

УДК 661.1:616.31-089

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ИНГИБИРОВАННОГО КИСЛОРОДОМ СЛОЯ С ПОВЕРХНОСТИ ФОТООТВЕРЖДАЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Казеко Л.А., Пстыга Е.Ю., Воробьева К.С., Науменко М.А.

УО «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. Важность создания гладкой поверхности композитной реставрации для более высоких эстетических и механических характеристик диктует необходимость удаления ингибированного кислородом слоя как первичного этапа в финишной обработке. Из часто используемых и рекомендованных в литературе методов и инструментов для исследования были отобраны спиртовая обработка, механическая обработка ротационной щеткой, пастой, бором, а также воздушно-абразивная обработка, они применялись на образцах пакуемого и текучего фотоотверждаемых композиционных материалов. Проведены анализ и оценка структуры поверхностей образцов контрольных и опытных групп с помощью сканирующей электронной микроскопии, сравнение соотношения толщины ингибированного кислородом слоя с абразивностью инструментов. Результаты позволили сделать выводы: наиболее эффективным методом удаления слоя является воздушно-абразивная обработка, более экономически доступным и целесообразным – обработка ротационной сухой щеткой.

Ключевые слова: ингибированный кислородом слой; финишная обработка; фотоотверждаемые композиционные материалы; прямая реставрация.

Введение. Современная стоматология предъявляет высокие требования к качеству реставраций, особенно в аспекте их долговечности, функциональной состоятельности и эстетики. Одним из ключевых факторов, влияющих на эти параметры, является финишная обработка поверхности композитных материалов. В процессе светового отверждения композиционного материала под воздействием кислорода образуется ингибированный кислородом слой, он же дисперсионный слой, представляет собой преимущественно остаточные органические мономеры, не прошедшие полную полимеризацию. Этот слой побочный продукт, имеет рыхлую, липкую и ненаполненную структуру [1]. Налипание частиц абразива полировочных инструментов и паст в ямках и фиссурах смоделированной поверхности негативно влияет на качество этапов обработки реставрации. При динамическом наблюдении отмечается повышенная адгезия зубного налета, уменьшение показателей поверхностной микротвердости, развитие дисколорита, что приводит к снижению эстетических и механических характеристик композиционного материала [2], способствует развитию вторичного кариеса. Ингибированный кислородом слой может оказывать негативное влияние на биосовместимость реставрации, поскольку непрореагировавшие мономеры обладают токсичностью и потенциальной аллергенностью [3], способны вызывать патологические процес-

сы окружающих мягких тканей полости рта. В связи с этим удаление дисперсионного слоя отмечено многими авторами как первичный и необходимый этап финишной обработки реставрации.

Цель работы – сравнить эффективность различных инструментов и методов удаления ингибированного кислородом слоя с поверхности фотоотверждаемых композиционных материалов после полимеризации и оценить целесообразность их применения.

Задачи:

1. Визуализировать сохранившийся слой и определить его толщину;
2. Удалить дисперсионный слой различными инструментами и методами;
3. Изучить обработанные поверхности образцов;
4. Провести сравнительный анализ результатов;
5. Выбрать наиболее эффективный и оптимальный метод.

Материалы и методы. Для моделирования образцов была создана форма из силиконового оттискного материала Elite HD+ Putty Soft Normal (Zhermack), транспортировка осуществлялась в модифицированных тубах от дентальных имплантатов с полимерной подставкой. В качестве фотоотверждаемых композиционных материалов были выбраны пакуемый микрогибридный универсальный материал G-aenial Posterior (GC) и текучий на-

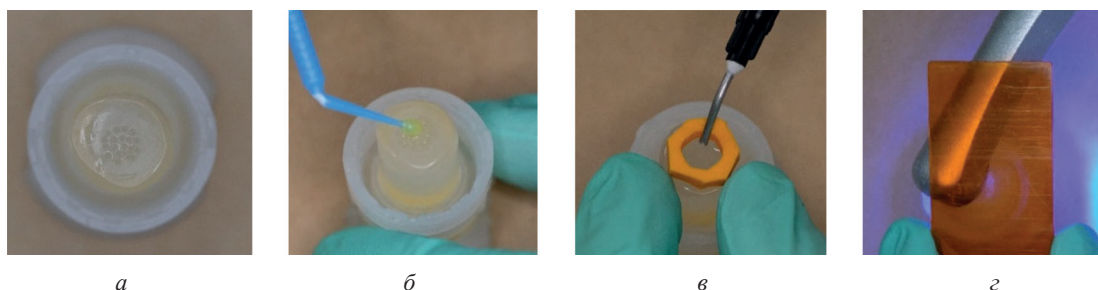


Рис. 1. Этапы моделирования образцов: а) создание дополнительной ретенции с помощью углублений в полимерной подставке; б) адгезивная подготовка; в) внесение материала; г) полимеризация



Рис. 2. Образцы 2-й контрольной группы

ногибридный материал объемного внесения Filtek Bulk Fill (3M ESPE). Адгезивная система Single Bond Universal (3M ESPE) обеспечила прочное соединение подставки с композитами, которыми заполнили силиконовую форму, с последующей их полимеризацией (рис. 1). Размер образцов составил 3 × 5 мм.

Образцы с сохраненным дисперсионным слоем составили 1-ую контрольную группу.

ка нейлоновой ротационной щеткой Kagayaki Bowl без пасты, с пастой ПолирПаст-D сухой блеск (Omega-Dent), воздушно-абразивная обработка порошком Rhapsody Flow (NaHCO_3 , 40 мкм). Для визуализации эталонной поверхности композита была создана 2-я контрольная группа. Проведено отверждение материалов в виде длинных цилиндров, их механическое дробление и отбор фрагментов с поверхностью, полимеризованной без доступа кислорода (рис. 2).

Изучение образцов указанных групп осуществлялось с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan MIRA3 LMU с увеличением ×100, ×250, ×500, ×1000, ×3000, ×5000 (табл. 1). На основании полученных микрофотографий провели сравнительный анализ по следующим критериям: равномерность и степень удаления дисперсионного слоя, наличие повреждения поверхности материала, доступность и простота в выполнении метода.

Таблица 1 – Итоговые группы образцов, изучаемых с помощью СЭМ

Группа образцов	Характеристика	Количество	
		G-aenial Posterior	Filtek Bulk Fill
1-я контрольная группа	Сохраненный ингибированный кислородом слой	1	1
2-я контрольная группа	Поверхность внутри материала	1	1
Опытные группы	Алмазный бор	3	3
	70 %-й раствор этилового спирта	3	3
	Ротационная сухая щетка	3	3
	Ротационная щетка с пастой	3	3
	Воздушно-абразивная обработка	3	3

Удаление слоя с образцов опытной группы проведено следующими методами: шлифовка алмазным бором с желтой маркировкой, обработка ватным шариком с 70 %-м раствором этилового спирта (экспозиция 5 сек, 10 сек, 2 экспозиции по 5 сек), механическая обработ-

Для определения толщины ингибированного кислородом слоя были изготовлены каплевидные образцы: композиционный материал сдавливался между предметным и покровным стеклами таким образом, чтобы воздух контактировал с ним только по периферии (рис. 3).

Высокая степень прозрачности и малая толщина каплей (пакуемый материал – 0,31 мм, текучий – 0,05 мм) позволили изучить периферическую структуру с помощью световой микроскопии. Проведено сканирование образцов (цифровой сканер KF-PRO 400, 0,25 мкм/пикс), измерение толщины слоя в программе Argeo ImageScore инструментом «Ruler Tool» с последующей статистической обработкой данных.

Результаты и их обсуждение. Микрофотографии образцов 1-й контрольной группы показали, что ингибированный кислородом слой покрывает композит как аморфная, однородная пленка, прослеживается бугристость за счет поверхностно расположенных частиц неорганического наполнителя (рис. 4).

Средняя толщина дисперсионного слоя составила $33,405 \pm 9,855$ мкм у пакуемого и $34,823 \pm 8,24$ мкм у текучего материалов (рис. 5).



Рис. 3. Каплевидные образцы

Образцы 2-й контрольной группы показали, что за счет большей эластичности текучего композиционного материала поверхность деформировалась под действием механиче-

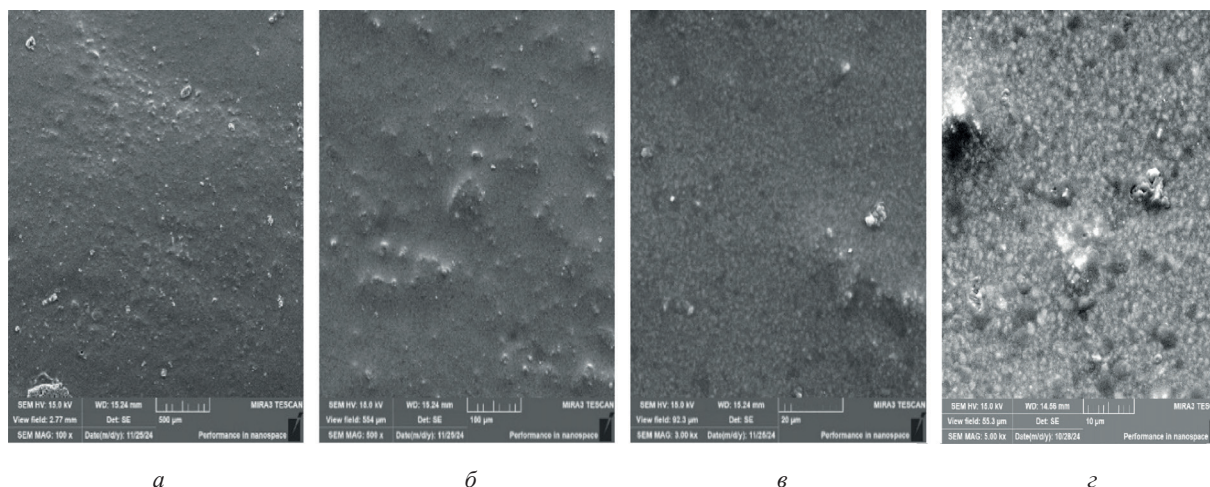


Рис. 4. 1-я контрольная группа, Filtek Bulk Fill
а) $\times 100$; б) $\times 500$, в) $\times 3000$, г) $\times 5000$

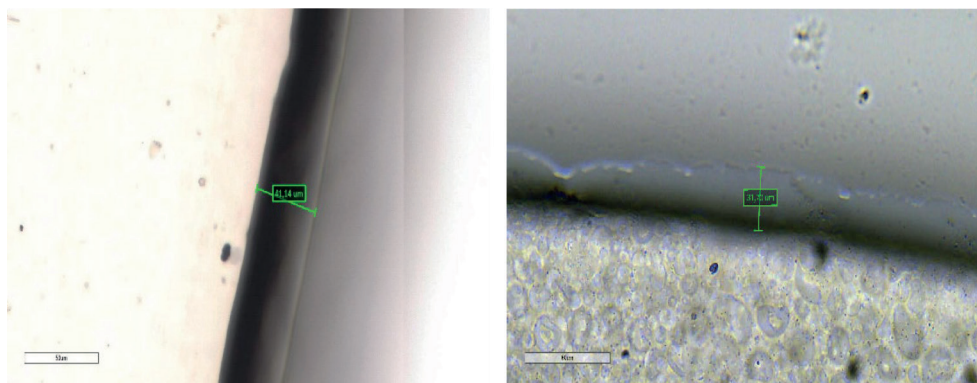


Рис. 5. Участок цифровых сканов каплевидных образцов

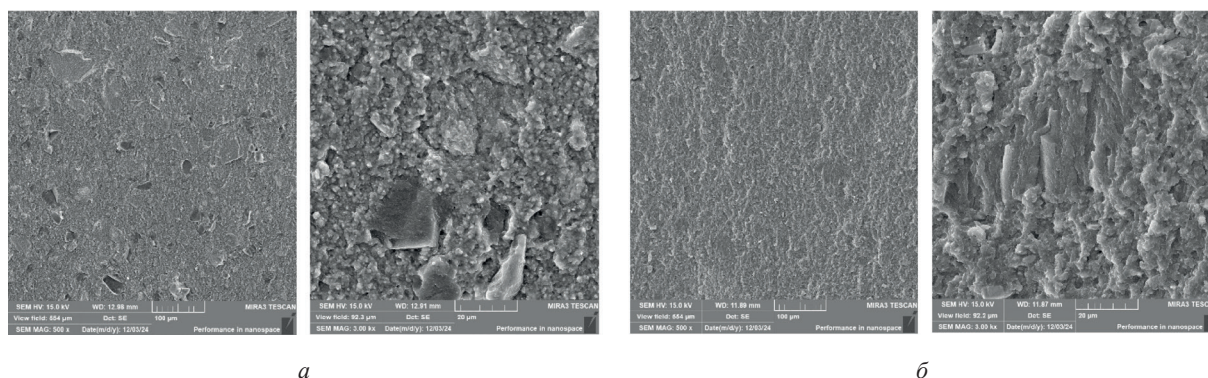


Рис. 6. 2-я контрольная группа: а) G-aenial: $\times 500$, $\times 3000$; б) Bulk Fill: $\times 500$, $\times 3000$

ской силы. На всех полях зрения при разном увеличении невозможно различить очертания неорганического наполнителя, прослеживается чешуйчатая растянутая структура органической матрицы (рис. 6, б), поэтому при сравнении с образцами опытной группы более информативны микрофотографии пакуемого материала G-aenial (рис. 6, а).

После обработки алмазным бором ингибированный слой был полностью удален, однако поверхность материала подверглась сильному повреждению (рис. 7, а). Кроме того, на разных полях зрения прослеживались границы необработанных участков поверхности (рис. 7, б). При использовании бора необходимы точный контроль силы воздействия инструмента и правильный подбор формы его рабочей части, так как композитные реставрации зачастую имеют сложную морфологию. Желтая кодировка соответствует размеру алмазной крошки 10–36 мкм по ISO, что указывает на большую вероятность избыточного удаления поверхностного материала реставрации и нарушение окклюзионных взаимоотношений. Результаты

свидетельствуют: использование алмазного бора для удаления ингибированного кислородом слоя нецелесообразно.

Различная экспозиция раствора этанола не повлияла на степень химического растворения остаточных мономеров. Ингибированный слой был удален частично и неравномерно, повреждение поверхности не прослеживалось (рис. 8). Достоинствами методики являются легкость в исполнении и доступность. Однако после применения ротационной нейлоновой щетки с пастой, имеющей те же преимущества, на микрофотографиях прослеживается более равномерное и полное удаление дисперсионного слоя по сравнению с этиловым спиртом, что свидетельствует о его недостаточной эффективности (рис. 9). Паста ПолирПаст-D сухой блеск содержит алмазный субмикропорошок (фракция 1/0,5 мкм) и водорастворимую основу (полиэтиленгликоль-400, -1500), что обеспечивает щадящую обработку поверхности. Эффективность метода отмечена на образцах со следовым количеством пасты.

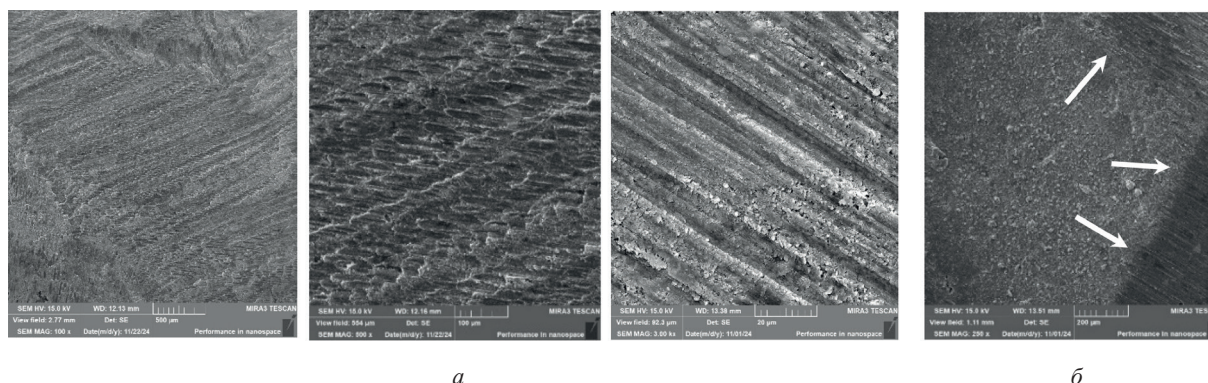
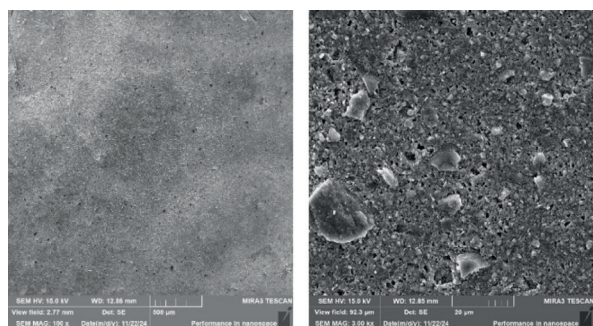


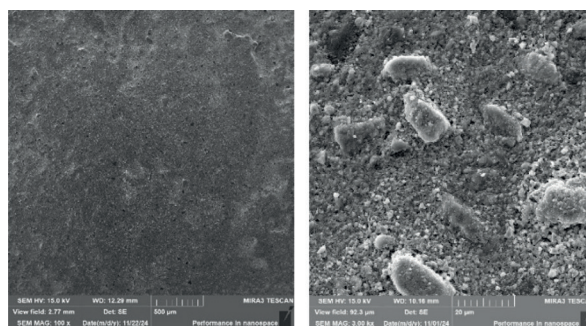
Рис. 7. Обработка алмазным бором: а) G-aenial: $\times 100$, $\times 500$, $\times 3000$; б) Граница необработанного участка, Bulk Fill: $\times 250$



×100

×3000

Рис. 8. Спиртовая обработка, G-aenial



×100

×3000

Рис. 9. Щетка с пастой Полипаст-D, Bulk Fill

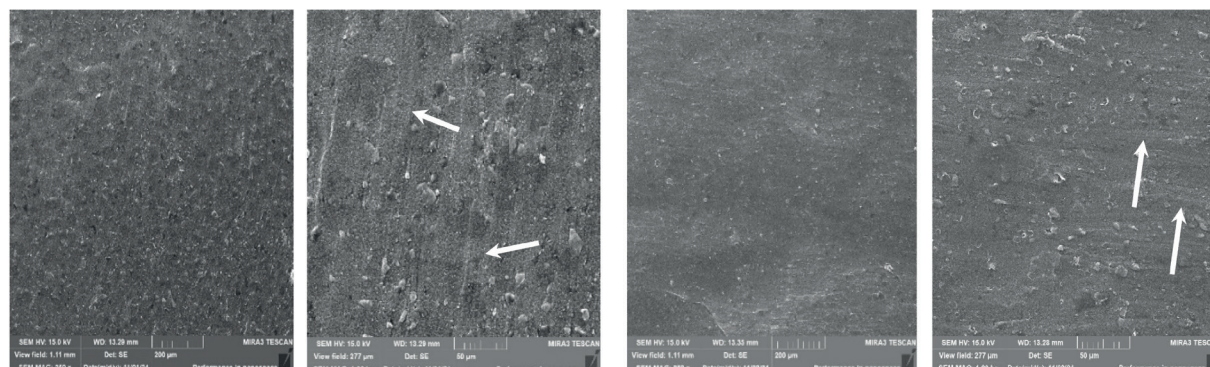
Сухая ротационная щетка оказала более интенсивное механическое воздействие: хорошо прослеживаются линии движения инструмента, поверхность материала более сглажена, нет выступающих частиц наполнителя, что может обеспечить дополнительный положительный эффект для последующих этапов обработки реставрации (рис. 10). Применение щетки в обеих методиках дает сопоставимые результаты по равномерности удаления дисперсионного слоя, так как воздействие происходит только в месте контакта инструмента с поверхностью образцов. Использование сухой щетки менее затратно по сравнению с дополнительным использованием пасты, главные преимущества – доступность и эффективность.

Стрелками обозначены борозды от щетинок

Воздушно-абразивная обработка показала наибольшую равномерность удаления ингибированного кислородом слоя (рис. 11). На микротографиях образцов поверхность выгля-

дит в большей степени однородно и приближенно к образцам 2-й контрольной группы (рис. 6, а). Струя порошка с водой под давлением охватывает обширную площадь поверхности композита, позволяет эффективно обрабатывать сложные и труднодоступные участки, например небную поверхность фронтальных зубов, и, в особенности, реставрации полостей I класса по Блэку с выраженными фиссурами 2-го и 3-го порядка. Несмотря на то, что размер частиц порошка (40 мкм) превышает зернистость используемого бора (10–36 мкм), механическое повреждение поверхности после Air-Flow практически отсутствует. В то же время применение воздушно-абразивной обработки требует определенного навыка, дополнительного оборудования, материалов и аспирации порошка пылесосом со стороны ассистента.

Обобщенные результаты сравнительного анализа поверхностей образцов контрольных и опытной групп, а также соотношения толщины ингибированного кислородом слоя с абразивной способностью исследуемых инструментов представлены в табл. 2.



а

б

Рис. 10. Сухая щетка: а) Bulk Fill: ×250, ×1000; б) G-aenial: ×250, ×1000.

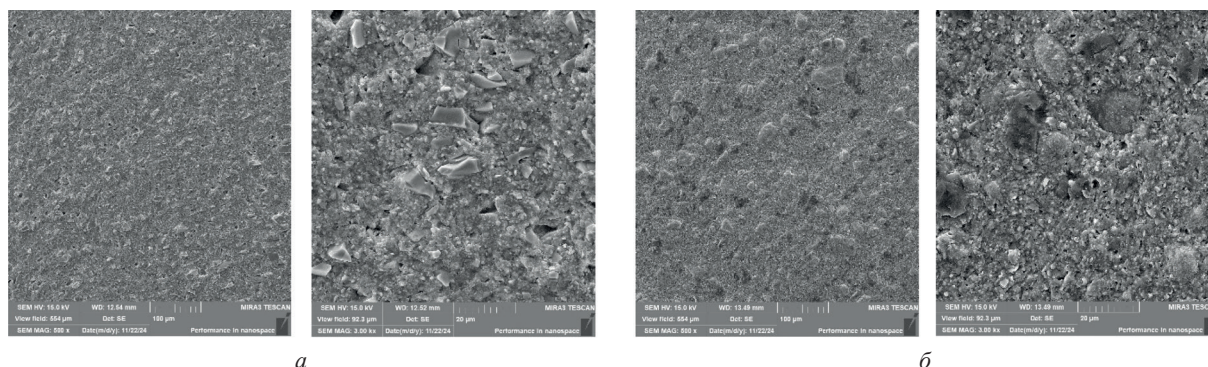


Рис. 11. Воздушно-абразивная обработка: а) G-aenial: $\times 500$, $\times 3000$; б) Filtek Bulk Fill: $\times 500$, $\times 3000$

Таблица 2 – Критерии сравнительной оценки методов и инструментов

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

Заключение

Удаление ингибированного кислородом слоя с поверхности фотоотверждаемых композиционных материалов необходимый этап финишной обработки реставрации, так как этот слой негативно влияет на эстетические и механические свойства материала, может вызывать токсические и аллергические реакции. В ходе исследования получено, что наиболее эффективный методом – воздушно-абразивная обработка, она обеспечила равномерное удаление

слоя без значительного повреждения поверхности. Наиболее доступны и экономически целесообразны для удаления ингибированного кислородом слоя обработка сухой нейлоновой ротационной щеткой и щеткой с водорастворимой пастой, они также демонстрируют хорошие результаты при меньших материальных затратах. Таким образом, выбор метода зависит от конкретных клинических условий, доступности оборудования и навыков врача для достижения наилучших результатов.

Список цитированных источников

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. Сравнительная характеристика средств, предотвращающих появление ингибированного слоя на поверхности композита / В.В. Таиров, А.А. Арутюнова, К.К. Егунян и [др.] // Кубанск. науч. Мед. вестник. – 2018. – Т. 25. – №. 5. – С. 98–103.
3. Rohr, N. Influence of surface treatment and curing mode of resin composite cements on fibroblast behavior / N. Rohr, C. Baumann, S. Martin, N.U. Zitzmann // Head & Face Medicine. – 2022. – Vol. 18, № 18. – P. 18–25.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF VARIOUS METHODS FOR REMOVING THE OXYGEN-INHIBITED LAYER OF LIGHT-CURED COMPOSITE MATERIALS FROM THE SURFACE

Kazeko L.A., Pstyga K.Y., Vorobyova K.S., Naumenko M.A.

Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

The importance of creating a smooth surface of the composite restoration for higher aesthetic and mechanical characteristics dictates the need to remove the oxygen-inhibited layer as the primary step in finishing. Alcohol treatment, mechanical treatment with a rotary brush, paste, bur, as well as air-abrasive treatment, which were used on samples of packaged and liquid light-cured composite materials, were selected from the most commonly used and recommended methods and tools in the literature. The analysis and evaluation of the surface structure of the samples of the control and experimental groups was carried out using scanning electron microscopy, as well as comparing the ratio of the thickness of the oxygen-inhibited layer with the abrasiveness of the tools used. The results obtained allowed us to conclude that the most effective method of removing the layer is air-abrasive treatment, and more economically affordable and expedient is treatment with a rotary dry brush.

Keywords: oxygen-inhibited layer; finishing treatment; light-curable composite materials; direct restoration.