

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-237-241

УДК 616.314

АНАЛИЗ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КОРОНОК ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Аль-Мобарак Я. М.¹, Федорова Н. С.¹, Епифанова Ю. В.²

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

² Институт усовершенствования врачей, г. Чебоксары, Россия

Аннотация

Введение. Использование диоксида циркония в ортопедической стоматологии признано эталонным благодаря его высокой механической прочности и биосовместимости. Однако эффективность реставрационных процедур определяется не только характеристиками материала, но и строгим соблюдением технологических этапов производства и методов подготовки поверхностей перед фиксацией. Нарушения в процессе CAD/CAM-фрезерования, спекания или обработки адгезивами могут привести к ухудшению адгезионных свойств, образованию микротрещин и снижению долговечности.

Цель — оптимизация параметров механической обработки твердых тканей зуба, культовых вкладок и внутренней поверхности циркониевых коронок с целью достижения максимальной адгезионной прочности и долговечности конструкции.

Методология. Проведено экспериментальное исследование, объектом которого стали удаленные зубы с медицинскими показаниями к протезированию. Зубы были разделены на три группы в зависимости от типа культи: интактный зуб, зуб с композитной пломбой и зуб с металлической культовой вкладкой из кобальт-хромового сплава. Препарирование образцов осуществлялось с использованием боров различной зернистости (50, 100, 150 мкм), с последующим формированием микроретенционных площадок. Внутренняя поверхность коронок подвергалась пескоструйной обработке с использованием оксида алюминия (50 мкм). Были проведены испытания на отрыв и термоциклирование. Параллельно проводился анализ технологических этапов изготовления коронок в лабораторных условиях с моделированием типичных ошибок.

Результаты. Доказана неэффективность травления диоксида циркония плавиковой кислотой. Максимальная прочность фиксации достигнута в группе с металлическими вкладками при комбинации бора 100 мкм и пескоструйной обработки вкладки 110 мкм. Создание микроретенционных площадок на внутренней поверхности коронок увеличило прочность. Оптимальный протокол подготовки включает препарирование бором 100 мкм, пескоструйную обработку коронки 50 мкм и формирование ретенционных пунктов.

Выводы. Разработанный протокол механической подготовки, учитывающий различия в исходных материалах и условиях эксплуатации, демонстрирует значительное повышение прочности фиксации. Кроме того, данный протокол обеспечивает высокую устойчивость к термоциклированию, сохраняя прочность соединения.

Ключевые слова: диоксид циркония, адгезионная прочность, микроретенционные площадки, пескоструйная обработка, CAD/CAM, термоциклирование

Благодарность. Авторы выражают благодарность Генеральному директору современной высокотехнологичной зуботехнической лаборатории, способной выполнять нестандартные задачи, ООО «Анатомия» Мукаляну Арташесу Рубеновичу и коллективу за помощь в изготовлении экспериментальных образцов.

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Ясмينا Махеровна АЛЬ-МОБАРАК ORCID ID 0009-0004-8008-612X

аспирант, ассистент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия
dr.yasmina05@gmail.com

Надежда Станиславовна ФЕДОРОВА ORCID ID 0000-0002-6401-8408

д.м.н., доцент, профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия
nadegdafedorova@gmail.com

Юлия Владимировна ЕПИФАНОВА ORCID ID 0009-0006-0169-9337

к.м.н., доцент, кафедры стоматологии, Институт усовершенствования врачей, г. Чебоксары, Россия
epiph.jul@mail.ru

Адрес для переписки: Ясмينا Махеровна АЛЬ-МОБАРАК

428034, г. Чебоксары, ул. Мичмана Павлова, д. 58А

+7 (905) 341-10-36

dr.yasmina05@gmail.com

Образец цитирования:

Аль-Мобарак Я. М., Федорова Н. С., Епифанова Ю. В.

АНАЛИЗ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КОРОНОК ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ. Проблемы стоматологии. 2026; 2: 237-241.

© Аль-Мобарак Я. М. и др., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-237-241

Поступила 07.05.2026. Принята к печати 04.06.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-237-241

ANALYSIS OF ADHESION INTERACTION OF DISSIMILAR SURFACES IN THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING SINGLE ZIRCONIUM DIOXIDE CROWNS

Al-Mobarak Y.M.¹, Fedorova N.S.¹, Epifanova Y.V.²

¹ I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

² Institute for Advanced Training of Doctors, Cheboksary, Russia

Abstract

Introduction. The use of zirconium dioxide in orthopedic dentistry has been recognized as a reference due to its high mechanical strength and biocompatibility. However, the effectiveness of restoration procedures is determined not only by the material characteristics but also by strict adherence to the technological steps of production and methods of surface preparation before fixation. Disturbances in CAD/CAM milling, sintering or adhesion processing can lead to deterioration of the adhesive properties, formation of microfractures and reduced durability.

Objective. Optimization of the mechanical treatment parameters of solid dental tissues, core posts and inner surface of zirconia crowns to achieve maximum adhesive strength and durability of the structure.

Methodology. An experimental study was carried out, the object of which were removed teeth with medical indications for prosthetics. The teeth were divided into three groups depending on the type of stump: an intact tooth, a tooth with a composite filling, and a tooth with a metal cast post-and-core made from a cobalt-chrome alloy. Preparation of specimens was carried out with the use of different grain-grade edges (50, 100, 150 µm), followed by the formation of micropropagation platforms. The inner surface of the crowns was sandblasted with 50 µm aluminium oxide. Specimen transformation was carried out with the use of different grain-grade edges (50, 100, 150 µm), followed by the formation of micropropagation platforms. The inner surface of the crowns was sandblasted with 50 µm aluminium oxide. Separation and heat cycling tests were performed. Parallel analysis of the technological steps of the production of crowns in laboratory conditions with simulation of typical errors was carried out.

Results. It has been proven not to be effective in hardening zirconium dioxide with hydrofluoric acid. Maximum fastening strength is achieved in a group with metal tabs when combining 100 µm bur and 110 µm sandblast. The creation of microformation sites on the inner surface of the crowns increased strength. The optimal preparation protocol includes a 100 µm boron preparation, a 50 µm sandblasting of the crown and the formation of retention points.

Conclusion. The developed mechanical preparation protocol, taking into account differences in source materials and operating conditions, demonstrates a significant increase in bond strength. Furthermore, this protocol ensures high resistance to thermal cycling while maintaining bond strength.

Keywords: Zirconium dioxide, adhesive strength, micro-retention sites, sand blasting, CAD/CAM, thermocycling

Acknowledgments. The authors express their gratitude to Artashes Rubenovich Mukelyan, General Director of Anatomy LLC, a modern, high-tech dental laboratory capable of handling non-standard tasks, and his team for their assistance in producing experimental samples.

The authors declare no conflict of interest

Yasmina M. AL-MOBARAK ORCID ID 0009-0004-8008-612X

Post-graduate student, Teaching assistant, Department of Prosthetic Dentistry and Orthodontics, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia
dr.yasmina05@gmail.com

Nadezhda S. FYODOROVA ORCID ID 0000-0002-6401-8408

PhD, MD, DSc, Associate Professor, Professor of the Department of Prosthetic Dentistry and Orthodontics, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia
nadegdafedorova@gmail.com

Yulia V. EPIFANOVA ORCID ID 0009-0006-0169-9337

PhD, Associate Professor, Department of Dentistry, Institute for Advanced Training of Doctors, Cheboksary, Russia
epiph.jul@mail.ru

Correspondence address: Yasmina M. AL-MOBARAK

58A Michmana Pavlova str., Cheboksary, 428034

+7 (905) 341-10-36

dr.yasmina05@gmail.com

For citation:

Al-Mobarak Y.M., Fedorova N.S., Epifanova Y.V.

ANALYSIS OF ADHESION INTERACTION OF DISSIMILAR SURFACES IN THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING SINGLE ZIRCONIUM DIOXIDE CROWNS. *Actual problems in dentistry*. 2026; 2: 237-241. (In Russ.)

© Al-Mobarak Y.M. et al., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-237-241

Received 07.05.2026. Accepted 04.06.2026

Введение

Традиционные методы фиксации одиночных коронок, основанные на применении стандартных цемента, зачастую не обеспечивают долговременной надежности из-за отсутствия химической связи между циркониевым материалом и тканями зуба. В отличие от стеклокерамики, диоксид циркония не поддается кислотному травлению в силу отсутствия стекловидной фазы, что делает использование плавиковой кислоты (HF) неэффективным и требует разработки альтернативных методик активации поверхности [3, 11].

Для решения данной проблемы применяются методы механической и химической активации поверхности. Пескоструйная обработка оксидом алюминия внутренней поверхности циркониевой коронки (Al_2O_3 , 50–110 мкм) с последующим нанесением праймеров на культю зуба обеспечивает микромеханическую ретенцию и химическую связь с цементами. Дополнительно используются лазерная абляция и плазменная обработка для создания нано- и микроструктуры без снижения прочности материала [3, 5, 12]. Клинические исследования демонстрируют, что комбинированные протоколы увеличивают прочность связи, снижая риск децементации в долгосрочной перспективе.

В условиях широкого внедрения цифровых технологий (CAD/CAM) в зуботехническое производство требуется систематизация знаний не только о клинических, но и о лабораторных этапах создания реставраций. Ошибки на этапах сканирования, моделирования, фрезерования или спекания могут нивелировать преимущества материала и привести к таким дефектам, как краевая проницаемость, сколы или полная децементация [1, 4].

Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом Чувашского государственного университета (протокол № 2 от 16 марта 2026 года). Экстрагированные зубы были получены исключительно из стоматологических клиник, имеющих лицензию на осуществление медицинской деятельности. Зубы были изъяты в ходе плановых экстракций, проведенных по медицинским показаниям. Каждый пациент, чьи зубы использовались в рамках данного исследования, предоставил письменное добровольное информированное согласие на их использование в научных целях. Все собранные данные хранятся в зашифрованном виде, что обеспечивает их конфиденциальность и безопасность.

Исследование состояло из двух частей: экспериментальной, включающей оценку адгезионной прочности, и аналитической, направленной на анализ технологических этапов производства.

Размер выборки был предварительно рассчитан с использованием программного обеспечения G Power версии 3.1.9.4. Согласно результатам расчета, минимальный требуемый объем выборки составил 76 ($n = 19/\text{группу}$). Фактический объем выборки составил 88 экстрагированных зубов. Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения JASP версии 0.9.6. Для анализа данных применялся метод двухфакторного анализа ANOVA

повторных измерений на логарифмически преобразованных данных.

В качестве объектов исследования были использованы 88 экстрагированных зубов по медицинским показаниям, хранившихся в 0,5 % растворе хлорамина не более трех месяцев. Зубы были разделены на три основные группы в зависимости от типа культы:

- Группа I (интактный зуб): культя сформирована исключительно из твердых тканей.
- Группа II (зуб с пломбой): культя восстановлена с использованием светоотверждаемого композитного материала (индекс разрушения окклюзионной поверхности зуба (ИРОПЗ) ≥ 50 %).
- Группа III (металлическая вкладка): культя восстановлена культевыми штифтовыми вкладками из кобальт-хромового сплава (Co–Cr).

Препарирование зубов осуществлялось с применением алмазных боров трех типов зернистости: мелкой (50 мкм, красная маркировка), средней (100 мкм, синяя маркировка) и крупной (150 мкм, зеленая маркировка). Внутри каждой из трех основных групп по типу обработки поверхности были сформированы дополнительные подгруппы (А, Б, В, Г), в соответствии со схемой, представленной в таблице 1.

Таблица 1

Схема распределения образцов по подгруппам
Table 1. Sample distribution scheme by subgroups

Подгруппа	Обработка поверхности зуба	Обработка внутренней поверхности коронки
А (контроль)	Препарирование бором	Без обработки
Б	Препарирование бором	Пескоструй Al_2O_3 (50 мкм)
В	Препарирование + микроретенционные площадки на зубе	Пескоструй Al_2O_3 (50 мкм)
Г	Препарирование + микроретенционные площадки на зубе	Пескоструй Al_2O_3 (50 мкм) + микроретенционные площадки на коронке

Для групп I и II варьировались размеры частиц бора (50/100/150 мкм). В группе III (металл) размер частиц для пескоструйной обработки вкладок подбирался дифференцированно (50, 110, 200 мкм) в зависимости от зернистости абразивного материала.

На основании анализа литературных данных и результатов предварительных исследований этап травления диоксида циркония с применением плавиковой кислоты (HF) был исключен из протокола обработки. Плавиковая кислота с концентрацией 4–9 % демонстрирует свою эффективность исключительно для стеклокерамических материалов, таких как дисиликат лития. В этих материалах кислота формирует микропористый рельеф посредством растворения стеклофазы. Однако в поликристаллической структуре диоксида циркония отсутствует стеклофаза, что делает использование плавиковой кислоты нецелесообразным. Даже при применении 40 %-го раствора HF в течение 25 минут не достигается клинически значимая микроретенция. Более того,

данный процесс может привести к образованию кратеров и остаточных фторидов, что негативно сказывается на адгезионных свойствах поверхности [10]. Все коронки были зафиксированы с использованием универсального композитного цемента двойного отверждения, в соответствии со стандартным адгезивным протоколом [6, 8, 11].

По истечении 24-часового периода хранения в дистиллированной воде при температуре 37 °С, образцы были подвергнуты тестированию на отрыв с применением универсальной испытательной машины, функционирующей со скоростью траверсы 0,5 мм/мин. Часть образцов предварительно подверглась термоциклированию, включающему 5000 циклов с изменением температуры в диапазоне от 5 °С до 55 °С [2]. Статистический анализ полученных данных был проведен в соответствии с установленными методиками.

В условиях зуботехнической лаборатории «Анатомия», расположенной в городе Москва, были изготовлены серии образцов коронок из диоксида циркония с применением CAD/CAM-системы и фрезерного оборудования. Процесс включал в себя следующие этапы: сканирование, компьютерное моделирование, определение финишной линии, установка толщины каркаса. Далее следовали компьютерно-управляемое фрезерование, спекание и финальная обработка. Проведенный анализ данных продемонстрировал, что этап механической обработки является критически важным. Результаты испытаний на отрыв представлены в таблице 2.

Таблица 2

Адгезионная прочность на отрыв (M ±SD, МПа)

Table 2. Adhesive strength by detachment (M ±SD, МПа)

Группа / Зернистость	Без обработки коронки (А)	Пескоструй коронки (Б)	Пескоструй + площадки на зубе (В)
I (интактный) 100 мкм	4,8 ±0,6	6,2 ±0,7	7,1 ±0,8
II (композит) 100 мкм	4,3 ±0,5	5,7 ±0,6	6,5 ±0,7
III (металл) 100/110 мкм	7,0 ±0,8	8,8 ±0,9	9,7 ±1,0

Минимальные значения прочности (4,2–4,8 МПа) были выявлены в подгруппах, где внутренняя поверхность зубных коронок не подвергалась пескоструйной обработке. Данные результаты сопоставимы с показателями контрольной группы, что свидетельствует о недостаточной эффективности препарирования с использованием боров в качестве единственного метода для обеспечения надежной фиксации. Пескоструйная обработка внутренней поверхности зубных коронок с применением частиц оксида алюминия (Al₂O₃) размером 50 микрон является обязательным и высокоэффективным этапом. Данная процедура значительно улучшает адгезию за счет формирования микромеханического сцепления и увеличения площади контакта.

Наибольший прирост прочностных характеристик был достигнут при создании дополнительных микро-ретенционных зон (подгруппа В). Для интактного зуба

комбинированное использование бора с зернистостью 100 мкм, пескоструйной обработки поверхности коронки с применением частиц оксида алюминия размером 50 мкм и формирования микро-ретенционных площадок на дентине обеспечило достижение прочности 7,1 МПа, что превышает показатели контрольной группы.

Группа образцов с металлическими вкладками требует детального анализа. Наивысший уровень прочности был достигнут посредством комплексной обработки, включающей следующие этапы: абразивная обработка поверхности с использованием бора с зернистостью 100 мкм, пескоструйная обработка коронки частицами 50 мкм, пескоструйная обработка вкладки частицами 110 мкм и формирование площадок. В результате данной обработки был достигнут показатель прочности 9,7 МПа, который превышает контрольный показатель в 2,15 раза. Этот результат обусловлен синергетическим эффектом, возникающим за счет создания оптимального микро-рельефа на обеих взаимодействующих поверхностях, а также благодаря хорошей согласованности упругих свойств материалов, используемых в сочетании «цирконий-металл».

Результаты, полученные после проведения термоциклических испытаний, продемонстрировали высокую устойчивость разработанного метода. Прочность соединения в контрольной группе снизилась до значения 3,0 МПа. В экспериментальных группах, где был реализован оптимальный протокол, потери прочности составили от 11 % до 15 %, а остаточная прочность, варьирующаяся в диапазоне от 6,0 МПа до 8,6 МПа, превысила контрольные показатели в 2–2,8 раза.

Исследование стадий производства коронок из диоксида циркония выявило контрольные точки, которые требуют особого внимания. При использовании аналогового протокола ошибки на этапе создания точной модели могут возникнуть вследствие недостаточной ретракции десны и деформации оттиска. В цифровом протоколе потенциальные погрешности обусловлены бликами на влажной поверхности оттиска и утратой референсных точек при сканировании. Некорректное определение границы препарирования в CAD-модели может привести к нарушению краевого прилегания коронки.

В процессе CAD-моделирования наиболее распространенной ошибкой является неверное определение линии уступа и установка нулевого цементного зазора, что препятствует достижению оптимальной посадки коронки после спекания. Для предотвращения этой ошибки рекомендуется использовать анализатор толщины стенки, который обеспечивает контроль равномерности каркаса и гарантирует минимальную толщину стенки.

На этапах фрезерования и спекания использование изношенных фрез может привести к возникновению микротрещин в обрабатываемой заготовке. Несоблюдение температурного режима, включая излишнее нагревание или охлаждение, может вызвать остаточные напряжения и деформацию каркаса. Загрязнение поверх-

ности заготовки перед спеканием может стать причиной локальных дефектов структуры материала.

На основе анализа данных был разработан протокол подготовки, учитывающий индивидуальные характеристики и обеспечивающий оптимальные параметры прочности и долговечности реставрационной конструкции. Для препариования культы рекомендуется использовать алмазный бор со средним размером зерна 100 мкм. Это позволяет сформировать базовый микрорельеф, соответствующий установленным требованиям. Для повышения площади контакта и улучшения механической фиксации на культе создаются дополнительные микроплощадки.

Внутренняя поверхность коронки также требует обязательной пескоструйной обработки частицами оксида алюминия (Al_2O_3) размером 50 мкм. В сложных клинических случаях дополнительно формируются микроплощадки для создания ретенционных точек, что усиливает механическую фиксацию цемента и повышает общую стабильность конструкции. Аналогично, подготовка металлической вкладки включает пескоструйную обработку поверхности частицами (Al_2O_3). Это позволяет создать микрорельеф, улучшающий взаимодействие с циркониевой основой, что обеспечивает повышенную адгезию и механическую прочность соединения.

Выводы

Традиционный метод препариования зубов, не предусматривающий активацию поверхности циркониевой коронки, не обеспечивает необходимого уровня адгезии. Применение плавиковой кислоты для обработки диоксида циркония демонстрирует низкую эффективность

и представляет потенциальную опасность, что делает данный метод не рекомендованным в стоматологической практике.

Для обеспечения повышенной надежности фиксации зубных коронок из диоксида циркония необходимо осуществить пескоструйную обработку их внутренней поверхности с использованием частиц оксида алюминия (Al_2O_3) размером 50 мкм. Данный этап предварительной подготовки является критически важным. Максимального эффекта в увеличении прочностных характеристик можно достичь посредством комплексного подхода, включающего пескоструйную обработку, формирование микро-ретенционных площадок на культе зуба и внутренней поверхности коронки, а также обработку металлических вкладок с применением частиц оксида алюминия.

Протокол механической подготовки, который был разработан, отличается высокой устойчивостью к термоциклированию, что обеспечивает долговечность реставрации даже при значительных функциональных нагрузках. Потеря прочности при этом составляет 11–15 %, в то время как при традиционных методах этот показатель достигает 33 %.

Ортопедическое лечение с применением зубных коронок из диоксида циркония требует строгого соблюдения технологической дисциплины на всех этапах производства по технологии CAD/CAM, начиная от точного сканирования и заканчивая финальной полировкой. Человеческий фактор может стать причиной ошибок, что подчеркивает важность постоянного контроля качества и повышения профессиональных навыков специалистов.

Литература/References

1. Ненашева Е. А., Быкова М. В., Быков Д. О., Деев М. С., Шумская Д. А. Клиническая апробация применения зубных протезов из многослойного диоксида циркония отечественного и зарубежного производства после многочасового и скоростного режима спекания. Медицинский алфавит. 2025;(1):63–66. [Nenasheva E. A., Bykova M. V., Bykov D. O., Deev M. S., Shumskaya D. A. Clinical approbation of the use of dentures made of multilayer zirconium dioxide of domestic and foreign production after many hours and high-speed sintering. Medical alphabet. 2025;(1):63–66. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-1-63-66>
2. Bakshsh T. A., Turkistani A. The Effect of Thermocycling on Interfacial Bonding Stability of Self-Etch Adhesives: OCT Study. BioMed research international. 2021;2021:5578539. <https://doi.org/10.1155/2021/5578539>
3. Лосев Ф. Ф., Аксельрод И. Б., Романенко А. А., Чуев В. П. Влияние химических методов подготовки поверхности образцов из отечественного диоксида циркония на показатели адгезионной прочности. Стоматология. 2024;103(3):39–41. [Losev F. F., Axelrod I. B., Romanenko A. A., Chuev V. P. Impact of chemical surface treatment of samples made of domestic zirconium dioxide on adhesive strength. Stomatology. 2024;103(3):39–41. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat202410303139>
4. Ненашева Е. А., Быкова М. В., Гук Н. О., Назарян Р. Г., Лебеденко И. Ю. Сравнение показателей прозрачности отечественных образцов стоматологической многослойной керамики на основе диоксида циркония с показателями зарубежного аналога при разных режимах спекания. Медицинский алфавит. 2024;(28):98–101. [Nenasheva E. A., Bykova M. V., Guk N. O., Nazaryan R. G., Lebedenko I. Y. Comparison of transparency indicators of domestic samples of dental multilayer ceramics based on zirconium dioxide with indicators of a foreign analogue under different sintering modes. Medical alphabet. 2024;(28):98–101. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-28-98-101>
5. Mosele J. C., Oliveira A. R., Pizzolatto G., Benetti P., Borba M. Failure behavior of zirconia crowns subjected to air abrasion with different particle sizes. Brazilian dental journal. 2023;34(1):71–79. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202304998>
6. Bruhnke M., Awwad Y., Müller W. D., Beuer F., Schmidt F. Mechanical Properties of New Generations of Monolithic, Multi-Layered Zirconia. Materials. 2023;16(1):276. <https://doi.org/10.3390/ma16010276>
7. Хасханова Л. М., Разумова С. Н., Браго А. С., Брагунова Р. М., Гурьева З. А., Разумов Н. М. Эффективность применения адгезивных систем пятого поколения при изменении протокола до и после термоциклирования. Медицинский алфавит. 2022;(7):55–59. [Khaskhanova L. M., Razumova S. N., Brago A. S., Bragunova R. M., Guryeva Z. A., Razumov N. M. The effectiveness of the use of fifth-generation adhesive systems if changing the protocol before and after thermal cycling. Medical alphabet. 2022;(7):55–59. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-7-55-59>
8. Федоров П. П., Яроцкая Е. Г. Диоксид циркония. Обзор. Конденсированные среды и межфазные границы. 2021;23(2):169–187. [Fedorov P. P., Yarotskaya E. G. Zirconium dioxide. Review. Condensed matter and interphases. 2021;23(2):169–187. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46217028>
9. Abdulmajeed A., Sulaiman T., Abdulmajeed A., Bencharit S., Närhi T. Fracture Load of Different Zirconia Types: A Mastication Simulation Study. Journal of prosthodontics. 2020;29(9):787–791. <https://doi.org/10.1111/jopr.13242>
10. Лебеденко И. Ю., Дьяконенко Е. Е., Сахабиева Д. А., Ллака Э. Адгезия цементов к керамическим зубным протезам из диоксида циркония (часть 1). Стоматология. 2021;100(2):97–102. [Lebedenko I. Yu., Dyakonenko E. E., Sakhabiya D. A., Lllaka E. Adhesion of dental cements to zirconia restorations (part 1). Stomatology. 2021;100(2):97–102. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat202110002197>
11. Лебеденко И. Ю., Дьяконенко Е. Е., Деев М. С., Сахабиева Д. А., Аксельрод И. Б. Адгезия цементов к керамическим зубным протезам из диоксида циркония. Часть 2. Стоматология. 2021;100(4):132–136. [Lebedenko I. Yu., Dyakonenko E. E., Deev M. S., Sakhabiya D. A., Axelrod I. B. Adhesion of dental cements to zirconia restorations. Part 2. Stomatology. 2021;100(4):132–136. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat2021100041132>
12. Baldi A., Comba A., Ferrero G., Italia E., Michelotto Tempesta R., Paolone G. et al. External gap progression after cyclic fatigue of adhesive overlays and crowns made with high translucency zirconia or lithium silicate. Journal of esthetic and restorative dentistry. 2022;34(3):557–564. <https://doi.org/10.1111/jerd.12837>