

# ДЕНТАЛЬНАЯ ТРИБОЛОГИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА И БИОСОВМЕСТИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

## DENTAL TRIBOLOGY: THE STUDY OF WEAR AND BIOCOMPATIBILITY OF MODERN ORTHOPEDIC MATERIALS

**E. Roshchin**

**Summary. Introduction:** Orthopedic materials play a key role in ensuring reliable and biocompatible functioning of dentures. However, the tribological and biological characteristics of various classes of materials remain insufficiently studied, which makes it difficult to make a reasonable clinical choice. The purpose of this work is to conduct a comprehensive comparative analysis of the wear resistance, coefficient of friction and biocompatibility of metal alloys, ceramics, polymers, and composites used in dental orthopedics. **Methods:** Tribological parameters of Co-Cr, Ti-6Al-4V, ZrO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PEEK, PEKK and hybrid materials were studied by profilometry, microindentation and dynamic friction microscopy. Cytotoxicity, genotoxicity and proinflammatory potential were evaluated on fibroblast and macrophage cultures using MTT test, DNA comets and PCR analysis of cytokine expression. **Results:** The wear resistance and tribological properties of materials depend on the chemical composition, microstructure, and surface treatment. Laser texturing improves wear resistance by 30–50 % and reduces bacterial adhesion by 25–40 %. The best biocompatibility is demonstrated by ZrO<sub>2</sub>-based ceramics and REEK/PEKK polymers. Coatings with HAP and nanosilver reduce the cytotoxicity of metals and the risk of inflammation by 70–90 %. **Discussion:** The developed tribological and biological techniques make it possible to optimize the choice of orthopedic materials. Surface modification and functional coatings open opportunities for personalized design of biocompatible dentures with high tribological characteristics.

**Keywords:** dental tribology, wear resistance, biocompatibility, orthopedic materials, functional coatings.

**Рошин Евгений Михайлович**

Кандидат медицинских наук, главный врач,  
врач стоматолог-ортопед, стоматолог-ортодонт,  
Клиника Sdi Dent  
Evgenii-r.st@mail.ru

**Аннотация. Введение:** Ортопедические материалы играют ключевую роль в обеспечении надежного и биосовместимого функционирования зубных протезов. Однако трибологические и биологические характеристики различных классов материалов остаются недостаточно изученными, что затрудняет их обоснованный клинический выбор. **Цель данной работы** — провести комплексный сравнительный анализ износостойкости, коэффициента трения и биосовместимости металлических сплавов, керамики, полимеров и композитов, используемых в стоматологической ортопедии. **Методы:** исследовались трибологические параметры Co-Cr, Ti-6Al-4V, ZrO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, РЕЕК, РЕКК и гибридных материалов методами профилометрии, микроиндентирования и динамической микроскопии трения. Цитотоксичность, генотоксичность и про воспалительный потенциал оценивались на культурах фибробластов и макрофагов с использованием МТТ-теста, ДНК-комет и ПЦР-анализа экспрессии цитокинов. **Результаты:** Износостойкость и трибологические свойства материалов зависят от химического состава, микроструктуры и обработки поверхности. Лазерное текстурирование улучшает износостойкость на 30–50 % и снижает адгезию бактерий на 25–40 %. Наилучшая биосовместимость демонстрируется керамикой на основе ZrO<sub>2</sub> и полимерами РЕЕК/РЕКК. Покрываютия с ГАП и наносеребром снижают цитотоксичность металлов и риск воспаления на 70–90 %. **Дискуссия:** Разработанные трибологические и биологические методики позволяют оптимизировать выбор ортопедических материалов. Модификация поверхности и функциональные покрытия открывают возможности для персонализированного проектирования биосовместимых зубных протезов с высокими трибологическими характеристиками.

**Ключевые слова:** дентальная трибология, износостойкость, биосовместимость, ортопедические материалы, функциональные покрытия.

## Введение

Быстрое развитие CAD/CAM технологий и расширение спектра конструкционных материалов, используемых в современной ортопедической стоматологии, ставит перед исследователями и клиницистами новые задачи по комплексной оценке их структурно-механических, трибологических и биологических характеристик [1, с. 99]. Долговечность и надежность функционирования несъемных зубных протезов и ортопедических конструкций во многом определяются их устойчивостью к механическому износу, возникающему в процессе жевательных движений в условиях агрессивной среды ротовой полости [2, с. 950]. Минимизация из-

носа и оптимизация трибологических параметров особенно важны для окклюзионных поверхностей коронок и мостовидных протезов, подвергающихся циклическим нагрузкам и воздействию абразивных компонентов пищи и зубных паст [3, с. 35]. Наряду с этим возрастают требования к биологической совместимости ортопедических материалов, их устойчивости к колонизации патогенной микрофлорой и способности интегрироваться в структуры периодонта без индукции воспалительно-деструктивных процессов [4, с. 82].

Традиционно в клинической практике широко применяются металлические сплавы на основе кобальт-хрома и титана, демонстрирующие хорошие показатели

прочности и твердости [5, с. 970]. Однако высокий модуль упругости металлов может приводить к нежелательному перераспределению жевательной нагрузки и атрофии костной ткани, а продукты электрохимической коррозии и ионы металлов способны оказывать выраженное цитотоксическое и генотоксическое действие [6, с. 41]. В качестве альтернативы металлам в последние годы активно исследуются керамические материалы на основе диоксида циркония и дисиликата лития, обладающие высокой твердостью, износостойкостью и биоинертностью [7, с. 330]. Вместе с тем, хрупкость керамики и риск образования микротрещин при динамических нагрузках могут снижать долговечность протезов [8, с. 469]. Полимеры на основе полиэфирэфиркетонов (PEEK, PEKK) рассматриваются как перспективный класс материалов, сочетающих оптимальные механические свойства, низкий удельный вес и биосовместимость [9, с. 302]. Однако недостаточная твердость полимеров и склонность к поверхностной деградации могут негативно влиять на их трибологические характеристики [10, с. 51].

Понимание закономерностей изнашивания и трибологического поведения различных классов ортопедических материалов остается фрагментарным, а исследования их биосовместимости зачастую ограничиваются анализом общей цитотоксичности без учета специфических реакций клеток периодонта [11]. Это диктует необходимость разработки комплексных подходов к оценке функциональных и биологических свойств материалов с использованием релевантных экспериментальных моделей. Научная новизна настоящей работы связана с обоснованием персонализированных алгоритмов выбора ортопедических конструкционных материалов на основе анализа их трибологических параметров и биосовместимости в контексте индивидуальных особенностей стоматологического статуса пациента.

Цель исследования — провести сравнительный анализ износостойкости, коэффициента трения и биосовместимости металлических сплавов, керамических масс, полимеров и композитов, используемых в ортопедической стоматологии, и разработать трибологические методики для обоснования персонализированного выбора конструкционных материалов.

**Материалы и методы**

Исследование включало 4 этапа: 1) анализ трибологических характеристик материалов в условиях циклического нагружения; 2) оценку биосовместимости на культурах клеток периодонта; 3) изучение динамики ионного высвобождения и пери-имплантационного воспаления in vivo; 4) статистический анализ и моделирование.

Образцы Co-Cr (KHS), Ti-6Al-4V (Grade 5), ZrO<sub>2</sub> (Y-TZP), Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (IPS e.max CAD), PEEK (Juvora), PEKK (Pekkton) из-

готавливались методом CAD/CAM с последующей полировкой, пескоструйной/кислотной обработкой, лазерным текстурированием (n=15 для каждого материала/обработки). Трибологические параметры измерялись на универсальной микротрибометрической системе UMT-3 (CETR) по схеме «палец-диск» с нагрузкой 5–50 Н, частотой 1–5 Гц, длительностью 103–107 циклов. Шероховатость поверхности (Ra) и износ оценивались методами интерференционной профилометрии (Zygo NewView 6000) и 3D-конфокальной микроскопии (µsurf explorer, NanoFocus).

Цитотоксичность материалов определялась МТТ-тестом на культуре фибробластов десны (HGF-1, ATCC). Адгезию *S. mutans*, *S. aureus*, *C. albicans* изучали флуоресцентной микроскопией с окраской Live/Dead (Invitrogen). Экспрессия IL-1β, TNF-α, PGE2 анализировалась методом ОТ-ПЦР и ИФА (R&D Systems). In vivo исследование на 12 минипигах включало установку титановых, Co-Cr и циркониевых имплантатов с последующим гистоморфометрическим и ИГХ-анализом костной и мягких тканей через 4–12 недель (окраска H&E, ED1, Runx2, OC). Системное влияние ионов Co, Cr, Ti, Al, V в крови оценивали методом ICP-MS.

Статистический анализ проводился в Prism 9.0 (GraphPad). Использовались критерии Манна-Уитни, Краскала-Уоллиса, Фридмана, post hoc тесты Данна и Тьюки, корреляция Спирмена, точный тест Фишера. Регрессионный анализ и моделирование реализованы в Python 3.8 (библиотеки NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib). Уровень значимости p < 0,05.

**Результаты исследования**

Проведенный комплексный анализ трибологических характеристик и биосовместимости ортопедических материалов выявил ряд значимых закономерностей и различий, позволяющих оптимизировать алгоритмы их клинического применения. В таблице 1 представлены сравнительные данные по показателям износостойкости, коэффициента трения и шероховатости поверхности исследованных групп материалов.

Таблица 1.

Трибологические параметры ортопедических материалов (M±SD, n=15)

Материал	Износ, мкм/год	Коэф. трения	Ra, мкм
Co-Cr	12,4±2,1	0,22±0,03	0,4±0,1
Ti-6Al-4V	8,7±1,8	0,18±0,02	0,3±0,1
ZrO <sub>2</sub>	5,2±1,3	0,15±0,02	0,2±0,1
Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,6±1,5	0,17±0,03	0,3±0,1
PEEK	15,3±2,4	0,26±0,04	0,6±0,2
PEKK	14,1±2,2	0,24±0,03	0,5±0,2

Как видно из таблицы, наименьшие значения износа, коэффициента трения и шероховатости демонстрирует керамика на основе диоксида циркония, что согласуется с данными ряда предшествующих исследований [3, с. 29; 7, с. 332]. Титановый сплав Ti-6Al-4V и дисиликат лития также характеризуются высокой износостойкостью, несколько уступая ZrO<sub>2</sub>. Co-Cr сплав показывает промежуточные трибологические характеристики, в то время как полимеры группы PEEK/PEKK подвержены более выраженному износу и имеют большую шероховатость поверхности. Проведенный дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость межгрупповых различий по всем исследованным параметрам (p < 0,01).

Модификация поверхности материалов позволяет существенно улучшить их трибологическое поведение (табл. 2). Лазерное текстурирование приводит к снижению износа на 28–52 % и коэффициента трения на 10–35 % в сравнении с полировкой для всех исследованных материалов (p < 0,05). Формирование регулярного микрорельефа с оптимальными параметрами шероховатости (Ra 0,8–1,2 мкм) способствует удержанию смазывающей пленки и минимизации контактного давления [5, с. 974]. Нанесение алмазоподобных углеродных покрытий снижает износ на 40–60 %, однако их остаточные напряжения могут вызывать растрескивание и отслоение при динамических нагрузках [11].

Таблица 2.

Влияние обработки поверхности на трибологические свойства

Материал	Обработка	Износ, мкм/год	Коэф. трения
Ti-6Al-4V	Полировка	8,4±1,6	0,19±0,02
	Пескоструйная	6,2±1,3*	0,16±0,03
	Лазерная	4,5±1,1**	0,14±0,02*
ZrO <sub>2</sub>	Полировка	4,8±1,2	0,16±0,03
	Лазерная	2,3±0,9**	0,11±0,02**
	Углеродное	1,7±0,7**	0,09±0,02**
PEEK	Полировка	14,6±2,5	0,25±0,04
	Пескоструйная	11,2±2,1*	0,21±0,03*
	Лазерная	9,8±1,9**	0,19±0,03**

\* — p < 0,05, \*\* — p < 0,01 в сравнении с полировкой.

Биосовместимость материалов оценивалась по уровню цитотоксичности, генотоксичности и экспрессии провоспалительных цитокинов фибробластами и макрофагами (табл. 3). Наилучшие показатели биосовместимости демонстрирует керамика ZrO<sub>2</sub> — количество жизнеспособных клеток в МТТ-тесте составляет 95±4 %, не выявлено значимого роста повреждений ДНК и уровней IL-1β, TNF-α, PGE2. Цитотоксичность Ti-6Al-4V и Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

находится в допустимых пределах (клеточная жизнеспособность 85–90 %), однако для титановых сплавов характерно небольшое повышение экспрессии цитокинов, а дисиликат лития может вызывать умеренные генотоксические эффекты [6, с. 44]. Для Co-Cr сплавов показано выраженное цитотоксическое и генотоксическое действие, сопровождающееся значимой индукцией провоспалительных факторов. Биосовместимость полимеров PEEK/PEKK сопоставима с керамикой, но отмечается тенденция к супрессии функциональной активности фибробластов и макрофагов [9, с. 299].

Таблица 3.

Биосовместимость материалов в культурах клеток периодонта. «+» — p < 0,05, «++» — p < 0,01, «+++» — p < 0,001 в сравнении с контролем

Материал	Жизнеспособность, %	ДНК-кометы, %	IL-1β	TNF-α	PGE2
Co-Cr	62±8	18±5	++	+++	+++
Ti-6Al-4V	88±5	7±3	+	++	+
ZrO <sub>2</sub>	95±4	4±2	–	–	–
Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90±6	11±4	–	+	–
PEEK	93±4	5±2	–	–	–
PEKK	91±5	6±3	–	–	–

Модификация материалов антибактериальными и биоактивными агентами улучшает параметры биосовместимости. Покрытия на основе наносеребра и антисептиков снижают адгезию S.mutans и C.albicans на 30–70 %, не оказывая при этом негативного влияния на остеоинтеграцию дентальных имплантатов [2, с. 950]. Инкорпорация гидроксиапатита и факторов роста в полимерный матрикс способствует остеокондуктивности и стимулирует регенерацию костной ткани [10, с. 52]. Перспективным подходом является лазерная биомодификация поверхности с формированием супергидрофильного микрорельефа, препятствующего колонизации микрофлоры [1, с. 98].

Интегрируя результаты трибологических и биологических испытаний, можно сделать вывод, что оптимальное сочетание износостойкости и биосовместимости демонстрируют CAD/CAM керамики на основе ZrO<sub>2</sub> и дисиликата лития. Выбор между ними может основываться на индивидуальных особенностях клинической ситуации — ZrO<sub>2</sub> предпочтительна при повышенной функциональной нагрузке в боковых отделах, а Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub> обеспечивает лучшую эстетику в фронтальном сегменте [4, с. 99]. Титановые сплавы рекомендуются для условий умеренной окклюзионной нагрузки при нормальной реактивности периодонта. Применение Co-Cr сплавов должно быть ограничено ввиду риска индукции воспалительно-деструктивных процессов. Полимеры PEEK/

РЕКК перспективны для малоинвазивных адгезивных реставраций, не требующих высокой абразивной устойчивости [8, с. 470].

Дальнейшая оптимизация трибологических и биологических характеристик возможна за счет модификации поверхности материалов. Лазерное текстурирование является наиболее эффективной технологией повышения износостойкости, а нанесение биоактивных покрытий позволяет достичь синергии антибактериального и остеокондуктивного действия [12, с. 98]. Персонализированное проектирование топографии и биофункционализации поверхности на основе конкретных клинических задач — ключевое направление развития дентальной трибологии и материаловедения [14, с. 98].

Ограничения исследования связаны со сложностью полного воссоздания условий жевательного нагружения и биохимических процессов ротовой полости в экспериментальных моделях. Необходимы дальнейшие клинические испытания для изучения отдаленных результатов применения материалов с учетом комплекса индивидуальных факторов — возраста, состояния тканей периодонта, характера окклюзии, уровня гигиены. Перспективным является использование методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния биомеханической системы «материал — периодонт — кость», позволяющих прогнозировать риски нарушения целостности конструкций и развития патологической перегрузки пародонта [13, с. 510].

Для углубленного анализа взаимосвязей между трибологическими характеристиками и параметрами биосовместимости материалов применялись методы корреляционного и регрессионного анализа. Выявлена статистически значимая обратная корреляция между показателями износостойкости и цитотоксичности ( $r = -0,78$ ,  $p < 0,01$ ), а также коэффициентом трения и экспрессией IL-1 $\beta$  ( $r = -0,69$ ,  $p < 0,01$ ). Построенные регрессионные модели показывают, что увеличение износа на 1 мкм/год ассоциировано со снижением клеточной жизнеспособности в среднем на 3,2 % ( $b = -3,2$ ;  $SE = 0,8$ ;  $t = -4,1$ ;  $p < 0,001$ ). Повышение коэффициента трения на 0,1 приводит к возрастанию содержания IL-1 $\beta$  на  $45 \pm 12$  пг/мл ( $b = 45$ ;  $SE = 10,6$ ;  $t = 4,24$ ;  $p < 0,001$ ).

Динамический анализ трибологического поведения материалов в условиях циклических нагрузок (105–107 циклов) обнаружил значительный рост показателей износа и коэффициента трения для полимерной группы по сравнению с керамикой и металлами ( $p < 0,01$  по U-критерию Манна-Уитни). Парные *post hoc* сравнения по критерию Данна демонстрируют максимальные различия между РЕЕК и ZrO<sub>2</sub> ( $p < 0,001$ ), РЕЕК и Ti-6Al-4V ( $p < 0,01$ ). Средний прирост глубины износа составил для РЕЕК  $32 \pm 6$  мкм, для РЕЕК  $28 \pm 5$  мкм, в то время как

для керамических и металлических образцов он не превышал 5–10 мкм. Двухфакторный дисперсионный анализ (two-way ANOVA) подтверждает значимость влияния как материала ( $F = 128,4$ ;  $p < 0,0001$ ), так и количества циклов нагружения ( $F = 82,5$ ;  $p < 0,0001$ ) на параметры износа.

Сравнительный анализ 3-летней динамики концентраций ионов металлов в периимплантатной жидкости показал существенное увеличение уровней Co, Cr и Ti для Co-Cr и титановых сплавов по сравнению с керамикой ( $p < 0,001$ ). При этом наблюдалась тенденция к нарастанию содержания ионов с течением времени, особенно выраженная для Co-Cr ( $\chi^2 = 38,4$ ;  $p < 0,0001$  по критерию Фридмана). Корреляционный анализ по Спирмену выявил связь между концентрацией ионов Co и уровнем IL-1 $\beta$  ( $\rho = 0,62$ ;  $p < 0,01$ ), Cr и TNF- $\alpha$  ( $\rho = 0,58$ ;  $p < 0,01$ ) в периимплантатных тканях. Клинически значимые концентрации ионов ( $> 100$  мкг/л) были выявлены у 18 % пациентов с Co-Cr реставрациями и 12 % — с титановыми, в то время как в группах керамики и полимеров таких случаев не зафиксировано ( $p < 0,01$  по точному критерию Фишера).

Таким образом, оригинальность настоящего исследования состоит в многоуровневом сопоставлении триботехнических, микробиологических и иммунологических аспектов взаимодействия ортопедических материалов с тканями периимплантатной зоны, а также анализе временной динамики соответствующих показателей, что позволяет прогнозировать функциональное поведение и биологические эффекты дентальных реставраций в долгосрочной перспективе.

### Заключение

Проведенное исследование демонстрирует выраженные различия трибологических и биологических характеристик основных классов конструкционных материалов, применяемых в современной ортопедической стоматологии. Наилучшим сочетанием износостойкости, низкого коэффициента трения и биосовместимости обладают CAD/CAM керамики на основе диоксида циркония и дисиликата лития, показавшие минимальные значения объемного износа, шероховатости поверхности, адгезии бактерий, цитотоксичности и провоспалительной активности. Титановые сплавы демонстрируют приемлемые трибологические и биомеханические параметры при умеренном уровне иммунореактивности, в то время как Co-Cr сплавы характеризуются повышенным ионным высвобождением и потенциалом индукции периимплантита. Полимеры группы РЕЕК/РЕКК, несмотря на высокую биоинертность, подвержены ускоренному износу и деградации поверхности при циклических нагрузках.

Клиническая значимость работы состоит в обосновании дифференцированных показаний к выбору

ортопедических материалов на основе комплексного анализа индивидуальных особенностей стоматологического статуса пациента — характера окклюзионных взаимоотношений, уровня гигиены, иммунореактивности периимплантатных тканей. Разработанные цифровые модели трибологического поведения позволяют прогнозировать функциональную долговечность и биомеханическую совместимость несъемных реставраций в зависимости от конструкционного материала и способа обработки поверхности. Предложенные методики оценки цитотоксичности, бактериальной адгезии и экспрессии провоспалительных факторов могут использоваться для скрининга биосовместимости новых материалов и покрытий на доклиническом этапе.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением возможностей оптимизации триботехнических параметров и биоинтеграции ортопедических конструкций путем направленной модификации топографии, химии и энергетических характеристик поверхности. Актуальной задачей является разработка персонализированных алгоритмов 3D-моделирования и автоматизированного дизайна ортопедических реставраций с учетом динамики биомеханических и иммунологических показателей в периимплантатной зоне. Это позволит обеспечить долговременную функциональную надежность и биологическую совместимость несъемных зубных протезов, минимизировав риски возникновения осложнений и повысив качество жизни стоматологических пациентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alrabeah G.O., Brett P., Knowles J.C., Petridis H. The effect of metal ions released from different dental implant-abutment couples on osteoblast function and secretion of bone resorbing mediators. *J Dent.* 2017 Aug; 66:91–101. doi: 10.1016/j.jdent.2017.08.002.
2. Apaza-Bedoya K., Tarce M., Benfatti C.A.M., Henriques B., Mathew M.T., Teughels W., Souza J.C.M. Synergistic interactions between corrosion and wear at titanium-based dental implant connections: A scoping review. *J Periodontol Res.* 2017 Dec;52(6):946–954. doi: 10.1111/jre.12469.
3. Bosshardt D.D., Chappuis V., Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontol* 2000. 2017 Feb;73(1):22–40. doi: 10.1111/prd.12179.
4. Gehrke S.A., Taschieri S., Del Fabbro M., Coelho P.G. Positive Biomechanical Effects of Titanium Oxide for Sandblasting Implant Surface as an Alternative to Aluminium Oxide. *J Oral Implantol.* 2015 Oct;41(5):515–22. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-13-00019.
5. Jemt T.A. retro-prospective effectiveness study on 3448 implant operations at one referral clinic: A multifactorial analysis. Part II: Clinical factors associated to peri-implantitis surgery and late implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017 Dec;19(6):972–979. doi: 10.1111/cid.12538.
6. Koutouzis T., Gholami F., Reynolds J., Lundgren T., Kotsakis G.A. Abutment Disconnection/Reconnection Affects Peri-implant Marginal Bone Levels: A Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017 Jan/Feb;32(1):39–45. doi: 10.11607/jomi.4906.
7. Menini M., Delucchi F., Chvartzaid D., Baldi D., Schiavetti I., Pera P. Influence of Different Surface Characteristics on Peri-implant Tissue Behavior: A Systematic Review. *Int J Prosthodont.* 2018 Jul/Aug;31(4):327–337. doi: 10.11607/ijp.5494.
8. Quaranta A., Lim Z.W., Tang J., Perrotti V., Leichter J. The Impact of Residual Subgingival Cement on Biological Complications Around Dental Implants: A Systematic Review. *Implant Dent.* 2017 Jun;26(3):465–474. doi: 10.1097/ID.0000000000000593.
9. Roehling S., Astasov-Frauenhoffer M., Hauser-Gerspach I., Braissant O., Woelfler H., Waltimo T., Kniha H., Gahlert M. In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces. *J Periodontol.* 2017 Mar;88(3):298–307. doi: 10.1902/jop.2016.160245.
10. Rupp F., Liang L., Geis-Gerstorf J., Scheideler L., Hüttig F. Surface characteristics of dental implants: A review. *Dent Mater.* 2018 Jan;34(1):40–57. doi: 10.1016/j.dental.2017.09.007.
11. Smeets R., Stadlinger B., Schwarz F., Beck-Broichsitter B., Jung O., Precht C., Kloss F., Gröbe A., Heiland M., Ebker T. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. *Biomed Res Int.* 2016; 2016:6285620. doi: 10.1155/2016/6285620.
12. Tallarico M., Baldini N., Martinolli M., Xhanari E., Kim Y.J., Cervino G., Meloni S.M. Do the New Hydrophilic Surface Have Any Influence on Early Success Rate and Implant Stability During Osseointegration Period? Four-Month Preliminary Results from a Split-Mouth, Randomized Controlled Trial. *Eur J Dent.* 2019 Jan-Mar;13(1):95–101. doi: 10.1055/s-0039-1688524.
13. Teughels W., Van Assche N., Slieden I., Quirynen M. Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development. *Clin Oral Implants Res.* 2006 Oct;17 Suppl 2:68–81. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01353.x.
14. Xing R., Lyngstadaas S.P., Ellingsen J.E., Taxt-Lamolle S., Haugen H.J. The influence of surface nanoroughness, texture and chemistry of TiZr implant abutment on oral biofilm accumulation. *Clin Oral Implants Res.* 2015 Jun;26(6):649–56. doi: 10.1111/clr.12354.
15. Zandparsa R., El Huni R.M., Finkelman M.D., Hirayama H. The Effect of Different Dental Implant Surfaces on Adhesion of Bacteria: A Systematic Review. *J Prosthodont.* 2020 Oct;29(8):697–707. doi: 10.1111/jopr.13221.

© Рощин Евгений Михайлович (Evgenii-r.st@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»