использовании целесообразно перекрытие поверхностного слоя высоконаполненным материалом.
6. Долгосрочный успех лечения определяется не только свойствами материала, но и в значительной мере контролем этиологического фактора эрозии. Без устранения или контроля этиологии прогноз реставрации неблагоприятный независимо от выбранного материала.
7. Клинические исследования с периодом наблюдения до 22 лет подтверждают приемлемую долговечность композитных реставраций при ежегодной частоте неудач около 1–2%. Основными причинами неудач являются вторичный кариес, переломы реставрации и зуба, потеря ретенции.

Настоящий обзор имеет ряд ограничений, которые следует учитывать при интерпретации выводов:

- ограниченное количество клинических исследований, специфически посвященных реставрации пришеечных эрозий (большинство исследований объединяют различные типы некариозных пришеечных поражений);
- преобладание исследований *in vitro*, клиническая релевантность которых не всегда очевидна;
- отсутствие стандартизированных протоколов оценки эрозивной устойчивости композитов;
- ограниченная продолжительность клинических исследований современных материалов (bulk fill, нанокомпозиты);
- потенциальное влияние конфликта интересов в исследованиях, спонсированных производителями.

Для практикующих врачей-стоматологов на основании проведенного анализа могут быть сформулированы следующие рекомендации:

1. При выборе композитного материала для реставрации пришеечных эрозий отдавать предпочтение наногибридным композитам или высоковязким bulk fill материалам с объемным содержанием наполнителя более 55–60%.
2. Учитывать состав мономерной системы: материалы с преобладанием UDMA и пониженным содержанием TEGDMA характеризуются лучшей гидролитической стабильностью.
3. Обеспечивать адекватную полимеризацию (достаточная мощность лампы, время экспозиции, послойная техника) для достижения максимальной степени конверсии.
4. Уделять особое внимание адгезивной подготовке склерозированного дентина и изоляции операционного поля.
5. Обязательно включать в план лечения мероприятия по контролю этиологического фактора эрозии.
6. Осуществлять диспансерное наблюдение с оценкой состояния реставраций и эффективности контроля этиологии.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Imfeld T. Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci.* 1996 Apr;104(2 (Pt 2)):151–5. PMID: 8804882. doi: 10.1111/j.1600-0722.1996.tb00063.x
2. Carvalho TS, Colon P, Ganss C, et al. Consensus report of the European Federation of Conservative Dentistry: erosive tooth wear – diagnosis and management. *Clin Oral Investig.* 2015;19(7):1557–1561. PMID: 26214338.
3. Lussi A, Carvalho TS. Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:1–15. PMID: 24993253.
4. Jaeggi T, Lussi A. Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:55–73. PMID: 24993258.
5. Taji S, Seow WK. A literature review of dental erosion in children. *Aust Dent J.* 2010;55(4):358–367. PMID: 21174905.
6. Lussi A, Schlueter N, Rakhmatullina E, Ganss C. Dental erosion – an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries Res.* 2011;45(Suppl 1):2–12. PMID: 21625128.
7. Shellis RP, Featherstone JD, Lussi A. Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:163–179. PMID: 24993265.
8. Hoppenbrouwers PM, Driessens FC, Borggreven JM. The mineral solubility of human tooth roots. *Arch Oral Biol.* 1987;32(5):319–322. PMID: 3478009.
9. Shellis RP, Barbour ME, Jones SB, Addy M. Effects of pH and acid concentration on erosive dissolution of enamel, dentine, and compressed hydroxyapatite. *Eur J Oral Sci.* 2010;118(5):475–482. PMID: 20831581.
10. Attin T, Buchalla W, Gollner M, Unique C. Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel. *Caries Res.* 2000;34(1):48–52. PMID: 10601784.
11. Hara AT, Lussi A, Zero DT. Biological factors. *Monogr Oral Sci.* 2006;20:88–99. PMID: 16687887.
12. Meyers IA. Diagnosis and management of the worn dentition: risk management and pre-restorative strategies for the oral and dental environment. *Ann R Australas Coll Dent Surg.* 2008 Jun;19:27–30. PMID: 19728626.
13. West NX, Joiner A. Enamel mineral loss. *J Dent.* 2014 Jun;42 Suppl 1:S2–11. PMID: 24993851. doi: 10.1016/S0300-5712(14)50002-4
14. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater.* 2006;22(3):211–222. PMID: 16043217.
15. Söderholm KJ, Zigan M, Ragan M, et al. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res.* 1984;63(10):1248–1254. PMID: 6237094.
16. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials.* 2005;26(4):4932–4937. PMID: 12437960.
17. Sideridou ID, Karabela MM. Effect of the structure of silane-coupling agent on sorption characteristics of dental resin-nanocomposites. *J Dent Res.* 2011;90(6):782–788. PMID: 21393554.
18. Sideridou ID, Karabela MM. Sorption of water, ethanol or ethanol/water solutions by light-cured dental dimethacrylate resins. *Dent Mater.* 2011 Oct;27(10):1003–10. Epub 2011 Jul 23. PMID: 21783239. doi: 10.1016/j.dental.2011.06.007
19. Drummond JL. Degradation, fatigue, and failure of resin dental composite materials. *J Dent Res.* 2008;87(8):710–719. PMID: 18650540.
20. Chadwick RG, McCabe JF, Walls AWG, Storer R. The effect of storage media upon the surface microhardness and abrasion resistance of three composites. *Dent Mater.* 1990;6(3):169–175. PMID: 2086288.
21. Turssi CP, Ferracane JL, Vogel K. Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. *Biomaterials.* 2005;26(24):4932–4937. PMID: 15823541.
22. Bowen RL. Dental filling material comprising vinyl-silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bisphenol and glycidyl methacrylate. US Patent 3,066,112. 1962.
23. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials.* 2003;24(4):655–665. PMID: 12437960.

24. Heintze SD, Zellweger G, Zappini G. The relationship between physical parameters and wear of dental composites. *Wear*. 2007;263(7–12):1138–1146. doi: 10.1016/j.wear.2006.12.010
25. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Oper Dent*. 2013;38(6):618–625. PMID: 23570302.
26. Honório HM, Rios D, Francesconi LF, et al. Effect of prolonged erosive pH cycling on different restorative materials. *J Oral Rehabil*. 2008;35(12):947–953. PMID: 19012765.
27. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*. 2014;18(8):1983–1990. PMID: 24364623.
28. Ilie N, Hickel R. Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR technology. *Dent Mater*. 2011;27(4):348–355. PMID: 21163519.
29. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent*. 2014 Aug;42(8):993–1000. Epub 2014 May 27. PMID: 24874951. doi: 10.1016/j.jdent.2014.05.009
30. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, Tantbirojn D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. *J Dent*. 2006;34(3):214–220. PMID: 16087287.
31. Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dent Mater*. 2011;27(10):955–963. PMID: 21840044.
32. van Dijken JW, Pallesen U. Posterior bulk-filled resin composite restorations: A 5-year randomized controlled clinical study. *J Dent*. 2016 Aug;51:29–35. Epub 2016 May 26. PMID: 27238052. doi: 10.1016/j.jdent.2016.05.008
33. van Dijken JW, Pallesen U. Bulk-filled posterior resin restorations based on stress-decreasing resin technology: a randomized, controlled 6-year evaluation. *Eur J Oral Sci*. 2017 Aug;125(4):303–309. Epub 2017 May 19. PMID: 28524243. doi: 10.1111/eos.12351
34. Heintze SD, Cavalleri A. Retention loss of class v restorations after artificial aging. *J Adhes Dent*. 2010 Dec;12(6):443–9. PMID: 21246065. doi: 10.3290/jjad.a18240
35. Pereira Sanchez N, Powers JM, Paravina RD. Instrumental and visual evaluation of the color adjustment potential of resin composites. *J Esthet Restor Dent*. 2019 Sep;31(5):465–470. Epub 2019 May 16. PMID: 31095870. doi: 10.1111/jerd.12488
36. Chadwick RG, McCabe JF, Walls AW, Storer R. The effect of storage media upon the surface microhardness and abrasion resistance of three composites. *Dent Mater*. 1990 Apr;6(2):123–8. PMID: 2079172. doi: 10.1016/s0109-5641(05)80042-9
37. Chadwick RG. Materials legacy – past, present and future. *Br Dent J*. 2022 May;232(9):585. PMID: 35562428. doi: 10.1038/s41415-022-4247-1
38. Carvalho TS, Lussi A, Jaeggi T, Gambon DL. Erosive tooth wear in children. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:262–78. Epub 2014 Jun 26. PMID: 24993274. doi: 10.1159/000360712
39. Schlueter N, Mulic A, Luka B. Global Prevalence of Erosive Tooth Wear. *Monogr Oral Sci*. 2025;33:45–71. Epub 2025 May 28. PMID: 40435957. doi: 10.1159/000543785
40. Lussi A, Jaeggi T. Erosion – diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig*. 2008 Mar;12(Suppl 1):S5–13. Epub 2008 Jan 29. PMID: 18228059; PMCID: PMC2238777. doi: 10.1007/s00784-007-0179-z
41. Bartlett DW, Lussi A, West NX, Bouchard P, Sanz M, Bourgeois D. Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent*. 2013 Nov;41(11):1007–13. Epub 2013 Sep 1. PMID: 24004965. doi: 10.1016/j.jdent.2013.08.018
42. Yip KH, Smales RJ, Kaidonis JA. Differential wear of teeth and restorative materials: clinical implications. *Int J Prosthodont*. 2004 May-Jun;17(3):350–6. PMID: 15237885.
43. Grippio JO, Simring M, Coleman TA. Abfraction, abrasion, biocorrosion, and the enigma of noncarious cervical lesions: a 20-year perspective. *J Esthet Restor Dent*. 2012 Feb;24(1):10–23. Epub 2011 Nov 17. PMID: 22296690. doi: 10.1111/j.1708-8240.2011.00487.x
44. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*. 2003 May-Jun;28(3):215–35. PMID: 12760693.