

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕНИЯ ИНГИБИРОВАННОГО КИСЛОРОДОМ СЛОЯ С ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научный руководитель: к.м.н., доцент Казеко Л.А.

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

Аннотация. Современные высокие требования к эстетике и механическим свойствам прямой композитной реставрации определяют введения определенных стандартов выполнения каждого из этапов. Гладкая поверхность материала достигается путем качественной финишной обработки, которая может затрудниться при наличии ингибированного кислородом слоя. Целью работы является определение наиболее эффективного и доступного способа его удаления. Для сравнительного анализа в качестве рекомендуемых методов были выделены воздушная абразия, спиртовая химическая обработка, механическая обработка сухой ротационной щеткой, обработка щеткой с пастой, а также обработка алмазным бором. В результате исследования поверхностей обработанных образцов композиционного материала с помощью сканирующей электронной микроскопии было выявлено, что метод воздушно-абразивной обработки является более эффективным, а сухая ротационная щетка более доступной и экономически выгодной.

Ключевые слова: композиционные материалы, ингибированный кислородом слой, финишная обработка, сканирующая электронная микроскопия.

Введение. Ингибированный кислородом слой (ИКС), дисперсионный слой, - побочный продукт контакта композиционного материала с кислородом во время полимеризации, имеющий в своей структуре остаточные мономеры, что обуславливает его свойства рыхлости и липкости [1]. Неполимеризованная органическая матрица токсично влияет на мягкие ткани полости рта и пери-реставрационный комплекс [2], а также обладает потенциальной аллергенностью [3]. Липкая поверхность задерживает частицы полировочных паст, инструментов, пищевых пигментов, способствует снижению динамических показателей микротвердости и развитию пост-реставрационного дисколорита [4].

Цель исследования. Выявление наиболее эффективной методики удаления дисперсионного слоя с поверхности фотоотверждаемых композиционных материалов на основании данных сканирующей электронной микроскопии.

Материал и методы. В качестве шаблона для создания изучаемых образцов-столбиков была смоделирована округлая силиконовая форма диаметром 5 мм и высотой 3 мм (Elite HD+, Zhermack), которая была заполнена композиционными материалами: пакуемый универсальный микрогибридный материал G-aenial Posterior (GC), текучий наногибридный материал Filtek Bulk Fill (3M ESPE). Для удаления ИКС были выбраны следующие методы: механическая обработка алмазным бором абразивностью 10-36 мкм по ISO (желтая маркировка), механическая обработка сухой ротационной нейлоновой щеткой, ротационной щеткой с пастой ПолирПаст-D (Omega-Dent), химическая обработка 70%-м раствором этилового спирта (экспозиция 5 сек, 10 сек, 2 экспозиции по 5 сек) и воздушно-абразивная обработка порошком Rhapsody Flow (NaHCO₃, 40 мкм). Образцы для сканирования в СЭМ (TeScan MIRA3, x100-x5000) были разделены на следующие группы: 1-ая контрольная с сохраненным ИКС – 2 образца, основная группа с обработанными образцами – 10 образцов (рис. 1).

Для определения толщины ИКС были созданы образцы-капли 2-ой контрольной группы (рис. 2), что позволило изучить периферическую структуру материала и глубину ингибирования с помощью световой микроскопии и цифрового сканирования (KF-PRO 400, 0,25 мкм/пикс).



Рисунок 1. Образец-столбик композиционного материала



Рисунок 2. Образцы-капли 2-ой контрольной группы

Результаты исследования. Анализ микрофотографий сканируемых поверхностей образцов показал, что в 1-ой контрольной группе дисперсный слой визуализируется как аморфное и гомогенное покрытие, повторяющий текстуру композита за счет выступающих частиц неорганического наполнителя (рис. 3). Его средняя толщина составила $33,397 \pm 9,798$ мкм у пакуемого материала и $34,841 \pm 8,238$ мкм у текучего.

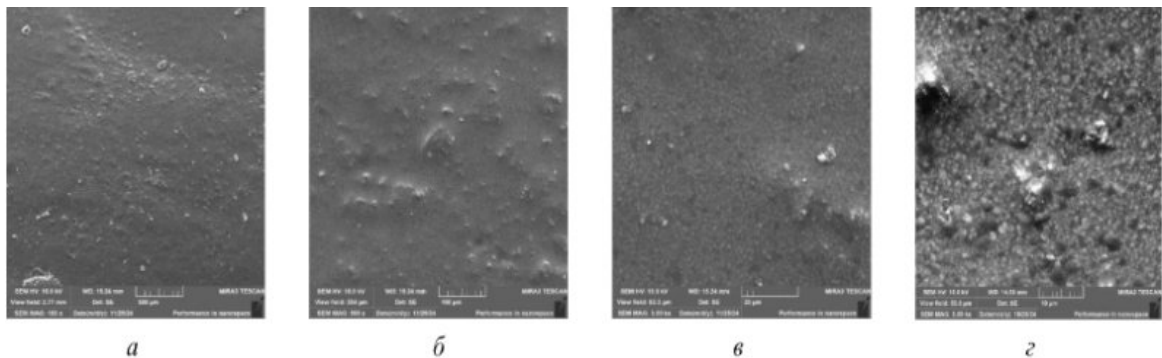


Рисунок 3. 1-я контрольная группа, Filtek Bulk Fill, СЭМ
а) x100; б) x500; в) x3000; г) x5000

Применение алмазного бора способствовало неравномерному и избыточному удалению ИКС и поверхностного слоя материала (рис.4), что может нарушить смоделированные контакты зубов-антагонистов и, как следствие, окклюзию. В дополнение к этому необходимость точной дозировки силы приложения инструмента и затраты времени на подбор формы алмазной головки также являются значимыми недостатками метода.

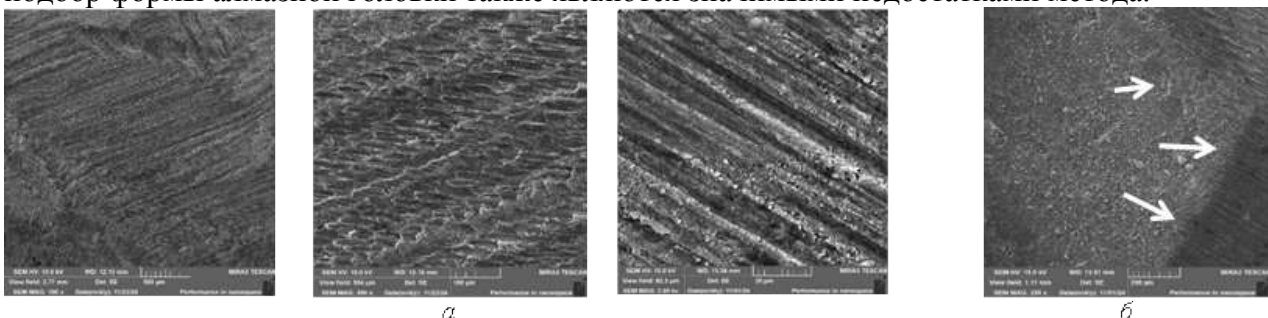


Рисунок 4. Обработка алмазным бором
а) G-aenial: x100; x500; x3000; б) граница необработанного участка, Bulk Fill: x250

Химическое удаление остаточных мономеров в той же мере определено как неравномерное и фрагментированное, при этом различное время экспозиции вещества на поверхности образцов не существенно повлияло на интенсивность растворения (рис. 5). Применение ротационной щетки с пастой, которые также являются доступными и нетребовательными в исполнении, показало лучшие по сравнению со спиртом результаты (рис. 6). На микрофотографиях при увеличении $\times 100$ при сравнении определяется более равномерное и полное удаление дисперсного слоя.

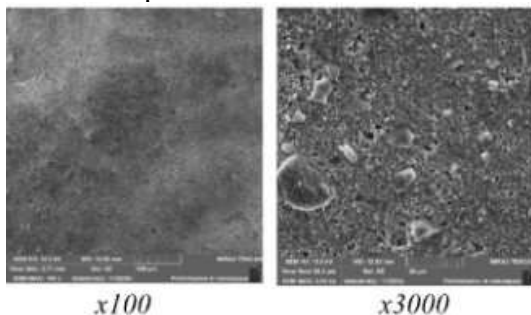


Рисунок 5. Спиртовая обработка, G-aenial

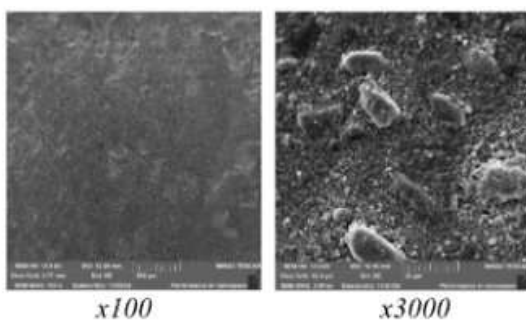


Рисунок 6. Щетка с пастой, Bulk Fill

По сравнению с щеткой и пастой, сухая ротационная щетка имела более и интенсивное механическое воздействие: поверхность образцов с частицами наполнителя сглажена (рис. 7). По нашему мнению, это может оказать дополнительное положительное влияние для последующих этапов шлифовки и полировки.

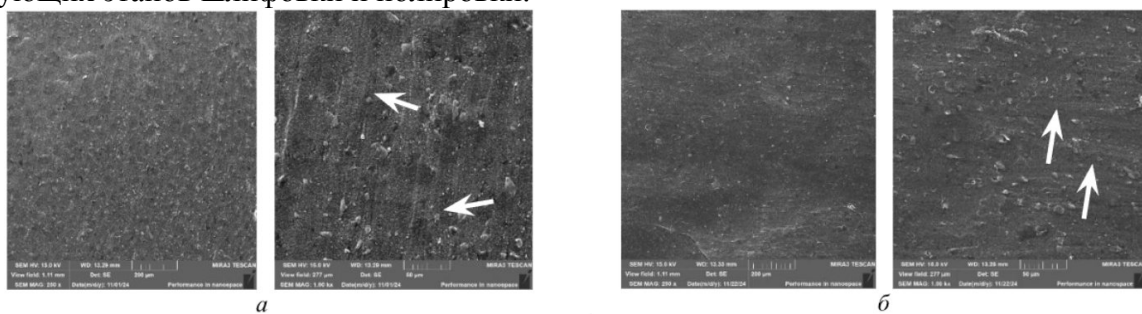


Рисунок 7. Сухая щетка

а) Bulk Fill: $\times 250$; $\times 1000$; б) G-aenial: $\times 250$; $\times 1000$. Обозначены борозды от щетинок

После применение воздушно-абразивной обработки была отмечена наибольшая равномерность удаления дисперсного слоя (рис. 8). Струя порошка охватывает большую площадь поверхности, позволяя обрабатывать труднодоступные области, например при реставрации полости 2 класса по Блэку, а также 1 класса со смоделированными фиссурами 2-го и 3-го порядка. Среди недостатков метода были отмечены экономическая затратность по оборудованию и материалам, а также необходимость аспирации со стороны ассистента.

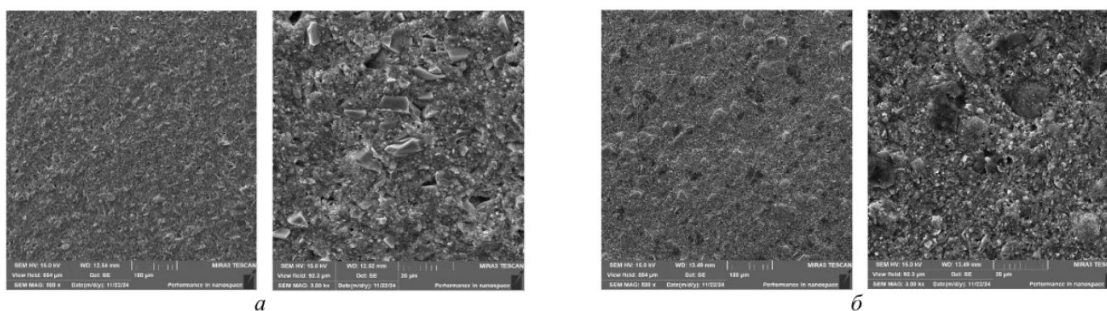


Рисунок 8. Воздушно-абразивная обработка

а) G-aenial: x500; x3000; б) Filtek Bulk Fill: x500; x3000

Обобщенные результаты сравнительного анализа микрофотографий поверхности образцов после применения различных инструментов и методов удаления ИКС приведены в таблице 1.

Таблица 1. Критерии сравнительной оценки.

	Равномерность удаления	Полнота удаления	Степень повреждения	Доступность метода	Легкость в исполнении
Алмазный бор	-	+++	+++	+	-
70%-ый раствор этанола	+	+	-	+	+
Воздушно-абразивная обработка	+++	+++	+	-	-
Ротационная щетка	++	+++	+	+	+
Ротационная щетка с пастой	++	++	-	+/-	+

Заключение. Результаты проведенного исследования позволяют утверждать, что наиболее эффективным методом для удаления ИКС является воздушно-абразивная обработка, которая, однако, требует дополнительных затрат и материального обеспечения. Более доступными и оптимальными методами удаления ИКС выбрана обработка сухой нейлоновой ротационной щеткой.

Список литературы:

1. Николаев, А. И. Практическая терапевтическая стоматология : учеб. пособие / А. И. Николаев, Л. М. Цепов. – 12-е изд. – Москва.: МЕДпресс-информ., 2022. – 928 с.
2. Дедова, Л. Н. Особенности реставрации твердых тканей зубов у пациентов с болезнями периодонта : учебно-методическое пособие / Л. Н. Дедова, Ю. Л. Денисова, А. С. Соломевич. – Минск : БГМУ, 2022. – 28 с.
3. Influence of surface treatment and curing mode of resin composite cements on fibroblast behavior / N. Rohr, C. Baumann, S. Märtin, N. U. Zitzmann // Head & Face Medicine. – 2022. – Vol. 18, № 18. – P. 18–25.
4. Сравнительная характеристика средств, предотвращающих появление ингибированного слоя на поверхности композита / В. В. Таиров, А. А. Арутюнова, К. К. Егунян [и др.] // Кубанский научный медицинский вестник. – 2018. – Т. 25, № 5. – С. 98–103.

Пинегина К.Л.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Научный руководитель: Разумова А.А. (ст. преподаватель)

Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, г. Витебск

Аннотация. Нанотехнологии стремительно входят в клиническую практику, меняя подходы к лечению и профилактике стоматологических заболеваний. В статье рассмотрены основные направления применения наночастиц и наноматериалов в терапевтической стоматологии: от реминерализации эмали до создания нанокомпозитов и антимикробных покрытий. Проведён обзор литературы, выделены перспективные технологии и их клинические преимущества. Работа ориентирована на врачей-стоматологов, заинтересованных в современных и эффективных решениях.

Ключевые слова: нанотехнологии, терапевтическая стоматология, наночастицы, нанокомпозиты, реминерализация, антимикробные покрытия, диагностика, биосовместимость.

Введение. Если раньше нанотехнологии казались чем-то из области фантастики, то сегодня они уверенно входят в стоматологическую практику. Наночастицы — это частицы размером от 1 до 100 нм, обладающие уникальными физико-химическими свойствами. В терапевтической стоматологии они применяются для создания материалов с улучшенной прочностью, эстетикой, биосовместимостью и антимикробной активностью [1]. Особенно перспективны нанокомпозиты, нанопокрывтия для имплантатов и наночастицы кальция и фтора для реминерализации эмали [2].

Цель исследования. Оценить перспективные направления применения нанотехнологий в терапевтической стоматологии, выявить их клинические преимущества и обосновать целесообразность внедрения в практику врача-стоматолога.

Материал и методы. В работе использованы данные из пяти научных источников, опубликованных в период с 2020 по 2024 год. Проведён контент-анализ публикаций, включающих клинические исследования, обзоры и экспериментальные данные. Для оценки эффективности наноматериалов рассмотрены следующие параметры: реминерализующая активность, антимикробная активность, адгезия к тканям зуба, эстетическая стабильность. Аппаратура: спектрофотометр Vita Easyshade V, микроскоп Zeiss Axio Lab.A1, термокамера Binder. Статистическая обработка проводилась в пакете IBM SPSS Statistics 27.0. Критический уровень значимости при проверке гипотез принят равным $p = 0,05$. Фактические значения p указаны при сравнении параметров. Средние значения представлены как выборочное среднее (M), ошибка среднего (m), стандартное отклонение (STD).

Результаты исследования. Наночастицы кальция и фтора показали выраженную реминерализующую активность: прирост микротвёрдости эмали составил $M = 12,4$ HV, $STD = 1,3$, $p = 0,028$. Нанокомпозиты обеспечили высокую эстетическую адаптацию ($\Delta E < 2,0$) и прочность на изгиб до 120 МПа. Нанопокрывтия на основе серебра и диоксида титана продемонстрировали антимикробную активность против *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus* spp. ($p = 0,031$). Биосовместимость материалов подтверждена отсутствием цитотоксичности в тестах на культуру фибробластов [3].

Таблица 1. Свойства материалов, применяемых в терапевтической стоматологии

Тип наномера	Основное применение	Клиническое преимущество
Наночастицы кальция/фтора	Реминерализация эмали	Повышение устойчивости к кариесу

Нанокompозиты	Эстетическая реставрация	Прочность, цветостабильность
Нанопокpытия (Ag, TiO ₂)	Имплaнтoлoгия, плoмбирование	Антимикрoмбый эффект
Наночaстицы оксидa цинкa	Глубoкoe плoмбирование	Уменьшение воспаления

Обсуждение. Нанотехнологии — это не просто модное слово, а реальный инструмент врача. Они позволяют решать задачи, которые раньше требовали сложных и дорогостоящих решений. Например, нанокompозиты обеспечивают реставрации, которые не только выглядят естественно, но и служат дольше. Нанопокpытия на имплaнтaтaх снижают риск периимплaнтитa, а наночaстицы кaльция — восстанавливают эмаль без инвазивного вмешательства. Конечно, важно учитывать биосовместимость и контролировать дозировку, но потенциал этих технологий — огромен [4, 5].

Зaключение. Нанотехнологии открывают новые горизонты в терапевтической стоматологии. Они делают лечение более точным, эстетичным и долговечным. Внедрение наноматериалов в повседневную практику — это шаг к стоматологии будущего, где качество и комфорт пациента выходят на первый план.

Список литературы:

1. Цепов, Л. М. Нанотехнологии и перспективы их использования в стоматологии // Л. М. Цепов, Е. А. Михеева, М. М. Нестерова // Дентал Юг. – 2010. – Т. 83, № 11. – С. 60–61.
2. Нанотехнологии в стоматологии: новые горизонты лечения // Стоматологическая клиника «Авторская клиника Cosmodent». – URL: <https://cosmodent.su/materials/articles/nanotekhnologii-v-stomatologii-novye-gorizonty-lecheniya/> (дата обращения 10.09.2025).
3. Гречихин, С.С. Значение и применение нанотехнологий в стоматологии / С. С. Гречихин // Балтийский гуманитарный журнал. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 86–88.
4. Chen, H. Nanomaterials in restorative dentistry: A review / H. Chen, K. Zhang, P. Lyu // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10, № 4. – P. 192–195.
5. Lee, J.H. Antibacterial properties of nano-silver coatings in dental applications / J.H. Lee, D.H. Kim, S.N. Jeong // J Dent Res. – 2022. – Vol. 101, № 3. – P. 345–351.