

На правах рукописи

САРКИСОВ Давид Самвелович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ИСПОЛЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО
ПРОИЗВОДСТВА НАВИГАЦИОННЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ
ДЛЯ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

3.1.7. Стоматология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва, 2025

Работа выполнена в Институте цифровой стоматологии Медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Научный руководитель:

Степанов Александр Геннадьевич, доктор медицинских наук, доцент

Официальные оппоненты:

Бадалян Вардигер Агабековна — доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой здравоохранения Российской Федерации, отделение имплантологии, ведущий научный сотрудник.

Цициашвили Александр Михайлович – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры пропедевтики хирургической стоматологии стоматологического факультета научно-образовательного института стоматологии им. А. И. Евдокимова ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертации состоится «25» июня 2025 г. в 10:00 часов на заседании постоянно действующего диссертационного совета ПДС 0300.028 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале УНИБЦ (Научная библиотека) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6) и на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet/dissertacionnye-sovety/pds-0300028>

Автореферат разослан «22» мая 2025 г.

Ученый секретарь

ПДС 0300.028

кандидат медицинских наук, доцент

Макеева Мария Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности исследуемой темы

В современной стоматологии дентальная имплантация зарекомендовала себя как один из наиболее эффективных и популярных методов восстановления утраченных зубов. Этот метод обеспечивает пациентам долговечные и эстетически привлекательные решения, значительно улучшая качество их жизни (Кулаков А.А., 2018, Яременко А.И. 2019, Цициашвили А.М. 2020, Саввиди К.Г. 2022, Турсуналиев З.З. 2024).

Активное внедрение цифровых технологий в стоматологическую практику за последние десятилетия значительно изменило подходы к лечению (Апресян С.В. 2019). Виртуальное планирование ортопедического лечения с использованием дентальных имплантатов становится все более востребованным (Marei HF, 2019, Kniha K., 2021, Tasopoulos T. 2021, Дробышев А.Ю. 2023). Современные технологии позволяют создавать индивидуальные ортопедические конструкции с учетом анатомических особенностей пациента, что обеспечивает точное позиционирование имплантатов и предварительную визуализацию конечного результата (Амхадова М.А. 2011, Акрамов С., 2020, Апресян С.В., Степанов А.Г. 2020).

В хирургической стоматологии широкое применение находят навигационные хирургические шаблоны, значительно сокращающие время операции и минимизирующие риск послеоперационных осложнений (Степанов А.Г. 2022, Мамедов С. К., 2023). Эти шаблоны создаются с использованием аддитивных технологий, таких как 3D-печать.

Однако технологии 3D-печати в стоматологии все еще находятся на этапе активного изучения и совершенствования. Важными аспектами являются выбор оптимальных конструкционных материалов и разработка методов их постпечатной обработки (Дожделев А. М., 2020, Нуриева Н.С., 2020, Мельников Ю. А., 2022).

Материалы, используемые в стоматологических изделиях, должны соответствовать строгим требованиям: токсикологическим, технологическим, физико-механическим, эстетическим и медико-биологическим. Особое внимание уделяется прочностным характеристикам материалов, используемых для изготовления хирургических шаблонов, особенно в контексте их стерилизации (Arisan V, 2013, Fang J, 2016, Berli C, 2020, Bharti B. 2022).

Поломка навигационного шаблона во время операции является одним из наиболее частых осложнений, что подчеркивает необходимость тщательного исследования физических и биологических свойств фотополимерных материалов, применяемых в аддитивной технологии.

Исследование физических и биологических характеристик фотополимерных материалов, используемых в аддитивной технологии производства хирургических навигационных шаблонов, а также научное обоснование их конструкционных особенностей,

является актуальным направлением в стоматологии, что определило цель и задачи представленного исследования.

Цель исследования

Повышение эффективности дентальной имплантации путем экспериментально-клинического обоснования применения конструкционных материалов, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов.

Задачи исследования:

1. Определить адгезию кариесогенной и пародонтопатогенной микрофлоры рта к образцам конструкционных материалов, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов до и после стерилизации.
2. Оценить изменения физико-механических свойств конструкционных материалов, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов до и после стерилизации.
3. Основываясь на результатах проведенных физико-механических испытаний, оптимизировать конструкцию хирургических навигационных шаблонов используемых для позиционирования дентальных имплантатов по полному цифровому протоколу.
4. Определить в математическом эксперименте, методом конечных элементов, напряженно-деформированное состояния в конструкциях навигационных шаблонов, изготовленных в автоматическом режиме и оптимизированных, в зависимости от физико-механических свойств конструкционных материалов.
5. Определить прецизионность позиционирования дентальных имплантатов, установленных с помощью оптимизированной конструкции хирургических навигационных шаблонов, у пациентов с частичным отсутствием зубов.

Научная новизна исследования

Впервые определена адгезия кариесогенной и пародонтопатогенной микрофлоры рта к образцам конструкционных материалов зарубежных и отечественных производителей, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов до и после стерилизации, и было доказано, что изотермическая стерилизация в течение 30 минут достоверно снижает уровень адгезии микроорганизмов к рассматриваемым конструкционным материалам приближаясь к нулевым показателям

Впервые проведены испытания по определению динамических изменений физико-механических свойств конструкционных материалов зарубежных и отечественных производителей, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов до и после стерилизации, по результатам которых выявлено, что наиболее высокими механическими характеристиками с минимальными незначимыми

различиями от 1 до 14,5 % обладали материалы Formlabs и HARZ как до стерилизации, так и после нее.

Впервые по результатам проведенных физико-механических испытаний материалов, используемых в технологии аддитивного производства, предложена оптимизация конструкций хирургических шаблонов, приводящая к снижению зарождающихся внутри напряжений на 35 % при усилии имитации давления при формировании имплантационного ложа в 30 Н.

Впервые в математическом эксперименте, методом конечных элементов, с использованием упругих констант конструкционных материалов зарубежных и отечественных производителей, используемых в технологии компьютерного производства хирургических навигационных шаблонов, полученных в ходе механических испытаний, изучены напряженно-деформированные состояния их виртуальных моделей.

Впервые разработан способ объективной оценки погрешности дентальной имплантации, связанной со смещением дентального имплантата от планируемой позиции (Патент РФ 2832827 от 09.01.2025).

Впервые в проведено клиническое исследование и дана оценка эффективности дентальной имплантации проведенной с помощью оптимизированной контракцией хирургического шаблона, изготовленного методом объемной печати из отечественного фотополимера, выражающаяся в прецизионности позиционирования имплантатов различных длин, снижающей величину средних смещений на $51,48 \pm 9,12$ % для медио-дистального, на $39,88 \pm 8,05$ % для вестибуло-орального и на $53,41 \pm 4,73$ % для вертикального направления.

Теоретическая и практическая значимость

Получены новые теоретические данные о количественной адгезии кариесогенной и пародонтопатогенной микрофлоры полости рта к конструкционным материалам, используемых в технологии аддитивного производства навигационных хирургических шаблонов.

Доказано, что изотермическая стерилизация в течение 30 минут достоверно снижает уровень адгезии микроорганизмов к образцам конструкционных материалов, используемых в технологии аддитивного производства навигационных хирургических шаблонов.

Выявлено, что стерилизации вносит существенный вклад в механическое поведение конструкционных материалов, используемых в технологии аддитивного производства навигационных хирургических шаблонов, при трехточечном изгибе, приводя к более хрупкому разрушению и изменению предела прочности на изгиб, а также модуля упругости в диапазонах от 1 до 37 % в зависимости от материала.

Предложен способ оптимизации конструкции навигационных хирургических шаблонов, зависящий от физико-механических характеристик конструкционных материалов,

используемых в технологии аддитивного производства, повышающий прецизионности позиционирования имплантатов во время операции.

По результатам клинического исследования выявлено что наименьшими величинами смещений обладают имплантаты с меньшей длиной - 8 и 10 мм, а также их комбинации, а увеличение длины имплантата приводит к росту величины смещения в среднем на 0,4 мм для всех направлений.

Проведенные исследования позволяют сократить количество поломок хирургических навигационных шаблонов в процессе проведения операции дентальной имплантации, а также, прецизионности позиционирования имплантатов.

Методология и методы исследования

С целью выбора оптимальных материалов для фотополимерной печати автоклавируемых навигационных шаблонов был проведён анализ 190 научных источников (2018–2024 гг.) из PubMed, Scopus, eLibrary и Роспатента. Изучена адгезия условно-патогенной микрофлоры к 60 образцам материалов; оценка остаточной адгезии выполнена по критерию Манна–Уитни ($p < 0,05$). Физико-механические свойства 54 образцов определяли по ГОСТ 31572-2012 на установке Instron, до и после стерилизации, с использованием дисперсионного анализа, критериев Тьюки и Бонферрони. Математическое моделирование проводилось методом конечных элементов в линейно-упругой постановке. В клинической части исследования (124 пациента, 128 имплантатов) использовали объективные методы оценки, КЛКТ, цифровое позиционирование, резонансный анализ. Статистическую обработку проводили с помощью критериев Манна–Уитни, Крускала–Уоллиса, Стьюдента и Шапиро–Уилка; мощность тестов оценивали методом Монте-Карло. Работа соответствует принципам доказательной медицины.

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены в образовательный процесс Медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», а также внедрены в лечебный процесс в клинко-диагностических центрах, стоматологических клиниках института цифровой стоматологии Медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Центре цифровой стоматологии «МАРТИ», пародонтологическом центре МаксТрит, стоматологической клиники «Домодент».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Изотермическая стерилизация препятствует адгезии кариесогенной и пародонтопатогенной микрофлоры полости рта к конструкционным материалам,

используемым в аддитивном производстве хирургических навигационных шаблонов, но меняет их физико-механические характеристики увеличивая хрупкое разрушение.

2. При моделировании конструкции хирургических навигационных шаблонов для дентальной имплантации, необходимо учитывать физико-механические свойства конструкционных материалов после их изотермической обработки.

3. Профилактика деформации хирургических навигационных шаблонов во время проведения операции, значительно повышает точность и первичную стабилизацию дентальных имплантатов.

Степень достоверности результатов и апробация работы

Достоверность результатов диссертационной работы определяется достаточным количеством проведенных лабораторных, экспериментальных и клинических исследований, количеством обследованных пациентов, а именно 64, которым было установлено 128 дентальных имплантатов. Группы формировали в соответствии с критериями включения и невключения, использовали современные клинические и статистические методы. Результаты доложены на следующих научно-практических конференциях: «Актуальные вопросы стоматологии», МИ РУДН 09.11.2023; Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии», посвящённой профессору Исааку Михайловичу Оксману, Казань – 13.03.2024; Ломоносовских чтениях, МГУ им. Ломоносова, Москва, 28.03.2024; V международной научно - практической конференции молодых ученых стоматологов «ученики – учителям» МОНКИ. Москва, 23.04.2024. Работа апробирована на совместном заседании кафедры ортопедической стоматологии и института цифровой стоматологии Медицинского института «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» 27.03.2025 протокол № 0300-65-БУП-1, одобрена и рекомендована к защите.

Публикации

По материалам исследования опубликовано 8 печатных работ, из них 2 включены в международные базы цитирования WoS и Scopus, 1 в журналах, рекомендованных Перечнями РУДН/ВАК, 4 работ – в иных изданиях, а также получен 1 патент на изобретение.

Личное участие в проведенном исследовании

Автор самостоятельно провел анализ источников научной литературы в Мировых и Отечественных научных электронных базах за период с 2016 по 2021 годы. В соавторстве оптимизировал конструкцию хирургических навигационных шаблонов для дентальной имплантации и способ их производства. Автор обследовал и лечил 124 пациента с частичным отсутствием зубов, нуждающихся в операции дентальной имплантации. Осуществлял оценку эффективности оказанного лечения с применением современных методов компьютерной

диагностики, разработанной методики определения точности позиционирования имплантатов, индексной оценки послеоперационной боли (ВАШ).

Самостоятельно проводил все виды исследований, систематизацию и статистическую обработку экспериментальных, лабораторных и клинических данных, готовил публикации по теме диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа содержит «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», две главы «Результаты собственных исследований», «Заключение», «Выводы», «Практические рекомендации» и «Список литературы». Обзор литературы включает 190 источников, в том числе 71 отечественных авторов и 119 иностранных. Диссертация изложена на 206 страницах компьютерного текста. Диссертация иллюстрирована 28 таблицами, 123 рисунками и фотографиями.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

В рамках диссертационного исследования были проведены теоретические, экспериментальные, лабораторные и клинические исследования.

Поставленная цель достигалась решением ряда задач, которые включали в себя:

- лабораторно-экспериментальное исследование по изучению адгезии кариесогенных и пародонтопатогенных микроорганизмов к поверхности конструкционных материалов, используемых в аддитивной технологии производства хирургических навигационных шаблонов, до и после стерилизации методом автоклавирования;
- изучение физико-механических свойств конструкционных материалов, используемых в технологии аддитивного производства навигационных шаблонов до и после стерилизации;
- по результатам проведенных физико-механических испытаний, оптимизировать конструкцию хирургических навигационных шаблонов используемых для позиционирования дентальных имплантатов по полному цифровому протоколу
- математический эксперимент по определению оптимальной конструкции навигационных шаблонов, изготовленных из конструкционных материалов с физико-механическими свойствами, определенными при механических испытаниях после стерилизации, используемых для стоматологической реабилитации пациентов с частичным отсутствием зубов;
- клиническую апробацию навигационных шаблонов, оптимизированных по результатам математического эксперимента, используемых в ортопедической стоматологической реабилитации пациентов несъемными зубными протезами с опорой на дентальные имплантаты.

Схема-дизайн исследования представлена на рисунке 1.

На первом этапе необходимо было определиться с, наиболее часто используемыми и хорошо зарекомендовавшими себя на клиническом приеме, конструкционными материалами, используемыми в технологии аддитивного производства хирургических навигационных шаблонов. Для решения этой задачи нами был проведен анализ информационных источников научной литературы. Всего было проанализировано 190 источников электронных библиотек PubMed, Scopus, eLibrary и на сайте Роспатента. Ключевыми запросами поиска явились изменения прочностных характеристик указанных материалов после изотермической стерилизации. По результатам проведенного исследования были выделены 2 материала зарубежных производителей и один отечественный. В качестве основного конструкционного материала был выбран фотополимер FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США), который обладает оптимальными физико-механическими характеристиками, согласно данным производителя. Также рассматривался материал NextDent SG (NextDent, Нидерланды), который обладает схожими параметрами. Однако из-за текущей геополитической ситуации и сложностей с доступностью этих материалов, для проведения исследований был выбран фотополимер HARZLabs Yellow Clear PRO (HARZLabs, Россия). Также, литературный анализ выявил отсутствие данных об изменении физико-механических свойств фотополимерной смолы, используемой в технологии аддитивного производства навигационных хирургических шаблонов после температурной обработки под высоким давлением (автоклавирования).

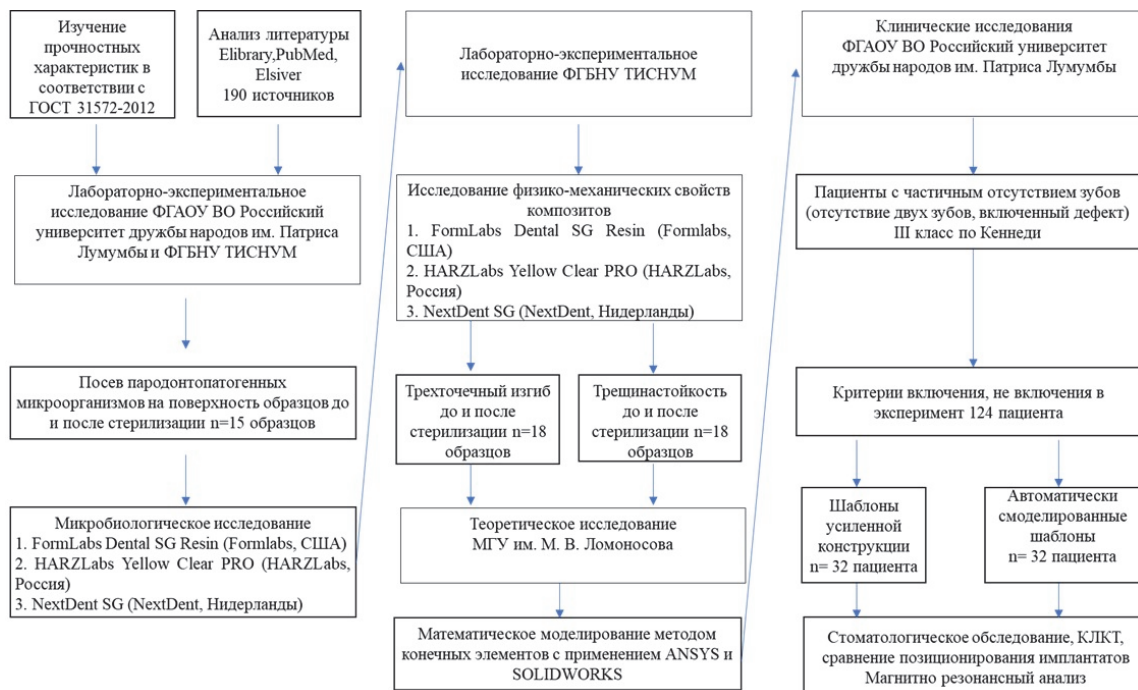


Рисунок 1 – Схема дизайна диссертационного исследования.

Следующим этапом исследования явилось определение целесообразности стерилизации хирургических навигационных шаблонов, изготовленных методом объемной печати из

указанных материалов. С этой целью было проведен микробиологический эксперимент. В эксперименте изучалось влияние стерилизации методом автоклавирования при температуре 121°C в течение 30 минут на первичную адгезию микроорганизмов к трем видам конструкционных материалов FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США), NextDent SG (NextDent, Нидерланды) и HarzLabs Yellow Clear PRO (HARZLabs, Россия). Исследована адгезивная активность по отношению к наиболее агрессивным кариесогенным и пародонтопатогенным микроорганизмам - *E. coli* ATCC 25982, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *C. albicans* NoCTC885-653, *Streptococcus mutans* – 3003, *Streptococcus mitis* NCTC 10712, *Pseudomonas aeruginosa* B-824. Образцы для эксперимента изготавливали на специальном оборудовании в режиме, рекомендованном производителями конструкционных материалов.

Индекс остаточной адгезии рассчитывали и переводили в процентный показатель по формуле: $I_{ao} = \lg A / \lg N \cdot 100\%$, где I_{ao} — индекс остаточной адгезии; $\lg A$ — число адгезированных бактерий, выраженных через десятичный логарифм (КОЕ/мл); $\lg N$ — количество бактерий исходной взвеси, наносимой на стандартный образец, выраженное через десятичный логарифм (КОЕ/мл).

Оценка остаточной адгезии штаммов бактерий проводилась с использованием критерия Манна—Уитни с принятым уровнем значимости 0,05.

Следующим этапом диссертационного исследования явилась динамическая оценка изменений прочностных характеристик фотополимеров используемых в аддитивном производстве навигационных шаблонов после изотермической стерилизации.

Для решения указанной задачи были проведены физико-механические испытания на трехточечный изгиб и трещиностойкость указанных фотополимеров до и после стерилизации. Все испытания проводились на универсальной испытательной машине Instron 5982 в соответствии с ГОСТ 31572-2012 (ISO 1567:1999 Материалы полимерные для базисов зубных протезов. Технические требования. Методы испытаний). Образцы изготавливали на 3D-принтерах, соответствующих рекомендациям производителей полимеров.

По результатам проведенных исследований, статистический анализ свойств групп материалов до и после стерилизации отдельно, проводился с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Множественные сравнения групп между собой подразумевали использование критерия Тьюки HSD (honestly significant difference) и поправки Бонферрони с аналогичной величиной уровня значимости 0,05.

На практике моделирование хирургических шаблонов после виртуальной постановки дентального имплантата в компьютерной программе осуществляется в автоматическом режиме с возможностью мануальной корректировки и обозначением необходимой толщины конструкции. Как правило, большинство пользователей пренебрегают мануальной коррекцией

полагаясь на правильность цифрового производства. Выявив из анализа литературы и ретроспективного анализа историй болезни слабые места навигационного шаблона, где чаще в процессе установки дентального имплантата происходит перелом, нами было предложено оптимизировать конструкцию увеличением объема концентраторов напряжения в шаблоне.

Целью проведения следующего этапа работы – математического эксперимента – явилось подтверждение эффективности оптимизированной конструкции методом конечных элементов, учитывающего физико-механические свойства конструкционных материалов после стерилизации, выявленные в ранее описанных исследованиях.

Для решения задач математического моделирования были выделены этапы создание персонифицированных конечно-элементных моделей хирургических шаблонов, создание расчетных вариантов для оценки напряженно-деформированного состояния моделей-шаблонов в зависимости от их конструктивных особенностей, материалов и различных вариантов нагружения на кольца шаблонов и определение значений максимальных суммарных перемещений и напряжений для выявления перспективной модели-шаблона.

В работе проанализированы два типа хирургических шаблонов для дентальной имплантации при дефекте двух зубов (включенный дефект): шаблон, созданный программным обеспечением в автоматическом режиме (рисунок 2а), и шаблон оптимизированной конструкции, модифицированный вручную (рисунок 2б) (рисунок 2).

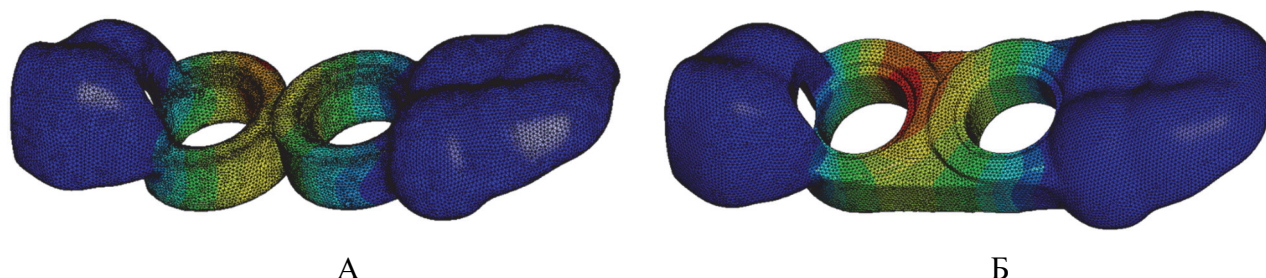


Рисунок 2 – Математическая модель хирургических навигационных шаблонов: А – созданный программным обеспечением в автоматическом режиме; Б – оптимизированной конструкции.

В обоих вариантах сила, действующая на шаблон при сверлении, составляла 30 Н. Значение силы, приложенной к направляющим кольцам, определялось экспериментально с использованием модели нижней челюсти для дентальной имплантации. Модель включала имитацию костной ткани II типа и искусственную слизистую, а также два отсутствующих зуба в жевательном отделе (III класс). Хирургический шаблон фиксировался на опорных зубах, после чего выполнялось препарирование ложа имплантата с помощью физиодиспенсера. Усилия на направляющие кольца измерялись динамометром.

В численных исследованиях анализировались модели из материалов FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США) и HARZLabs Yellow Clear PRO (HARZLabs, Россия) после стерилизации. Модули упругости материалов составляли 2,4 Н/мм² и 2,6 Н/мм² соответственно. Задача решалась методом конечных элементов в рамках линейно-упругой модели. Математическая модель основывалась на системе уравнений теории упругости, включающей дифференциальные уравнения равновесия, уравнения Коши для малых деформаций и закон Гука. Для построения сетки конечных элементов использовались тетраэдрические элементы с линейной функцией формы и тремя степенями свободы в каждом узле.

Клиническое исследование по подтверждению эффективности дентальной имплантации, проведенной с помощью оптимизированной конструкции хирургических навигационных шаблонов, проводилось на базе института цифровой стоматологии медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» центре цифровой стоматологии МАРТИ (директор – доктор медицинских наук, профессор, Апресян Самвел Владиславович) и стоматологической клинике «Домодент» в соответствии с протоколами, утвержденными Комитетом по этике Медицинского института РУДН им. Патриса Лумумбы протокол № 17 от 20.04.2023.

В исследовании приняли участие 124 пациента с частичным отсутствием зубов. В соответствии с критериями включения и не включения в исследование, проводилось лечение 64 больных, рандомизировано разделенных на 2 равные группы.

Критерии включения в исследование:

1. Мужчины и женщины в возрасте от 25 до 45 лет с отсутствием двух рядом стоящих жевательных зубов нижней или верхней челюсти, III класс по Кеннеди. (Потеря зубов вследствие несчастного случая, удаления или локальной периодонтальной болезни (МКБ 10 K08.1);
2. Отсутствие противопоказаний к дентальной имплантации
3. Отсутствие соматической патологии, влияющей на минеральный обмен веществ и репаративный остеогенез.
4. Отсутствие психических заболеваний и заболеваний центральной нервной системы.
5. Добровольное информированное согласие на участие в проведении клинического исследования.

Критерии не включения в исследование:

1. Пациенты имеющие противопоказания к дентальной имплантации.
2. Пациенты с пародонтитом средней и тяжелой степени тяжести.
3. Пациенты с психическими расстройствами и нейрогенной патологией.

4. Пациенты, имеющие соматические заболевания в стадии декомпенсации.

5. Отсутствие добровольного информированного согласия на участие в проведении клинического исследования.

Критерии исключения пациентов из исследования:

1. Отказ пациента от лечения в процессе проведения клинического исследования.

2. Развитие у пациентов в процессе лечения состояний, входящих в перечень критерий невключения в исследование.

Пациентам первой группы дентальную имплантацию проводили с применением оптимизированной конструкции хирургических навигационных шаблонов, изготовленных методом объемной печати из конструкционного материала Yellow Clear Pro (Harz Labs, Россия). Пациентам второй группы аналогичное лечение проводилось с использованием автоматически смоделированных хирургических шаблонов, изготовленных из того же материала.

Оценка уровня гигиены у пациентов проводилась на этапах формирования клинических групп, до и после установки зубных имплантатов (30, 90, 180 дней). Использовались индекс РНР и пародонтальный индекс РМА. Послеоперационная боль оценивалась по ВАШ.

Для оценки костной ткани до и после операции проводилась компьютерная томография. КТ также выполнялась через 3 и 12 месяцев для мониторинга изменений.

Стабильность имплантатов оценивалась сразу после операции, а затем через 3, 4 и 12 месяцев (после установки временной и постоянной ортопедических конструкций). Наиболее информативным критерием, определяющим эффективность проведенных исследований, является оценка смещения имплантата по факту установки от запланированной при моделировании шаблона позиции. С целью объективизации данного показателя нами был разработан способ определения отклонений установленного дентального имплантата Патент РФ 2832827 от 09.01.2025 [54].

Для выявления статистически значимых различий клинических параметров между группами пациентов с имплантатами на верхней и нижней челюстях применяли непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка, мощность теста рассчитывали в Python методом Монте-Карло (5000 симуляций), сравнивая реальные выборки с логнормальными распределениями. Для анализа различий коэффициентов стабильности и смещений имплантатов использовали критерий Крускала–Уоллиса. Сравнение контрольной и исследуемой групп проводилось с применением U-критерия Манна–Уитни и t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты экспериментальных и лабораторных исследований

В результате микробиологического эксперимента установлено, что в контрольной группе без стерилизации индексы остаточной адгезии были высокими, с уровнем значимости меньше 0,05 для всех исследуемых конструкционных материалов.

После стерилизации при температуре 121°C в течение 30 минут процентные показатели остаточной адгезии значительно снизились, приближаясь к нулевым значениям. Статистически значимые различия в адгезии микроорганизмов к конструкционным материалам наблюдались: максимальная адгезия зафиксирована к материалу 2-NEXTDENT, минимальная — к материалу 3-HARZLABS. Таким образом, стерилизация при 121°C и 30 минутах демонстрирует достоверное снижение адгезии микроорганизмов к композитным материалам (рисунок 3).

Учитывая важность стерилизации при 121°C в течение 30 минут, было решено изучить динамику изменений через 24 часа и 10 суток после завершения процесса стерилизации.

Через 24 часа после стерилизации процентные показатели остаточной адгезии оставались достоверно ниже по сравнению с контролем, при этом сохранялась статистически значимая разница между материалами: максимальная адгезия наблюдалась к материалу 2-NEXTDENT, различий по адгезии к материалам 1-FRMLABS SG и 3-HARZLABS не было выявлено ($p>0,05$).

Через 10 суток после стерилизации не было обнаружено различий в содержании микроорганизмов до и после стерилизации, что указывает на значимость 10-дневного периода для оценки уровня остаточной адгезии.

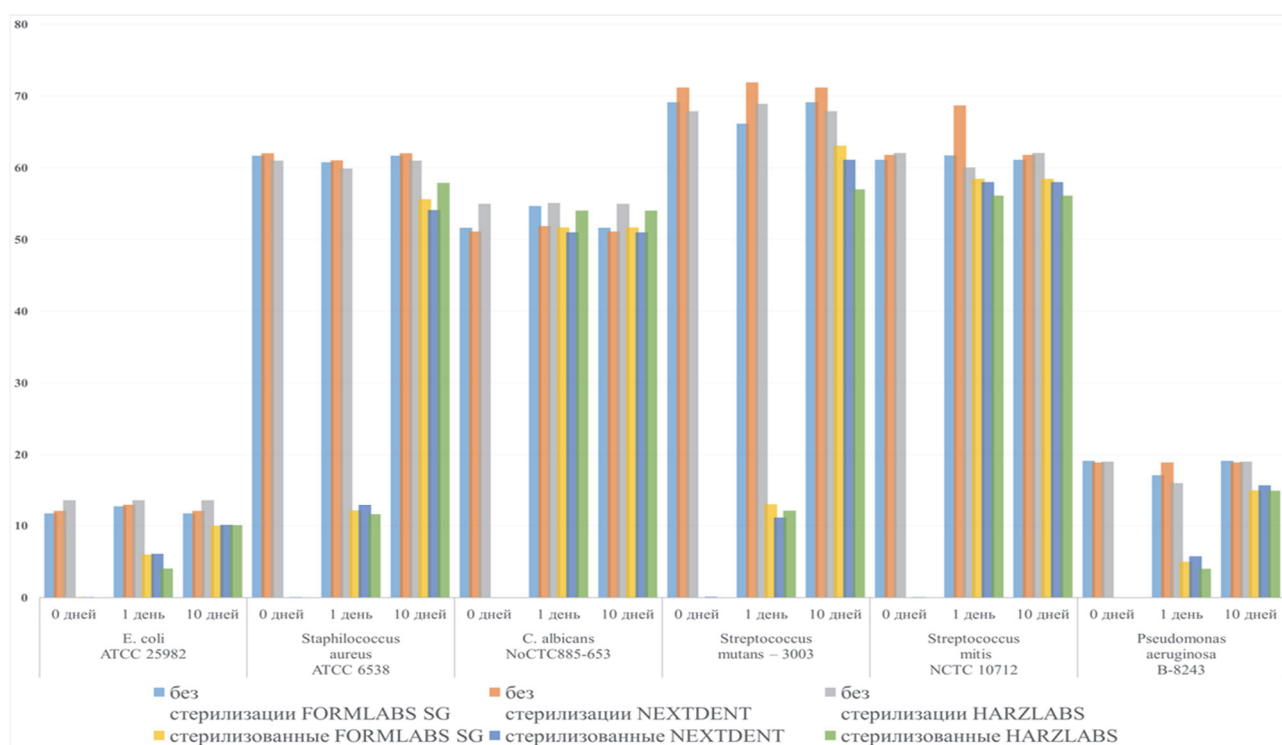


Рисунок 3 – График динамического изменения адгезии микроорганизмов к конструкционным материалам на различных сроках после стерилизации

В результате проведенного эксперимента, была доказана актуальность предоперационной стерилизации навигационных шаблонов, и даны рекомендации, что для обеспечения стерильности хирургических навигационных шаблонов, изготовленных методом объемной печати, необходимо обеспечить их хранение в запечатанных крафт-пакетах сроком не более 10 суток.

Анализ диаграмм напряжение-деформация показал, что стерилизация существенно влияет на механическое поведение материалов при трехточечном изгибе. У материалов Formlabs и HARZ стерилизация увеличила предел прочности и модуль упругости, а у NextDent прочность оставалась высокой как до, так и после обработки.

Статистический анализ выявил значимое увеличение прочности и упругости Formlabs после стерилизации ($p < 0,05$): предел прочности вырос с $83,71 \pm 1,76$ до $92,34 \pm 0,28$ МПа (10,3 %), модуль упругости — с $2,09 \pm 0,07$ до $2,40 \pm 0,02$ ГПа (15 %). Для NextDent и HARZ статистически значимых изменений не обнаружено, но наблюдалось увеличение прочностных характеристик.

До стерилизации Formlabs имел наивысшие прочностные характеристики ($83,71 \pm 1,76$ МПа), NextDent — наименьшие ($42,62 \pm 15,88$ МПа). Различия между Formlabs и HARZ ($79,69 \pm 14,93$ МПа) были минимальными ($4,02$ МПа, 5 %). После стерилизации Formlabs сохранил лидерство по прочности ($92,34 \pm 0,28$ МПа), NextDent имел наименьшие значения ($58,54 \pm 23,78$ МПа), а HARZ занял промежуточное положение ($81,07 \pm 14,67$ МПа). Модуль упругости был оптимальным для HARZ ($2,60 \pm 0,33$ ГПа) по сравнению с Formlabs ($2,40 \pm 0,02$ ГПа). (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний на трехточечный изгиб

Материал	ε , %	σ , МПа	E , ГПа
HARZ	$8,70 \pm 2,62$	$79,69 \pm 14,93$	$2,09 \pm 0,48$
HARZ_st	$4,13 \pm 0,71$	$80,61 \pm 0,43$	$2,60 \pm 0,33$
Formlabs	$10,53 \pm 0,81$	$83,71 \pm 1,76$	$2,09 \pm 0,07$
Formlabs_st	$8,53 \pm 1,89$	$92,34 \pm 0,28$	$2,40 \pm 0,02$
NextDent	$2,40 \pm 0,69$	$42,62 \pm 15,88$	$2,08 \pm 0,25$
NextDent_st	$3,47 \pm 1,29$	$58,54 \pm 23,78$	$2,31 \pm 0,13$

ε — деформация при разрушении, %; σ — прочность при изгибе, МПа; E — модуль упругости при изгибе, ГПа.

Испытания на трещиностойкость показали хрупкое разрушение образцов при достижении максимального усилия, независимо от материала, что указывает на мгновенное распространение трещины. Стерилизация не повлияла на механические свойства.

Рассчитаны значения трещиностойкости и максимальных усилий разрушения. Материал NextDent имел минимальную трещиностойкость ($0,95 \pm 0,03$ МН/м^{1,5} до и $1,05 \pm 0,05$ МН/м^{1,5} после стерилизации), не соответствуя ГОСТ 31572-2012. Материал HARZ показал более высокую трещиностойкость ($2,18 \pm 0,11$ МН/м^{1,5} до и $2,31 \pm 0,14$ МН/м^{1,5} после), увеличившись на 8 % после стерилизации. Материал Formlabs имел максимальную трещиностойкость ($2,35 \pm 0,21$ МН/м^{1,5} до и $1,90 \pm 0,06$ МН/м^{1,5} после), снизившуюся на 20 % после стерилизации. При сравнении прочностных характеристик материалов до стерилизации с использованием критериев Тьюки HSD и t-критерия с поправкой Бонферрони, сохранялся тренд увеличения K_1 от NextDent к Formlabs (таблица 2).

Таблица 2 – Средние значения максимальных усилий при разрушении трещиностойкости образцов

Материал	F , Н	K_1 , МН/м ^{1,5}
HARZ	$155,25 \pm 20,49$	$1,63 \pm 0,20$
HARZ_st	$167,60 \pm 11,77$	$1,76 \pm 0,19$
Formlabs	$238,66 \pm 24,32$	$2,35 \pm 0,21$
Formlabs_st	$192,25 \pm 10,24$	$1,90 \pm 0,06$
NextDent	$160,08 \pm 19,79$	$0,95 \pm 0,03$
NextDent_st	$174,82 \pm 30,53$	$1,05 \pm 0,05$

F – нагрузка при разрушении образца, Н; K_1 – показатель трещиностойкости, МН/м^{1,5}.

Так как результаты анализа механических характеристик трех разновидностей материалов выявили минимальную разницу между материалами Formlabs и HARZ и более низкие параметры NextDent, дальнейшие работы, связанные с математическим моделированием, проводились с учетом рассчитанных упругих констант для указанной пары.

Результаты математического эксперимента показали, что стерилизованные образцы из материала Formlabs Surgical Guide Resin имеют более высокую прочность на изгиб и устойчивость к деформациям по сравнению с другими исследованными материалами. Однако значения перемещений для шаблона из HARZLabs оказались меньше на 7–8%, чем у шаблона из Formlabs.

Максимальное значение напряжения σ_{max} составило 29,57 МПа во всех вариантах. Прочность при изгибе для стерилизованного материала HARZLabs составляет $80,6 \pm 0,4$ МПа, а для Formlabs — $92,3 \pm 0,3$ МПа. При нагрузке $F = 30$ Н оба материала выдержат её без разрушения.

Упругие константы материалов Formlabs и HARZLabs не влияют на напряжённо-деформированное состояние моделей шаблонов. Максимальные напряжения 30 МПа остаются неизменными в обеих моделях.

Интересный результат показывает гистограмма на рисунке 4. Здесь хорошо видно, что значения напряжений при одной и той же нагрузке $F = 30$ Н на поверхности колец для обоих материалов 1 и 2 одинаковые. Максимальные значения напряжений соответствуют варианту 1. Упрочнённая модель шаблона (вариант 2) оказалась существенно лучше варианта 1.

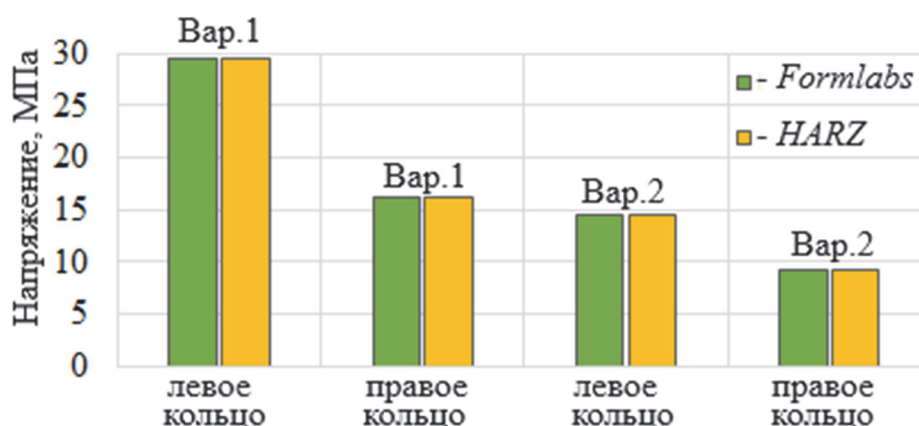


Рисунок 4 - Распределение напряжений для вариантов 1 и 2

На основании проведённого эксперимента можно сделать вывод, что оптимизация конструкции хирургического шаблона приводит к значительному снижению зарождающихся напряжений более чем на 35% при усилии 30 Н.

В клиническом аспекте полученные результаты значат, что оптимизированная конструкция подвержена в меньшей степени поломке в процессе установки дентального имплантата и деформации при оказываемом на нее давлении, что в свою очередь обеспечивает прецизионность формирования имплантационного ложа и повышает качество операции.

Результаты собственных клинических исследований

Перед операцией у всех пациентов был отличный уровень гигиены после профессиональной чистки зубов. После операции показатели ухудшились на 0,2 единицы из-за трудностей с чисткой зубов. Через некоторое время показатели улучшились до 0,6. Через шесть месяцев у пациентов из основной и контрольной групп показатели РНР были 0,6 и 0,5 соответственно, что свидетельствует о хорошем уровне гигиены. Показатели индекса улучшились на 0,2 единицы до и после операции благодаря обучению гигиене, подбору профилактических средств и мотивации.

Анализ индекса РМА показал снижение показателей с лёгкой степенью поражения пародонта из-за воспалительных явлений до операции и повышения мотивации к гигиене.

Постоперационная боль не различалась между группами.

При установке зубных имплантов достигнута высокая первичная стабильность благодаря протоколам операции и навигационным шаблонам. Однако у пациентов контрольной группы показатель стабильности имплантатов (КСИ) был ниже из-за отклонений направляющих колец шаблонов, что приводило к овальной форме ложа имплантата и ухудшению контакта с костной тканью.

Через три месяца после операции всем пациентам было проведено временное протезирование с использованием винтовой фиксации. Перед установкой временной конструкции КСИ был повторно определён с помощью частотно-резонансного анализа. В обеих группах значения КСИ превышали 70 единиц ISQ, что указывало на высокий уровень стабильности и способность выдерживать нормальные жевательные нагрузки.

Через четыре месяца после операции, перед установкой постоянных протезов, значения КСИ у большинства пациентов основной группы в среднем достигли 75. Это свидетельствовало о полной остеоинтеграции зубных имплантатов и отсутствии дальнейшего увеличения стабильности. У большинства пациентов контрольной группы также значения КСИ оставались выше 70.

Через 12 месяцев после установки зубных имплантатов, во время профессиональной гигиены, статистически значимых изменений в показателях КСИ не наблюдалось (рисунок 5).

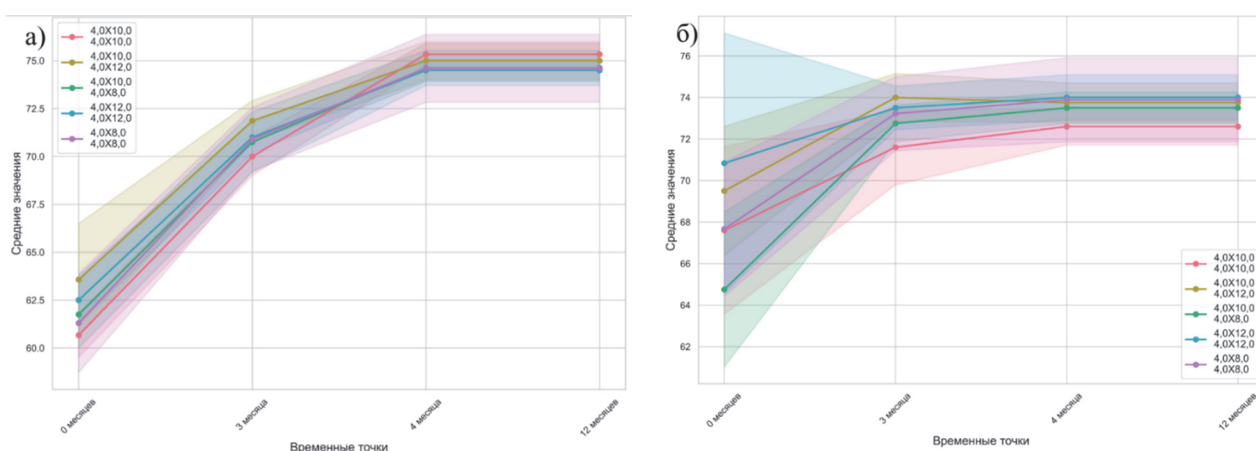


Рисунок 5 – Средние значения коэффициентов стабильности дентальных имплантатов, определенные методом частотно-резонансного анализа: а) – контрольная группа; б) – группа сравнения

По результатам анализа проведенного клинического исследования было показано, что для контрольной группы, в которой дентальная имплантация проводилась с использованием стандартных хирургических шаблонов не было выявлено статистических значимых различий коэффициентов стабильности имплантатов при рассматриваемых геометрических комбинациях длин на различных временных интервалах диагностики (0, 3, 4 и 12 месяцев). Однако, значимые различия были обнаружены для всех типов смещений (медио-дистального, вестибуло-

орального и вертикального). При оценке мезио-дистального смещения имплантатов выявлены значимые различия между группами, где использовались пары имплантатов разной длины: 8 и 10 мм (пара 8X10), и 10 и 12 мм (пара 10X12). Различия между средними значениями составили 0,43 мм, а между медианными значениями – 0,45 мм. При исключении поправки Бонферрони на множественные сравнения, значительные различия в мезио-дистальных смещениях также наблюдались для пар имплантатов 8 и 8 мм (пара 8X8) и 10 и 12 мм (пара 10X12), с разницей средних значений в 0,4 мм, что совпадает с величиной медианных значений.

Наименьшие величины смещений характерны для имплантатов с меньшей длиной – 8 и 10 мм, а также их комбинаций.

При анализе вестибуло-оральных смещений в контрольной группе выявлены значимые различия для двух комбинаций имплантатов. Значимые различия зафиксированы для пар имплантатов 8 и 8 мм (пара 8X8), 10 и 12 мм (пара 10X12), 8 и 10 мм (пара 8X10) и 10 и 12 мм (пара 10X12). Без учета поправки Бонферрони к парам со значимыми различиями в анализ также включены пары 10 и 10 мм (пара 10X10), и 10 и 12 мм (пара 10X12), где различия выборочных средних превышают 0,55 мм. Как и в случае мезио-дистальных смещений, максимальные отклонения наблюдаются для пар имплантатов с максимальной длиной 12 мм.

Из-за значительных различий в величине перемещений имплантатов по разным направлениям, исследуемые выборки не могут быть объединены в одну без учета значений длин используемых имплантатов. Дальнейший анализ типов перемещений между контрольной группой и группой сравнения проводился для каждой пары отдельно.

Парным сравнениям с использованием (t)-критерия Стьюдента подвергались следующие параметры: мезио-дистальное смещение: 4,0X10,0 и 4,0X12,0, 4,0X10,0 и 4,0X12,0; вестибуло-оральное смещение: 4,0X10,0 и 4,0X10,0; вертикальное смещение: 4,0X10,0 и 4,0X12,0.

Для всех остальных групп использовался критерий Манна-Уитни. Статистически значимые различия ($p < 0,05$) были выявлены для всех типов пар имплантатов между контрольной группой и группой сравнения, за исключением значений вестибуло-орального смещения для пары имплантатов 4,0X12,0 и 4,0X12,0 мм. Это может быть связано со статистической ошибкой второго рода, возникшей при выполнении парного сравнения выборок, полученных в ходе клинической диагностики, так как все остальные парные сравнения показали значимые различия (рисунок 6).

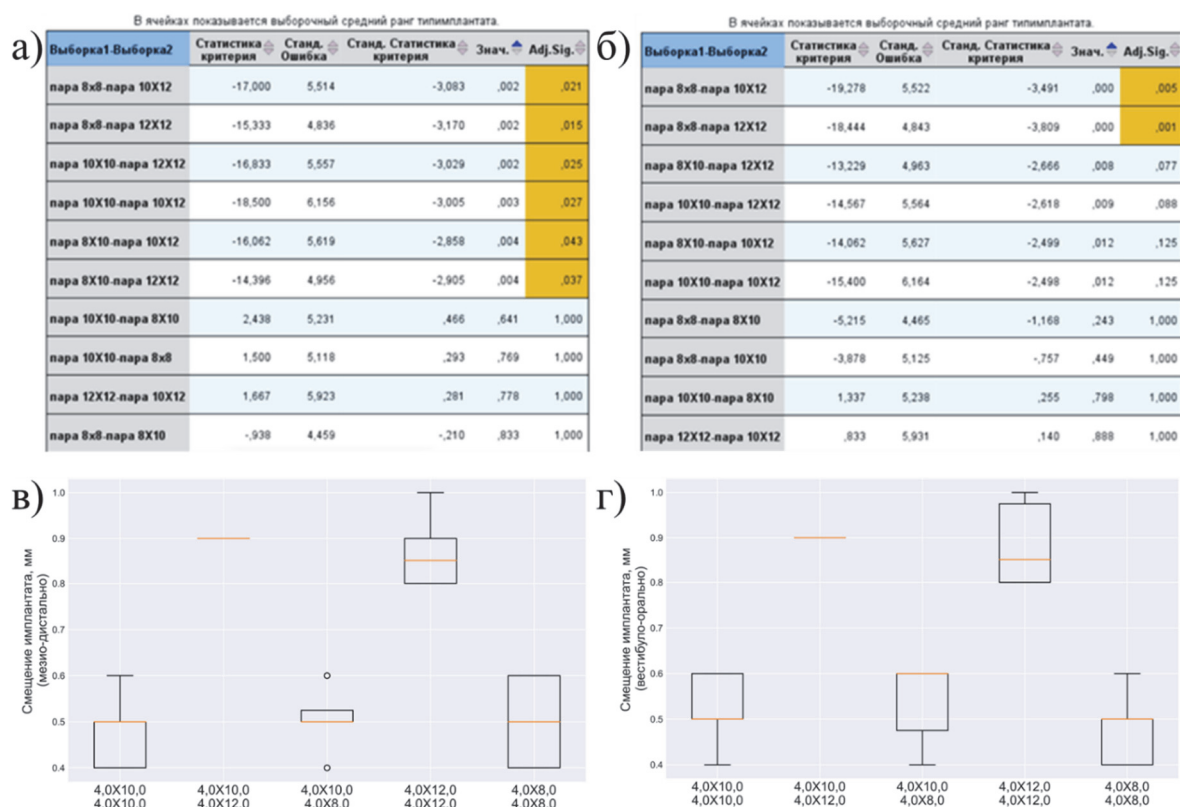


Рисунок 6 – Статистический анализ множественных сравнений смещений

имплантатов: а) – результаты множественных сравнений в программном пакете SPSS для мезио-дистальных смещений; б) – результаты множественных сравнений в программном пакете SPSS для вестибуло-оральных смещений; в) – ящичная диаграмма распределения значений мезио-дистальных смещений; г) – ящичная диаграмма распределения значений вестибуло-оральных смещений.

Использование оптимизированной конструкции хирургического навигационного шаблона привело к значительному повышению точности позиционирования имплантатов различной длины. Средние значения выборочных отклонений снизились на $51,48 \pm 9,12$ % для мезио-дистального направления, на $39,88 \pm 8,05$ % для вестибуло-орального направления и на $53,41 \pm 4,73$ % для вертикального направления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты исследования могут быть применены в практической медицине и научных исследованиях. Разработанный метод диагностики отклонений установленного дентального имплантата может служить инструментом для объективной оценки эффективности дентальной имплантации. Этот подход позволяет подтверждать клиническую эффективность как в научных экспериментах, так и в практической медицине. Методический подход, описанный в диссертации, позволяет проводить аналогичные исследования по изучению различных новых конструкционных материалов, используемых в аддитивной технологии производства

навигационных хирургических шаблонов. А также разрабатывать и оптимизировать конструкции хирургических шаблонов, используемых в различных клинических ситуациях, как при полном, так и при частичном отсутствии зубов, включенных и дистально неограниченных дефектах.

Выводы

1. Изотермическая стерилизация в течение 30 минут достоверно снижает уровень адгезии микроорганизмов к рассматриваемым конструкционным материалам приближаясь к нулевым показателям, при этом отмечается статистически значимое минимальная адгезия к отечественному материалу.

2. Стерилизации вносит существенный вклад в механическое поведение материала при трехточечном изгибе, приводя к более хрупкому разрушению и изменению предела прочности на изгиб, а также модуля упругости в диапазонах от 1 до 37 % в зависимости от материала, наиболее высокими механическими характеристиками с минимальными незначимыми различиями от 1 до 14,5 % обладают материалы Formlabs и отечественный материал HARZ Labs, как до стерилизации, так и после нее.

3. Предложенная по результатам проведенных физико-механических испытаний оптимизация конструкции хирургического шаблона приводит к явному снижению зарождающихся напряжений на 35 % при усилии имитации давления при формировании имплантационного ложа в 30 Н.

4. Максимальные значения напряжений в оптимизированной конструкции навигационного шаблона, изготовленного из отечественного материала после стерилизации, составляет 16,28 МПа, тогда, как аналогичный показатель в конструкции, изготовленной при автоматическом моделировании, составляет 29,57 МПа, при полученном значении прочности при изгибе в физико-механических испытаниях в $80,6 \pm 0,4$ МПа.

5. Оптимизированная конструкция хирургического навигационного шаблона повышает уровень прецизионности позиционирования имплантатов различных длин, снижая величину средних смещений на $51,48 \pm 9,12$ % для медио-дистального, на $39,88 \pm 8,05$ % для вестибуло-орального и на $53,41 \pm 4,73$ % для вертикального направления, а также обеспечивает большую жесткость закрепления дентальных имплантатов во время их установки.

Практические рекомендации

1. Для предотвращения микробной контаминации хирургические навигационные шаблоне изготовленные методом объемной печати, необходимо подвергать стерилизации методом автоклавирования при температуре 121°C в течение 30 минут.

2. Для обеспечения стерильности хирургических навигационных шаблонов, изготовленных методом объемной печати, необходимо обеспечить их хранение в запечатанных крафт-пакетах сроком не более 10 суток.

3. При моделировании хирургических навигационных шаблонов, изготавливаемых методом объемной печати, необходимо учитывать снижение трещиностойкости конструкционного материала после изотермической стерилизации.

4. Деформация хирургических навигационных шаблонов, изготавливаемых методом объемной печати во время операции в месте крепления направляющих колец, приводит к их девиации вследствие чего ложе имплантата принимает овальную форму, что ухудшает контакт поверхности дентального имплантата с костной тканью альвеолярной кости и негативно сказывается на показателях первичной стабильности.

5. При планировании зоны безопасности позиционирования дентальных имплантатов, при компьютерном моделировании навигационных шаблонов по полному протоколу установки, необходимо учитывать, что увеличение длины имплантата длиной 10 мм на каждые 2 мм приводит к росту величины его смещения в среднем на 0,4 мм для всех исследуемых направлений.

6. Для повышения прецизионности позиционирования имплантатов различных длин необходимым условием является мануальное увеличение зон крепления направляющих колец навигационного шаблона при его виртуальном моделировании.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в международные базы цитирования WoS и Scopus

1. Саркисов Д. С., Степанов А. Г., Апресян С. В. Физико-механические свойства материалов, используемых в технологии компьютерного производства хирургических шаблонов // Стоматология. – 2024. – Т. 103, № 1. – С. 8-11. – DOI 10.17116/stomat20241030118. – EDN DCSFCF.

2. Саркисов Д. С., Степанов А. Г., Джалалова М. В., Апресян С. В., Королькова О. П. Численное исследование напряженно-деформированного состояния хирургических шаблонов. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 72—77. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_72

Публикации в изданиях, рекомендованных Перечнями РУДН/ВАК

3. Саркисов Д. С., Степанов А. Г., Апресян С. В., Аветисян З. А. Клиническая эффективность применения навигационных хирургических шаблонов оптимизированной

конструкции. Проблемы стоматологии. 2025; 1: 135-141. DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-1-135-141.

Публикации в иных изданиях:

4. Степанов А. Г., **Саркисов Д. С.**, Апресян С. В., Южаков В.А., Джалалова М.В. Исследование адгезии пародонтопатогенных микроорганизмов к конструкционным материалам, применяемым в технологии компьютерного производства хирургических навигационных шаблонов до и после стерилизации // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 6. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.33128>

5. **Саркисов Д.С.**, Степанов А.Г., Апресян С. В., Сибирякова А. В. Исследование адгезии пародонтопатогенных микроорганизмов к конструкционным материалам, применяемым в технологии компьютерного производства хирургических шаблонов для дентальной имплантации, изготовленных методом объемной печати, в эксперименте in vitro до и после стерилизации // Актуальные вопросы стоматологии: сборник тезисов межвузовской конференции, Москва, 09 ноября 2023 года. – Москва: Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 2023. – С. 103–106. – EDN SMEXWE.

6. **Саркисов Д.С.**, Южаков В. А., Сибирякова А. В. Исследование адгезии пародонтопатогенных микроорганизмов к конструкционным материалам, применяемым в технологии компьютерного производства хирургических навигационных шаблонов до и после стерилизации // Актуальные вопросы стоматологии : Сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору Исаак Михайловичу Оксману, Казань, 13 марта 2024 года. – Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2024. – С. 832–839. – EDN YVYOYE.

7. Джалалова М.В., Королькова О.П., Степанов А.Г., Апресян С.В., **Саркисов Д.С.** Математическое моделирование навигационных хирургических шаблонов для дентальной имплантации / // Ломоносовские чтения - 2024 : Секция механики: тезисы докладов, Москва, 20 марта – 04 2024

Патент:

8. Способ определения отклонений установленного дентального имплантата. Пат. 2832827 РФ. МПК А61С 8/00. Степанов А. Г., Апресян С. В., Московец О.О., Южаков В. А., **Саркисов Д. С.**, Сибирякова А. В. Заявл. № 2024113829 от 22.05.2024; опуб. 09.01.2025, Бюл. №1–13 с.

Саркисов Д.С.

«Экспериментально-клиническое обоснование применения конструкционных материалов, используемых в технологии компьютерного производства навигационных хирургических шаблонов для дентальной имплантации»

В рамках исследования изучена адгезия кариесогенной и пародонтопатогенной микрофлоры к конструкционным материалам, используемым в аддитивном производстве навигационных хирургических шаблонов, а также изменения их физико-механических характеристик до и после стерилизации.

Проведены механические испытания, результаты которых позволили оптимизировать конструкции шаблонов. Методом конечных элементов с учетом упругих констант материалов изучены напряженно-деформированные состояния виртуальных моделей. Разработан новый метод оценки погрешности дентальной имплантации, связанной со смещением имплантата (Патент РФ 2832827).

Клиническое исследование подтвердило эффективность дентальной имплантации с применением оптимизированных шаблонов, изготовленных из отечественного фотополимера, по критерию прецизионности позиционирования имплантатов различной длины.

D.S. Sarkisov

"Experimental and clinical substantiation of the use of structural materials used in the technology of computer production of navigational surgical templates for dental implantation"

The study examined the adhesion of cariogenic and periodontopathogenic microflora to structural materials used in the additive manufacturing of navigational surgical templates, as well as changes in their physico-mechanical characteristics before and after sterilization.

Mechanical tests were carried out, the results of which allowed optimizing the design of the templates. The stress-strain states of virtual models have been studied using the finite element method, considering the elastic constants of materials. A new method has been developed to assess the error of dental implantation associated with implant displacement (RF Patent 2832827).

A clinical study has confirmed the effectiveness of dental implantation using optimized templates made from a domestic photopolymer, according to the criterion of precision positioning of implants of various lengths.

Подписано в печать: 21 мая 2025 г.
Объем: 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ №72
Отпечатано в типографии "Принт-А" г. Москва,
Остаповский проезд, д. 24