

Саргсян Карен Артурович

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА В
РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ**

3.1.2. — Челюстно-лицевая хирургия

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Волгоград 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель: заслуженный врач Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор **Фомичев Евгений Валентинович**

Официальные оппоненты:

Байриков Иван Михайлович – заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Заслуженный работник высшей школы РФ, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор.

Иванов Сергей Юрьевич – заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии имени академика Н.Н. Бажанова ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России).

Защита состоится 27 июня 2024 года в 10 часов на заседании диссертационного совета 21.1.079.02 Федерального Государственного Бюджетного Учреждения Национальный Медицинский Исследовательский Центр «Центральный научно–исследовательский институт стоматологии и челюстно–лицевой хирургии» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, по адресу: 119021, Москва, ул. Тимура Фрунзе, д. 16 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального Государственного Бюджетного Учреждения Национальный Медицинский Исследовательский Центр «Центральный научно–исследовательский институт стоматологии и челюстно–лицевой хирургии» Министерства Здравоохранения Российской Федерации <https://www.cniis.ru/>

Автореферат разослан «_24_» __мая__ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат медицинских наук И.Е. Гусева

Общая характеристика исследования

Актуальность темы исследования

По наблюдениям отечественных и зарубежных ученых неуклонно растет число пациентов с дефектами нижней челюсти. Такая тенденция связана с изменением в структуре распространенности патологий, приводящих к их развитию. В сложившейся ситуации решение вопроса реконструктивной хирургии нижней челюсти становится первостепенным.

Дефекты нижней челюсти могут быть вызваны воздействием высокоэнергетического травмирующего фактора, например, в результате дорожно-транспортных происшествий (Головский П.И. и др., 2021, Гильманова Г.С. и др., 2022, Abhinav et al., 2019, de Boutray et al., 2020), огнестрельных ранений лица как военного, так и мирного времени (Мадай Д.Ю. и др., 2022, Arli et al., 2019, Hennocq Q et al., 2019, Maia et al., 2019).

Остеомиелитические поражения челюстных костей также являются распространенной причиной костных дефектов нижней челюсти. Рост числа пациентов с одонтогенным и травматическим остеомиелитом нижней челюсти связан с постепенным преобладанием вялотекущих, атипично текущих и первично хронических форм, диагностика и лечение которых сопряжены с определенными трудностями, а также с влиянием множества причинных факторов местного и общего характера (Блинова А.С. и др., 2019, Трофимов С.А., 2019, Фомичев Е.В. и др., 2019).

Некроз костной ткани челюстей может быть вызван приемом и некоторых медикаментозных препаратов. Токсические остеонекрозы встречаются у людей, принимающих суррогаты дезоморфина (Мостовой С.О. и др., 2021, Нестеров А.А. и др., 2019, 2021, Nakobyan K et al., 2018, van Kempen, Brand, 2019, Sergent et al., 2019) и препараты антирезорбтивного и антиангиогенного действия (Фомичев Е.В. и др., 2019, Эбзеев А.К., 2020, Hallmer, 2019, Nicolatou-Galitis et al., 2019, Petrovic M et al., 2019). Риск развития и объем поражения костной ткани зависят от дозировки, пути введения и длительности приема.

Лучевая терапия у пациентов с опухолями головы и шеи может осложняться поражением челюстей, как наиболее чувствительных к облучению костей. Остеорадионекроз нижней челюсти развивается при превышении суммарной очаговой дозы лучевой нагрузки более 50 Гр (Вербо Е.В. и др., 2019, Ajila, Hegde, 2020, Kubota et al., 2021, Lang K et al., 2022, Manzano BR et al., 2019).

Несмотря на успехи в поиске новых способов ранней диагностики и таргетной терапии, хирургическое лечение новообразований челюстно-лицевой области остается основным и зачастую заключается в радикальном удалении тканей с образованием костного дефекта нижней челюсти с нарушением ее непрерывности (Буцан С.Б., 2021, Василюк В. П. и др., 2019, Кульбакин Д. Е., 2021, Кропотов М.А. и др., 2018, Adeel et al., 2018, Alfouzan, 2018, Shao, 2020).

Степень научной разработанности проблемы

Согласно базовой концепции репаративной регенерации костной ткани, ключевое значение в запуске и поддержании процессов остеогенеза имеет механическая нагрузка (Комелягин Д.Ю., 2006, Fu R. et al., 2021). В ЧЛО такую роль выполняет адекватная жевательная нагрузка, которая возможна только при сохранении подвижности нижней челюсти, нормальной функции жевательных мышц и ВНЧС.

Доказано, что у пациентов с дефектами нижней челюсти наблюдается значительное снижение сократительной способности жевательных мышц, сочетающееся с различного рода дисфункцией ВНЧС. При этом адекватная нагрузка у здоровых людей зачастую оказывается чрезмерной у пациентов с патологией нижней челюсти, что усугубляет нарушение функциональной активности мышечной ткани и приводит к ограничению объема и амплитуды движений нижней челюсти в ВНЧС. Указанные обстоятельства вызывают дезадаптацию пациента, снижают качество их жизни на весь период лечения и реабилитации (Дьяченко Д.Ю., 2021; M. Corsalini et al., 2022; Hanisch et al., 2018; Skrypa, 2021).

При лечении дефектов нижней челюсти с использованием устройств внешней фиксации и компрессионно-дистракционных аппаратов костная и окружающие ее мягкие ткани травмируются в меньшей степени (Владимиров Ф.И., 2021, Комелягин Д.Ю. и др., 2018, Aravind et al., 2020, Brody-Camp, Winters, 2021, Neelakandan, 2021, Yezdani, Rajamurugan, 2020). Однако, конструкционные особенности существующих аппаратов данного типа позволяют только сохранить двигательную активность жевательных мышц, но не способны компенсировать возникающую чрезмерную нагрузку. А для улучшения регенерации жевательных мышц и восстановления нормальной функции ВНЧС в клинической практике на данный момент распространено применение медикаментозных препаратов, методов физио- и механотерапии.

В настоящее время для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений с успехом используют экзоскелеты медицинского назначения. Эффективность их использования при реабилитации и абилитации людей с нервно-мышечными заболеваниями доказана множеством отечественных и зарубежных клинических исследований (Щетинина К.К., 2019, Bao, 2019). Однако, аппаратов по типу экзоскелета нижней челюсти в доступной литературе не описано.

Экономические, социальные и медицинские аспекты обозначенной в результате литературного обзора проблемы по-прежнему остаются актуальными. Решить их позволит разработка инновационного экзоскелета нижней челюсти.

Цель исследования

Разработать экспериментальную модель экзоскелета нижней челюсти, обосновать возможность его применения для реконструкции дефектов нижней челюсти.

Задачи исследования

1. Разработать требования к экзоскелету нижней челюсти и осуществить сборку его экспериментальной модели.
2. На трупном материале разработать методику репозиции фрагментов нижней челюсти с помощью разработанного экзоскелета и предложить новый способ оперативного приема по его установке.
3. С помощью рентгенологических методов исследовать динамику восстановления костного дефекта нижней челюсти у лабораторных животных при использовании разработанного экзоскелета.
4. По данным гистологического и иммуногистохимического методов исследования изучить характер репаративного остеогенеза в области экспериментальных дефектов нижней челюсти при применении экзоскелета.
5. Дать рекомендации для клинической апробации экзоскелета нижней челюсти оригинальной конструкции для лечения пациентов с дефектами нижней челюсти.

Новизна исследования

В ходе исследования разработаны требования к экзоскелету нижней челюсти и собрана его экспериментальная модель для устранения дефектов нижней челюсти.

На трупном материале разработаны оперативный прием по установке, а также методика репозиции фрагментов нижней челюсти при помощи экзоскелета.

С помощью рентгенологических методов исследована динамика восстановления костного дефекта нижней челюсти у лабораторных животных при использовании разработанного аппарата.

По данным гистологического и иммуногистохимического методов исследования изучен характер репаративного остеогенеза в области экспериментальных дефектов нижней челюсти при применении экзоскелета.

Получены первые результаты использования экзоскелета при устранении дефектов нижней челюсти и разработаны рекомендации для его клинической апробации.

Теоретическая и практическая значимость работы

Проведенное экспериментальное исследование позволило:

- описать и продемонстрировать методику репозиции, компрессии и distraction фрагментов нижней челюсти с сохранением движений в ВНЧС при помощи экзоскелета,
- разработать миниинвазивную технику установки экзоскелета нижней челюсти,
- обосновать возможность устранения костного дефекта нижней челюсти у лабораторных животных при использовании разработанного экзоскелета.

Согласно полученным в результате проведенного исследования данным, определены показания к использованию разработанного экзоскелета у пациентов

с дефектами нижней челюсти, а также разработаны рекомендации для его клинической апробации и внедрения в практику.

Методология и методы исследования

При выполнении диссертационной работы соблюдены все основные принципы и правила доказательной медицины.

С целью разработки требований к экзоскелету нижней челюсти и сборки экспериментальной его модели проведены патентный поиск, анализ библиографических данных и особенностей конструкции и принципов работы аппаратов для чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову, устройств внешней фиксации нижней челюсти и пассивных экзоскелетов медицинского назначения.

Техника репозиции фрагментов нижней челюсти при помощи экзоскелета разработана в ходе экспериментального моделирования на трупном материале (30 нативных анатомических препаратах черепа человека). Отработка нового способа оперативного приема по установке разработанного аппарата проведена на 3 неопознанных человеческих трупах.

На 20 беспородных собаках выполнено экспериментальное моделирование полного костного дефекта нижней челюсти с нарушением ее непрерывности, для устранения которого использован экзоскелет нижней челюсти. Для оценки процессов регенерации костной ткани использованы рентгенологические, морфологические и иммуногистохимические методы. Для анализа полученных результатов использованы общепринятые методы медицинской статистики.

Положения, выносимые на защиту

1. Инновационный экзоскелет нижней челюсти позволяет осуществлять анатомически точную репозицию нижней челюсти с устранением смещения ее фрагментов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, компрессию и дистракцию фрагментов с сохранением движений в ВНЧС.

2. Техника установки экзоскелета нижней челюсти, разработанная и отработанная в ходе исследования, является миниинвазивной, что позволяет оптимизировать процессы заживления костной ткани.

3. На основе результатов рентгенологического и морфологического методов исследования доказана возможность устранения полного костного дефекта нижней челюсти с нарушением ее непрерывности у лабораторных животных при помощи разработанного экзоскелета.

Степень достоверности и апробация результатов

Степень достоверности результатов основывается на достаточном количестве экспериментального материала, применении современных рентгенологических, морфологических и иммуногистохимических методов исследования, выполненных на сертифицированном, калиброванном медицинском оборудовании и методов статистической обработки полученных результатов. 30 анатомических препаратов черепа человека использованы при

разработке методики репозиции фрагментов нижней челюсти при помощи экзоскелета. В исследование включено 20 экспериментальных животных для моделирования полного костного дефекта нижней челюсти с нарушением ее непрерывности и его устранения с использованием экзоскелета. Проведен анализ данных фото-, видеофиксации результатов исследования, более 120 рентгенограмм и 121 гистологического препарата трепано-биоптата регенерата костной ткани нижней челюсти. Выводы и практические рекомендации являются достоверными и обоснованными в связи с корректностью поставленных задач и вытекают из полученных результатов исследования.

Материалы диссертационной работы были доложены на:

- V Открытом Всероссийском Стоматологическом Форуме «Volga Dental Summit», 4-6 октября 2017 г., Волгоград;
- Нижневолжском Стоматологическом Форуме, 28-30 марта 2018 г., Волгоград;
- VI Открытом Всероссийском Стоматологическом Форуме «Volga Dental Summit», 03-05 октября 2018 г., Волгоград;
- XXIII Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед 2020», 24-27 марта 2020 г., Москва, проект «Экзоскелет 34» - золотая медаль.

Научно-исследовательская работа поддержана грантами ФГБУ "Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" по программе «УМНИК» (договор № 8888ГУ/2015 от 21.12.2015 г.), а также ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» (договор № 18-415-343002\18 р_мол_a от 18.10.2018 г.).

Апробация работы проведена 21.12.2023 года на заседании межкафедральной проблемной комиссии «Стоматология» с участием сотрудников кафедр ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава России: кафедры стоматологии института НМФО, кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии института НМФО, кафедры терапевтической стоматологии, кафедры ортопедической стоматологии с курсом клинической стоматологии, кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, кафедры стоматологии детского возраста, кафедры ортодонтии, кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний, кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии.

Внедрение результатов исследования

Проведено внедрение результатов диссертационного исследования в учебный процесс на кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии, хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава России. В ветеринарной клинике «Помощь другу» используется разработанный экзоскелет нижней челюсти и алгоритм лечения дефектов нижней челюсти с его помощью.

Личный вклад автора

Автором лично проведен анализ литературы, касающейся тематики работы, и имеющихся аналогов экзоскелета нижней челюсти. Экспериментальное моделирование на трупном материале проведено лично автором. Отбор экспериментальных животных, моделирование у них костного дефекта нижней челюсти и установка экзоскелета проведены самостоятельно автором. Наблюдение за животными и их содержание, рентгенологическое и морфологическое исследование осуществлены с непосредственным участием автора. Самостоятельно проведен статистический анализ полученных в ходе исследования данных.

Автором лично разработаны рекомендации по клинической апробации и внедрению экзоскелета нижней челюсти оригинальной конструкции для лечения пациентов с дефектами нижней челюсти.

Публикации

Результаты диссертационного исследования изложены в 18 научных публикациях, из них 6 в журналах, входящих в перечень изданий, утвержденных ВАК РФ, 3 – в журналах, входящих в Web of Science или Scopus.

В ходе исследования оформлено два патента на изобретение:

1. Экзоскелет нижней челюсти (патент на изобретение №2655086 от 23.05.2018 г).
2. Устройство для взаимной пространственной ориентации и контроля глубины погружения остеофиксаторов (патент на изобретение №2646568 от 05.03.2018г).

Объем и структура диссертации

Диссертация содержит введение, обзор литературы, описание материалов и методов исследования, результаты собственных исследований, обсуждение полученных результатов, выводы, практические рекомендации и список литературы. Текст диссертации изложен на 158 страницах машинописного текста и иллюстрирован 50 рисунками и 6 таблицами. Список литературы включает 281 литературный источник, из них 110 отечественных и 171 зарубежный.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Для разработки клинико-анатомических и технических требований к экзоскелету нижней челюсти проведен анализ имеющихся литературных данных о конструктивных особенностях и принципах работы его аналогов, в качестве которых были приняты такие устройства, как:

- аппараты для чрескостного компрессионно-дистракционные остеосинтеза по Г.А. Илизарову;
- устройства внешней фиксации нижней челюсти;
- пассивные экзоскелеты.

Сборка экспериментальной модели экзоскелета нижней челюсти и разработка методики репозиции фрагментов нижней челюсти с ее помощью выполнены на 30 нативных анатомических препаратах человеческого черепа из материального фонда кафедр ФГБОУ ВО «ВолгГМУ» Минздрава России (оперативной хирургии и топографической анатомии, судебно-медицинской экспертизы). На препаратах моделировались собственно жевательная, височная и медиальная крыловидная мышцы при помощи резиновых колец, протянутых между винтами, закрепленными в местах фиксации данных мышц. Затем проводилась односторонняя косая остеотомия нижней челюсти в области угла (на 10 препаратах), в области тела (на 10 препаратах) и в подбородочном отделе (на 10 препаратах). После чего к нижней челюсти фиксировался разработанный экзоскелет (рисунок 1).



Рисунок 1 – Экспериментальное моделирование на препарате черепа

На 3 неопознанных человеческих трупах мужчин 65, 72 и 84 лет проводилась отработка предложенного нового способа оперативного приема по установке экзоскелета нижней челюсти на клинической базе кафедры судебно-медицинской экспертизы ФГБОУ ВО «ВолгГМУ» Минздрава России в ГУЗ "Волгоградское областное бюро судебно-медицинской экспертизы" с соблюдением всех этических и юридических норм.

Моделирование костных дефектов нижней челюсти проводилось в условиях студенческой операционной на кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии ФГБОУ ВО «ВолгГМУ» Минздрава России. В исследование было включено 20 беспородных собак в возрасте от 1 года до 3 лет с массой тела от 10 до 20 кг. Критериями невключения являлись: возраст до 1 года, собаки повышенной массы тела и истощенные животные, особи с наличием инфекционно-воспалительных заболеваний полости рта и челюстей, инфекционных и паразитарных заболеваний, беременные животные.

Каждому животному под премедикацией и внутривенным наркозом выполнялся внутрибороздковый разрез с язычной и вестибулярной стороны в области нижних премоляров и первого моляра справа. Сформированный слизисто-надкостничный лоскут был отслоен до нижнего края тела нижней челюсти. Путем резекции фрагмента тела нижней челюсти длиной до 1,5 см при

помощи пилы Джигли моделировался односторонний полный костный дефект с нарушением ее непрерывности. Послеоперационная рана промывалась раствором перекиси водорода 3% (Белмедпрепараты, Республика Беларусь) и раствором хлоргексидина биглюконата 0.05% (Тульская фармфабрика, Россия). Рана слизистой оболочки была ушита узловыми швами нитью Викрил 2/0 (Johnson & Johnson, США). Гемостаз осуществлялся по ходу операции. Затем проводилась установка экзоскелета нижней челюсти.

Характер регенерации костной ткани оценивали на 21, 28, 35, 84 сутки наблюдения путем морфологического исследования биоптатов костного регенерата, полученных с помощью трепан-фрезы.

Для обзорного изучения гистологического строения исследуемых тканей срезы окрашивали гематоксилином и эозином по общепринятой методике, а для изучения отдельных элементов соединительной ткани применяли специальные методы окраски (по Masson и окраска карбол-тионином по Шморлю).

С помощью иммуногистохимии было изучено содержание коллагена I типа (кроличьи поликлональные антитела, Abcam, США) и нестина (мышинные моноклональные антитела, клон С-04, Abcam, США) в образцах костной ткани как маркеров остеогенеза.

Изучение и фотофиксацию микропрепаратов проводили при помощи микроскопа AxioScope.A1 (ZEISS, Германия) с цифровой камерой AxioCam MRc5 (ZEISS, Германия) высокого разрешения. Обработка полученных фотографии осуществлялась с помощью программы ZENpro 2012 (ZEISS, Германия).

Состояние репаративных процессов в области повреждения оценивали на 1, 7, 14, 21, 28, 35 сутки по рентгенограммам визуально, а также посредством компьютерного продукта Adobe Photoshop 7,0 (Adobe Inc., США) при этом были определены оптическая плотность (минеральную насыщенность) межфрагментарного пространства и показатель резорбции (ПР), вычисляемый по формуле:

$$\text{Пр} = [(d2 - d1)/d2] * 100,$$

где: Пр – показатель резорбции (в %); d2 – показатель плотности интактной кости; d1 – показатель плотности в области дефекта.

Анализ и статистическую обработку результатов исследований проводили методом математической статистики с помощью персонального компьютера и программы Microsoft Excel 2019 к программной операционной системе MS Windows 10 (Microsoft, США) в соответствии с общепринятыми методами медицинской статистики. Вычисляли среднеарифметическую величину, стандартное отклонение и ошибку среднеарифметической величины, среднеквадратичное отклонение, относительную погрешность. Достоверность различий между средними величинами определяли по критерию Стьюдента. Вероятность ошибки /р/ определяли на основании значений коэффициента достоверности. Различие считалось достоверным при $p < 0,05$ и менее, то есть когда вероятность различия была больше 95%, $t > 2$.

Результаты исследования и их обсуждение

Проанализировав имеющиеся данные о конструкционных особенностях и принципах работы аппаратов внешней фиксации нижней челюсти, аппаратов для чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову, а также пассивного экзоскелета верхней конечности «ЭКЗАР-34», были разработаны клинично-анатомические и технические требования к экзоскелету нижней челюсти, который должен:

1. осуществлять точную репозицию и надежную фиксацию фрагментов нижней челюсти;
2. обеспечивать приближенный к показателям здорового человека объем движений нижней челюсти;
3. содержать элементы конструкции, повторяющие контуры нижней челюсти пациента;
4. иметь легкую, прочную конструкцию, адаптируемую к клинично-анатомическим особенностям строения челюстно-лицевой области;
5. изготавливаться из биологически инертных материалов;
6. быть ремонтпригодным с возможностью замены конструкционных элементов при их поломке;
7. быть безопасным и легким в эксплуатации;
8. быть финансово доступным для массового потребителя;
9. быть мобильным и независимым от источников питания.

В результате художественно-конструкторского поиска разработан экзоскелет нижней челюсти оригинальной конструкции. Устройство для закрытого внеочагового остеосинтеза, остеофиксаторы (спицы с наружной резьбовой нарезкой), нижнечелюстная дуга, приспособление для фиксации относительно свода мозгового отдела головы и упругие элементы составляют уникальную конструкцию данного аппарата (рисунок 2).

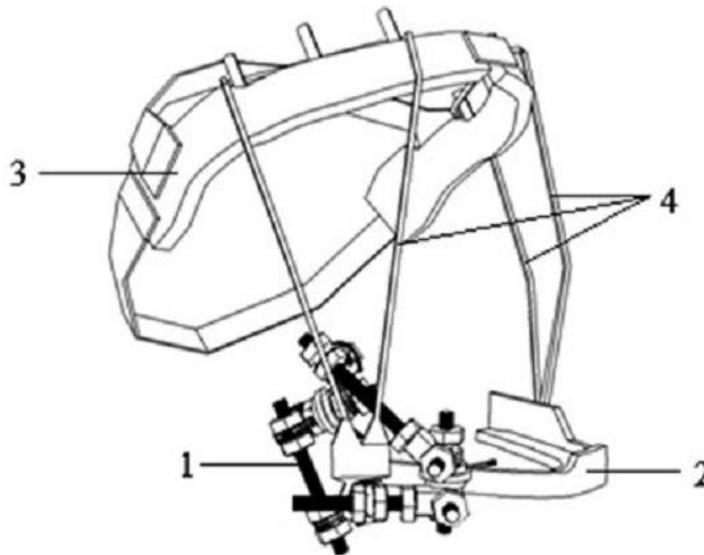


Рисунок 2 – Экзоскелет нижней челюсти:

- 1 - устройство для закрытого внеочагового остеосинтеза; 2 - нижнечелюстная дуга;
3 - приспособление для фиксации относительно свода мозгового отдела головы;
4 - упругие элементы



Рисунок 3 – Устройство для закрытого внеочагового остеосинтеза нижней челюсти



Рисунок 4 – Минификсаторы

В устройстве для закрытого внеочагового остеосинтеза удалось реализовать следующие конструкторские решения (рисунок 3):

- основой для устройства послужили детали из комплекта для чрескостного остеосинтеза по Г.А. Илизарову;
- в качестве элементов фиксации устройства к нижней челюсти использованы так называемые минификсаторы (рисунок 4) известной конструкции.

В конструкции экзоскелета нижней челюсти предусмотрены анатомозависимые элементы для адаптации устройства к индивидуальным клиничко-анатомическим особенностям строения ЧЛЮ пациента. С этой целью были предложены нижнечелюстная дуга и приспособление для фиксации относительно свода мозгового отдела головы. Нижнечелюстная дуга представлена в виде платформы параболической формы, ориентированной по нижнему краю нижней челюсти, повторяя контуры ее основания. В элементе предусмотрены вертикальный подбородочный упор и боковые бортики по наружному краю дуги для улучшения ее стабилизации относительно нижнего края нижней челюсти. Приспособление для фиксации относительно свода мозгового отдела головы состоит из двух полукруглых пластин, соединенных между собой замковым приспособлением по типу липкой ленты для регулировки по объему мозгового отдела головы. На наружной поверхности пластин в проекции височной области и боковых бортиках нижнечелюстной дуги в проекции угла нижней челюсти имеются выступы для крепления эластичных элементов. Развитие современных аддитивных технологий позволило облегчить индивидуальный подбор материала и метода изготовления данных комплектующих экзоскелета с использованием 3D сканирования, компьютерного моделирования и их объемной печати из легкой, биологически инертной, прочной ПЛА (полимолочная кислота) пластмассы.

В конструкцию экзоскелета включены эластичных элементы в качестве основного функционального составляющего, действие которого направлено на компенсацию нагрузки и восстановление силы и объема движений в жевательных мышцах и ВНЧС. Использование эластичной тяги,

ориентированной параллельно суммарному вектору тяги жевательных мышц, позволяет уменьшить нагрузку на нижнюю челюсть в среднем на $30,8 \pm 0,69\%$, усиливая компенсаторные возможности жевательной мускулатуры в 1,5 раза (Воробьев А.А. и соавт., 2017, 2018, Дьяченко Д.Ю., 2021).

Посредством съемных креплений все комплекующие экзоскелета нижней челюсти соединяются между собой, формируя единую систему «экзоскелет – нижняя челюсть».

Особенности конструкции шарнирных узлов устройства для закрытого внеочагового остеосинтеза нижней челюсти позволяют осуществлять комбинированные возвратно-поступательные и вращательные движения сразу в нескольких взаимно перпендикулярных плоскостях. Таким образом, широкий выбор способов устранения смещения фрагментов нижней челюсти позволяет провести более точную их репозицию с возможностью проведения компрессии и дистракции, делая разработанное устройство многофункциональным и универсальным.

Наличие инновационного экзоскелета нижней челюсти потребовало разработки нового способа оперативного приема по его установке, который в результате оказался малотравматичным по отношению к анатомически важным структурам ЧЛЮ. Процесс сборки, демонтажа и эксплуатация экзоскелета просты и безопасны в связи с наличием в конструкции съемных соединений между элементами экзоскелета и занимает в среднем 23-25 минут.

Оценка динамики консолидации фрагментов нижней челюсти при помощи разработанного экзоскелета проводилась на модели полного костного дефекта нижней челюсти с нарушением ее непрерывности у лабораторных животных с использованием рентгенологического и гистологического методов исследования.

На ранних стадиях характер заживления костной ткани оценивался путем анализа серии рентгенограмм нижней челюсти лабораторных животных по следующим показателям: величина костного дефекта, показатель резорбции костной ткани, показатель минеральной насыщенности кости. Учитывалось также пространственное положение отломков на всем протяжении наблюдений. С 21-го дня эксперимента проводили морфологическое исследование гистологических препаратов костного регенерата вплоть до истечения 84-х суток с момента начала наблюдений.

Результаты анализа рентгенологического исследования позволили проследить следующую динамику процессов регенерации. В течение первой недели наблюдений на рентгенограммах нижней челюсти определялась картина нечеткости и неровности контуров концов костных фрагментов и краевой остеопороз. Признаков смещения отломков и связанных с этим изменений прикуса у животных, а также ранних послеоперационных осложнений выявлено не было. Нормализация общего и местного статуса в этот период проходила без особенностей в условиях сохранения функции жевания и свободного доступа к воде и жидкой пище.

Уже к концу первой недели наблюдались первые признаки начала консолидации (таблица 1): ширина костного дефекта достоверно уменьшилась с $14,7 \pm 0,27$ мм до $13,40 \pm 0,27$ мм ($t=3,40$; $p<0,01$); показатель минеральной насыщенности костной ткани концов фрагментов ($89,01 \pm 2,33$ у.е.) оказался незначительно выше исходных ($86,79 \pm 2,56$ у.е.) без достоверной разницы ($t=0,64$; $p>0,05$); а показатель резорбции стал незначительно ниже ($77,20 \pm 3,01\%$) по сравнению с исходным ($81,74 \pm 2,81$) также без достоверной разницы ($t=1,04$; $p>0,05$).

Таблица 1 – Рентгенологические показатели репаративных процессов в области костного дефекта на седьмые сутки после операции

| Сутки после операции | Исследуемые показатели | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--|
| | Минеральная насыщенность (у.е., $M \pm m$) | Процент резорбции (ПР %, $M \pm m$) | Размер костного дефекта (мм, $M \pm m$) |
| 1-е | $86,79 \pm 2,56$ | $81,74 \pm 2,81$ | $14,7 \pm 0,27$ |
| 7-е | $89,01 \pm 2,33$ | $77,20 \pm 3,01$ | $13,4 \pm 0,27$ |
| | $t=0,64$ $p>0,05$ (0.530988) | $t=1,04$ $p>0,05$ (0.313114) | $t=3,40$ $p<0,01$ (0.00392) |

В последующем, при жесткой и стабильной фиксации фрагментов и сохранении жевательной функции у животных, наблюдалось уменьшение величины дефекта ($9,90 \pm 0,23$ мм, $t=9,87$; $p<0,0001$), и статистически достоверное увеличение минеральной насыщенности костной ткани ($98,11 \pm 2,61$ у.е., $t=2,60$; $p<0,05$) и снижение степени резорбции ($60,77 \pm 3,21\%$, $t=3,56$; $p<0,05$) (таблица 2). Это свидетельствовало об активности процессов репаративной регенерации и ремоделирования костной ткани.

Таблица 2 – Рентгенологические показатели репаративных процессов в области костного дефекта на четырнадцатые сутки после операции

| Сутки после операции | Исследуемые показатели | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--|
| | Минеральная насыщенность (у.е., $M \pm m$) | Процент резорбции (ПР %, $M \pm m$) | Размер костного дефекта (мм, $M \pm m$) |
| 7-е | $89,01 \pm 2,33$ | $77,20 \pm 3,01$ | $13,4 \pm 0,27$ |
| 14-е | $98,11 \pm 2,61$ | $60,77 \pm 3,21$ | $9,90 \pm 0,23$ |
| | $t=2,60$ $p<0,05$ (0.020061) | $t=3,56$ $p<0,05$ (0.002863) | $t=9,87$ $p<0,0001$ |

К концу третьей недели появились рентгенологические признаки разрастания костного регенерата в сторону дефекта, за счет новообразованной костной ткани. А рентгенологические показатели продолжали закономерно изменяться: ширина дефекта стала $6,20 \pm 0,25$ мм ($t=10,89$; $p<0,0001$),

минеральная насыщенность – $108,23 \pm 2,24$ у.е. ($t=2,94$; $p<0,05$), а показатель резорбции – $45,74 \pm 2,95$ % ($t=2,94$; $p<0,05$) (таблица 3).

Таблица 3 – Рентгенологические показатели репаративных процессов в области костного дефекта на двадцать первые сутки после операции

| Сутки после операции | Исследуемые показатели | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--|
| | Минеральная Насыщенность (у.е., $M \pm m$) | Процент резорбции (ПР %, $M \pm m$) | Размер костного дефекта (мм, $M \pm m$) |
| 14-е | $98,11 \pm 2,61$ | $60,77 \pm 3,21$ | $9,90 \pm 0,23$ |
| 21-е | $108,23 \pm 2,24$ | $45,74 \pm 2,95$ | $6,20 \pm 0,25$ |
| | $t=2,94$ $p<0,05$ (0.010089) | $t=2,94$ $p<0,05$ (0.003590) | $t=10,89$ $p<0,0001$ |

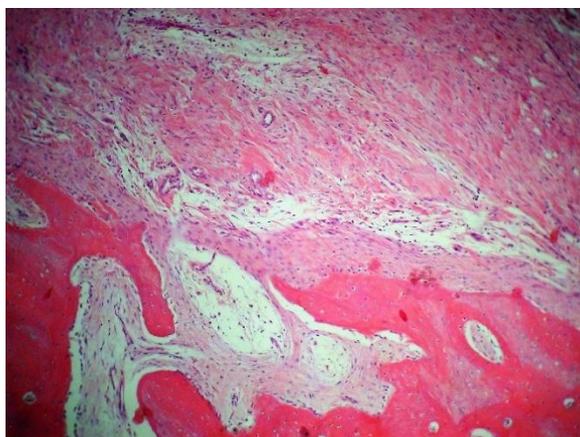


Рисунок 5 – Костный регенерат на 21-е сутки. Окраска гематоксилин-эозином. Общее увеличение $\times 100$. Наличие участков остеοидной, а местами и губчатой костной, ткани

Гистологический анализ микропрепаратов регенерата выявил на 21-е сутки наличие участков, местами остеοидной, местами губчатой костной ткани с расположенными по ходу костных балочек рядами остеобластов. Ближе к центру костного дефекта прослеживалась рыхлая, а на некоторых участках и плотная, волокнистая соединительная ткань с густой сетью кровеносных сосудов (рисунок 5).

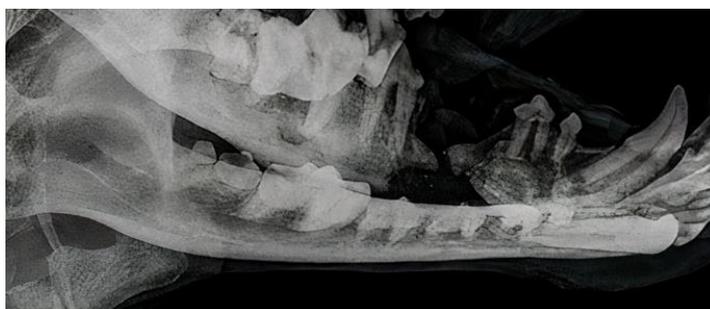


Рисунок 6 – Рентгенологическая картина на 28-е сутки после хирургического вмешательства

На 28-е сутки размеры регенерата продолжали увеличиваться, а ширина дефекта уменьшаться ($5,1 \pm 0,23$ мм, $t=3,24$; $p < 0,01$). Регенерат приобрел вид веретенообразной, утолщенной тени, с четкими контурами, что указывало на постепенное появление компактного слоя костной ткани (рисунок 6).

Таблица 4 – Рентгенологические показатели репаративных процессов в области костного дефекта на двадцать восьмые сутки после операции

| Сутки после операции | Исследуемые показатели | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--|
| | Минеральная насыщенность (у.е., $M \pm m$) | Процент резорбции (ПР %, $M \pm m$) | Размер костного дефекта (мм, $M \pm m$) |
| 21-е | $108,23 \pm 2,24$ | $45,74 \pm 2,95$ | $6,20 \pm 0,25$ |
| 28-е | $119,14 \pm 2,59$ | $32,39 \pm 3,14$ | $5,1 \pm 0,23$ |
| | $t=3,19$ $p < 0,01$ 0.006136 | $t=3,10$ $p < 0,01$ | $t=3,24$ $p < 0,01$ 0.005516 |

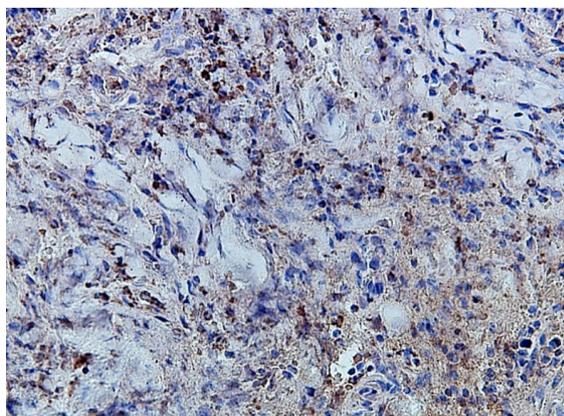


Рисунок 7 – Фрагмент костного регенерата на 28-е сутки после оперативного вмешательства.

Иммуногистохимическая реакция на антитела к Нестину. Докраска гематоксилином Майера. Общее увеличение $\times 400$. Локализация многочисленных нестин+ положительных клеток в районе дефекта

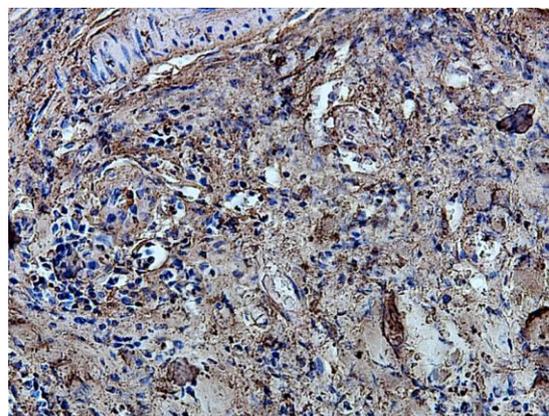


Рисунок 8 – Фрагмента костного регенерата на 28-е сутки после оперативного вмешательства.

Иммуногистохимическая реакция на антитела к коллагену I. Докраска гематоксилином Майера. Общее увеличение $\times 400$. Накопление коллаген-положительных структур в зоне репарации

Постепенное нарастание степени минеральной насыщенности ($119,14 \pm 3,16$ у.е., $t=2,94$; $p < 0,05$) и убыль показателя резорбции ($32,39 \pm 3,14\%$, $t=3,10$; $p < 0,01$) наглядно свидетельствовали о продолжении минерализации костной ткани (таблица 4).

Данную тенденцию можно проследить и микроскопически: выявлены участки соединительнотканно-костного сращения фрагментов с обнаружением в области надкостницы организованных структур, схожих с кортикальной пластинкой. Об интенсивности процессов остеогенеза указывают и данные

иммуногистохимии. В пределах ретикулофиброзной костной ткани, заполняющей область дефекта, наблюдалась активная аттракция мезенхимальных стволовых клеток, преosteобластов и зрелых остеобластов (рисунок 7, 8).

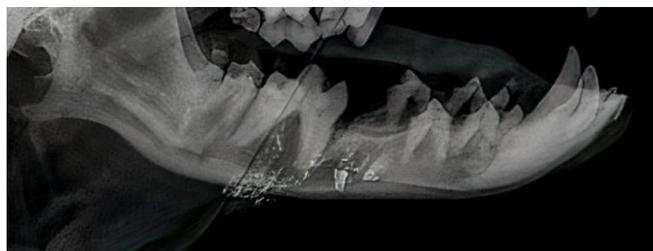


Рисунок 9 – Рентгенологическая картина на 35-е сутки после хирургического вмешательства

Таблица 5 – Рентгенологические показатели репаративных процессов в области костного дефекта на 35-е сутки после операции

| Сутки после операции | Исследуемые показатели | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|--|
| | Минеральная насыщенность (у.е., $M \pm m$) | Процент резорбции (ПР %, $M \pm m$) | Размер костного дефекта (мм, $M \pm m$) |
| 28-е | $119,14 \pm 2,59$ | $32,39 \pm 3,14$ | $5,1 \pm 0,23$ |
| 35-е | $128,17 \pm 3,25$ | $22,60 \pm 3,32$ | 0 |
| | $t=2,17$ $p<0,05$ | $t=2,14$ $p<0,05$ (0.048977) | $t=22,17$ $p<0,00001$ |

Полное заполнение дефекта регенератом наблюдалось на 35-е сутки, структура которого напоминала архитектонику костной ткани, однако, несколько меньшего объема (рисунок 9). Динамика рентгенологических показателей регенерации костной ткани также свидетельствовала о консолидации фрагментов челюсти и замещении дефекта сформировавшимся костным регенератом: дефект рентгенологически не прослеживался, показатель минеральной насыщенности ($128,17 \pm 3,25$ у.е., $t=2,17$; $p<0,05$) был приближен к таковым у интактной кости, а показатель резорбции принял минимальное значение за все время наблюдений ($22,60 \pm 3,32\%$, $t=3,10$; $p<0,01$) (таблица 5).

Полученные результаты рентгенографического исследования регенерации костной ткани у лабораторных животных не противоречат имеющимся в мировой литературе данным (Vale et al., 2021). Динамика изменения рентгенографических показателей регенерации костной ткани наглядно показана на рисунке 10, 11 и 12.

Анализ корреляционных моделей по каждому из показателей выявил следующую их взаимосвязь от времени с момента операции: размер костного дефекта и показатель резорбции имели высокую степень обратной, весьма высокой силы, статистически значимую взаимосвязь; показатель минеральной

насыщенности – высокую степень прямой, весьма высокой силы, статистически значимую взаимосвязь. Сложившаяся закономерность свидетельствует о стабильности фиксации фрагментов челюстей и преобладании образования костной ткани над ее резорбцией в зоне костного дефекта.



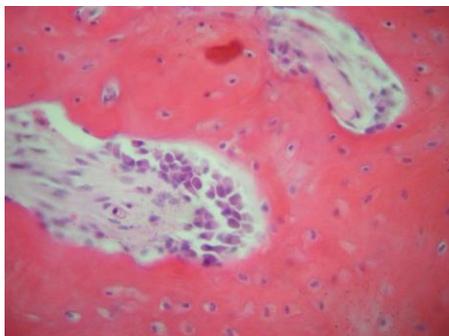
Рисунок 10 – Изменение ширины костного дефекта (мм)



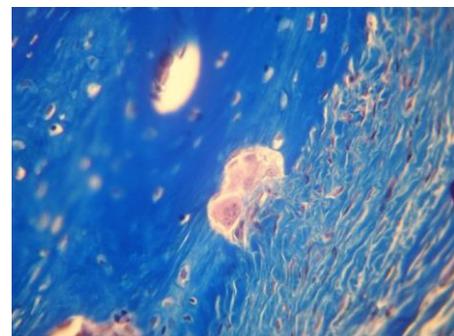
Рисунок 11 – Изменение показателя минеральной насыщенности костной ткани торцов дефекта (у.е.)



Рисунок 12 – Изменение показателя резорбции костной ткани (%)



А



Б

Рисунок 13 – Костный регенерат на 35-е сутки. Окраска гематоксилин-эозином (А), по Masson (Б). Общее увеличение $\times 400$. Наличие рядов остеобластов и остеокластов на поверхности костных трабекул

При микроскопии препаратов биоптата костного регенерата на данном сроке наблюдались признаки интенсивных процессов ремоделирования, где участки лакунарной резорбции кости с рядами остеокластов чередовались с участками отложения молодой костной ткани, где обнаруживались остеобласты. Продолжалась дифференцировка остеоидной ткани в молодую грубоволокнистую костную (рисунок 13).

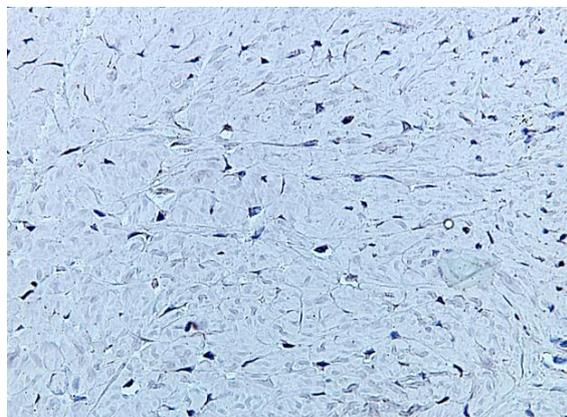


Рисунок 14 – Костный регенерат через 3 месяца после оперативного вмешательства.

Иммуногистохимическая реакция на антитела к Нестину. Докраска гематоксилином Майера. Общее увеличение $\times 400$. Количество нестин⁺ положительных клеток в районе дефекта аналогично показателям зрелой костной ткани

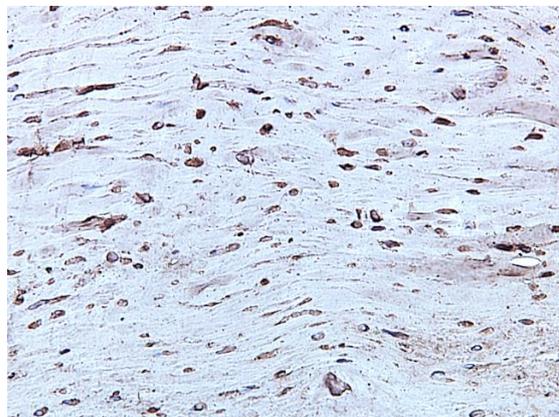


Рисунок 15 – Костный регенерат через 3 месяца после оперативного вмешательства.

Иммуногистохимическая реакция на антитела к коллагену I. Докраска гематоксилином Майера. Общее увеличение $\times 400$. Положительная реакция на коллаген I типа в клетках костной ткани округлой (остеобласты) и вытянутой (фибробласты) формы

По итогам, при гистологическом исследовании новообразованной костной ткани в области дефекта на 84-е сутки, она практически не отличалась от окружающей и представляла собой зрелую пластинчатую костную ткань. Кроме того, о зрелости костной ткани свидетельствовало и снижение количества клеток, продуцирующих нестин⁺ и коллаген I типа, с их сохранением только в области остеогенных зон надкостницы (рисунок 13, 14).

На всем протяжении послеоперационных наблюдений особых изменений в общем и местном статусе у животных отмечено не было. Острые послеоперационные воспалительные явления купировались на 7-е сутки. Швы в области послеоперационной раны в полости рта были полностью сняты на 14-е сутки в связи с полным первичным ее заживлением. На 28-е сутки у 2 животных (10%) был удален экзоскелет в связи с развитием у них нестабильности фиксации аппарата в области остеофиксаторов, при этом патологической подвижности самих фрагментов нижней челюсти не наблюдалось. Кроме того, данное обстоятельство никак не повлияло на дальнейшую динамику регенерации. В связи с полной консолидацией фрагментов нижней челюсти на 35-е сутки, подтвержденной рентгенологически и гистологически, всем остальным животным (18 особей, 90%) также удален экзоскелет нижней челюсти. Послеоперационные раны в области остеофиксаторов зажили вторичным

натяжением в течение недели. Воспалительными реакциями, повышением температуры тела у животных процесс не сопровождался. Выявленные в ходе проведенного исследования гистологические признаки регенерации дефекта костной ткани у собак схожи с таковыми в работах Ананьевой А.Ш. и соавт. (2021), Артемьева Д.А. и соавт. (2022) и Попкова А.В. и соавт. (2022).

Таким образом, разработанный и запатентованный экзоскелет нижней челюсти является многофункциональным и отвечает всем установленным техническим и клинико-анатомическим требованиям. Устройство для закрытого внеочагового остеосинтеза нижней челюсти позволяет осуществить закрытую анатомически точную репозицию, жесткую стабильную фиксацию и компрессию и дистракцию фрагментов, благодаря особенностям строения. Сохранение при этом подвижности нижней челюсти дает возможность более раннего включения в план лечения функциональной нагрузки для оптимизации процессов остеогенеза, восстановления двигательной активности жевательных мышц и устранения посттравматических дисфункциональных нарушений в ВНЧС.

Разработанная техника установки экзоскелета нижней челюсти является миниинвазивной, безопасной, простой и быстрой в проведении. Результаты экспериментального моделирования полного костного дефекта нижней челюсти у лабораторных животных позволили рентгенографически и морфологически обосновать возможность консолидации ее фрагментов при использовании экзоскелета нижней челюсти.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальная модель экзоскелета нижней челюсти сконструирована с учетом особенностей анатомической формы и характера движений нижней челюсти, изготовлена из легких, прочных, биоинертных материалов с возможностью замены при негодности. Процесс сборки, демонтажа и эксплуатации экзоскелета прост, безопасен и занимает в среднем 25 минут.

2. В экспериментах на трупном материале установлено, что наличие вращательным движениям различной амплитуда в пределах шарнирных узлов экзоскелета нижней челюсти позволяет осуществить анатомически точную репозицию нижней челюсти с устранением смещения ее фрагментов во всех плоскостях. При этом возвратно-поступательные движения в узлах экзоскелета позволяют осуществить компрессию и дистракцию фрагментов нижней челюсти. Разработанный оперативный прием является малотравматичным, что позволяет снизить риск послеоперационных осложнений.

3. В ходе экспериментов на 35-е сутки у лабораторных животных наблюдались рентгенологические признаки замещения дефекта нижней челюсти сформировавшимся костным регенератом. При этом показатель минеральной насыщенности ($128,17 \pm 3,25$ у.е., $t=2,17$; $p<0,05$) был приближен к таковым у интактной кости, а показатель резорбции принял минимальное значение за все время наблюдений ($22,60 \pm 3,32\%$, $t=3,10$; $p<0,01$), что свидетельствует о преобладании процессов образования костной ткани над её резорбцией.

4. Результаты морфологического исследования свидетельствовали о том, что на 28-е сутки наблюдалась активная пролиферация и дифференцировка остеогенных клеток с замещением соединительной ткани в области дефекта на остеидную. Признаки образования молодой грубоволокнистой костной ткани и начавшихся в ней процессов ремоделирования были выявлены на 35-е сутки. Благодаря сохранению функции жевательных мышц и ВНЧС в процессе эксперимента, малотравматичной оперативной технике, точной репозиции и стабильной фиксации фрагментов нижней челюсти, поддерживались оптимальные темпы регенерации, что привело к образованию зрелой пластинчатой костной ткани в области дефекта нижней челюсти на 84-е сутки исследования.

Рекомендации по клинической апробации экзоскелета для реконструкции дефектов нижней челюсти

1. Для лечения пациентов с костными дефектами нижней челюсти с нарушением ее непрерывности различного генеза протяженностью 1.5 - 2.0 см может быть использован экзоскелет нижней челюсти.

2. Обследование пациентов должно включать проведение конусно-лучевой компьютерной томографии, фотофиксацию либо 3D сканирование местного статуса с целью дальнейшего компьютерного моделирования анатомозависимых конструктивных элементов экзоскелета, индивидуального подбора их параметров и объемной печати из прочных и биологически инертных материалов. Данное исследование также позволяет выбрать оптимальный, безопасный, малотравматичный оперативный доступ для установки остеофиксаторов.

3. В ранний послеоперационный период создается режим иммобилизации при сохранении подвижности нижней челюсти. В дальнейшем, регулируя силу натяжения упругих элементов, достигается функциональный режим работы экзоскелета, что позволяет восстановить сократительную активность жевательной мускулатуры, устранить посттравматические дисфункциональные расстройства ВНЧС.

4. Особенности устройства закрытого внеочагового остеосинтеза делают возможным использование и компрессии-дистракции для устранения дефектов костной ткани.

5. Рентгенологический контроль репозиции, фиксации отломков нижней челюсти и формирования костного сращения следует проводить на 1, 7, 14, 28, 35 и 84 сутки. При наличии рентгенологических и гистологических признаков консолидации фрагментов нижней челюсти, экзоскелет можно демонтировать с удалением остеофиксаторов в амбулаторных условиях под местной анестезией. Срок лечения таких пациентов должен быть не менее 28-35 суток с последующим диспансерным наблюдением и рентгенологическим контролем вплоть до 84 суток после установки экзоскелета.

Список опубликованных работ по теме диссертационного исследования

1. Саргсян К.А. Клинико-анатомические особенности нижней челюсти для применения ее экзоскелета / Воробьев А.А., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А., Андрющенко Ф.А., Гаврикова С.В. // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова Т. 24. - 2016. - № S2. - С. 37-38.
2. Саргсян К.А. Экзоскелет нижней челюсти - новое направление в челюстно-лицевой хирургии / Воробьев А.А., Фомичев Е.В., Михальченко Д.В., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А. // Вестник Российской военно-медицинской академии. - 2017. - № S3. - С. 39-40.
3. Саргсян К.А. Современные методы остеосинтеза нижней челюсти (аналитический обзор) / Воробьев А.А., Фомичев Е.В., Михальченко Д.В., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А., Гаврикова С.В. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. - 2017. - № 2 (62). - С. 8-14.
4. Саргсян К.А. Клинико-анатомические требования к экзоскелету нижней челюсти / Воробьев А.А., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А., Андрющенко Ф.А., Гаврикова С.В. // Стоматология - наука и практика, перспективы развития Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 55-летию стоматологического факультета ВолГМУ. Главный редактор В.И. Петров. - 2017. - С. 78-81.
5. Саргсян К.А. Возможности использования экзоскелета нижней челюсти при ее переломах / Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А., Гаврикова С.В. // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины Материалы 75-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов ВолГМУ с международным участием. - 2017. - С. 157-158.
6. Саргсян К.А. Первый опыт использования экзоскелета нижней челюсти для устранения ее дефектов в эксперименте / Саргсян К.А. // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины Материалы 75-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов ВолГМУ с международным участием. - 2017. - С. 166.
7. Саргсян К.А. Сравнительный анализ существующих методик хирургического лечения переломов нижней челюсти / Дьяченко Д. Ю., Гаврикова С.В., Саргсян К.А. // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины Материалы 75-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов ВолГМУ с международным участием. - 2017. - С. 154-155.
8. Саргсян К.А. К вопросу восстановления функциональной активности жевательных мышц / Воробьев А.А., Михальченко Д.В., Саргсян К.А., Дьяченко Д.Ю., Гаврикова С.В. // Наука в XXI веке: инновационный потенциал развития. Сборник статей по материалам IV международной научно-практической конференции № 3 (4). - 2017. - С. 74-82.
9. Саргсян К.А. Современный взгляд на этиопатогенез травматического остеомиелита нижней челюсти / Фомичев Е.В., Подольский В.В., Саргсян К.А., Воробьева А.С. // Актуальные проблемы экспериментальной

и клинической медицины Материалы III Международной конференции Прикаспийских государств. - 2018. - С. 192-193.

10. Саргсян К.А. Доклиническое испытание экзоскелета нижней челюсти / Воробьев А.А., Фомичев Е.В., Михальченко Д.В., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А. // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал) Т. 2. - 2018. - № 1. - С. 9-13.

11. Саргсян К.А. Анализ компенсаторных возможностей упругих элементов аппарата экзоскелет нижней челюсти / Воробьев А.А., Михальченко Д.В., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А., Дьяченко С.В. // Таврический медико-биологический вестник Т. 21. - 2018. - № 3. - С. 18-23.

12. Саргсян К.А. Проект "ЭКЗОЧЕЛ". Первые итоги / Воробьев А.А., Михальченко Д.В., Шемонаев В.И., Фомичев Е.В., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А. // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал) Т. 3. - 2019. - № 2-2. - С. 29.

13. Саргсян К.А. Разработка и применение экзоскелета нижней челюсти человека / Воробьев А.А., Михальченко Д.В., Фомичев Е.В., Шемонаев В.И., Саргсян К.А., Дьяченко Д.Ю. // Стоматология. - 2019. - Т. 98. - № S1. - С. 44.

14. Саргсян К.А. Экспериментальное обоснование клинического внедрения экзоскелета нижней челюсти при посттравматических дефектах / Саргсян К.А., Дьяченко Д. Ю. // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 78-й международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. - 2020. - С. 160.

15. Саргсян К.А. Обоснование возможностей упругих элементов аппарата "экзоскелет нижней челюсти" / Воробьев А.А., Македонова Ю.А., Дьяченко Д. Ю., Саргсян К.А. // Российский журнал боли Т. 18. - 2020. - № S. - С. 17-18.

16. Sargsyan K. Study of elastic elements of lower jaw exoskeleton / Vorobiev A.A., Makedonova Yu.A., Dyachenko D.Yu., Sargsyan K., Dyachenko S.V. // Archiv EuroMedica Т. 10. - 2020. - № 2. - С. 125-127.

17. Sargsyan K.A. Mandible exoskeleton – first results of development and implementation / Vorobyev A.A., Makedonova Yu.A., Mikhalchenko D.V., Fomichev E.V., Dyachenko D.Yu., Sargsyan K.A. // Journal of International Dental and Medical Research Т. - 13. 2020. - № 2. - С. 400-406.

18. Саргсян К.А. Динамика остеогенеза нижней челюсти при использовании экзоскелета (по данным эксперимента) / Саргсян К.А. // Теоретические и практические аспекты современной медицины. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня основания медицинского вуза в Крыму. - 2021. - С. 420-421.

Патенты

1. Устройство «Экзоскелет нижней челюсти» (патент на изобретение №2655086 от 23.05.2018 г.)

2. «Устройство для взаимной пространственной ориентации и контроля глубины погружения остеофиксаторов» (патент на изобретение № 2646568 от 05.03.2018г)

Саргсян
Карен Артурович

*«Обоснование использования экзоскелета в реконструктивной
хирургии нижней челюсти»*

3.1.2 – челюстно-лицевая хирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Подписано в печать 00.02.2021 г.

Формат 6

0x84/16. Печать цифровая. Бумага обычная.

Усл.печ.л.1,0. Тираж 100 экз.

Заказ № 0000.