

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кемеровский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

*На правах рукописи*

**Городков Жан Евгеньевич**  
**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПРОТОКОЛА ОСТЕОСИНТЕЗА С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ  
ШАБЛОНОВ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ НИЖНЕЙ  
ЧЕЛЮСТИ**

3.1.2 – челюстно-лицевая хирургия

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

**Научный руководитель:**  
доктор медицинских наук,  
профессор  
Пылков Александр Иванович

Кемерово – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	12
1.1 Развитие методов лечения переломов нижней челюсти.....	12
1.2 Осложнения после на костного остеосинтеза нижней челюсти титановыми пластинами.....	20
1.3 Применение цифрового протокола в лечении переломов нижней челюсти .....	24
Глава 2. Материалы и методы.....	31
2.1 Общая характеристика методов и объектов исследования.....	31
2.2 Материал архивного исследования.....	32
2.3 Материал исследования.....	33
2.4 Клинические методы исследования.....	35
2.5 Лабораторные методы обследования.....	36
2.6 Исследование нейросенсорных нарушений.....	37
2.7 Лучевые методы исследования.....	41
2.8 Проектирование и изготовление ИХШ.....	42
2.9 Применение ИХШ.....	46
2.10 Протокол ведения пациентов.....	48
2.11 Методы комплексной оценки эффективности и целесообразности применения цифрового протокола остеосинтеза нижней челюсти.....	51
2.12 Методы статистической обработки материалов исследования.....	53
Глава 3. Результаты собственных исследований.....	55
3.1 Результаты архивного исследования.....	55
3.2 Структура осложнений на костного остеосинтеза без применения цифрового протокола.....	65
3.3 Анализ нейросенсорных нарушений нижнего альвеолярного нерва.....	66
3.3 Сравнительный анализ осложнений остеосинтеза нижней челюсти с применений цифрового протокола и без него.....	68

3.3.1 Общая характеристика осложнений.....	68
3.3.2 Повреждение канала нижней челюсти фиксирующими винтами.....	69
3.3.3 Повреждение корней зубов и тканей периодонта.....	70
3.3.4 Инфицирование послеоперационной раны и несращение перелома.....	71
3.4 Анализ временных затрат цифрового протокола остеосинтеза.....	72
3.4.1 Сравнительный анализ продолжительности оперативного вмешательства.....	72
3.4.2 Анализ временных затрат на подготовку индивидуального хирургического шаблона.....	73
Глава 4. Обсуждение результатов собственных исследований и заключение.....	74
КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР 1.....	83
КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР 2.....	89
ВЫВОДЫ.....	96
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	97
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	99

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Ежегодно в Российской Федерации регистрируется около 13 миллионов случаев травм и отравлений, что делает данную проблему одной из наиболее значимых в сфере здравоохранения [2]. Особую тревогу вызывает устойчивая тенденция к росту травматических повреждений челюстно-лицевой области, наблюдаемая в последние годы [47, 52]. Специалисты связывают эту динамику с комплексом факторов, включая ухудшение социально-экономических условий, стремительную урбанизацию и увеличение интенсивности дорожного движения, что приводит к росту числа дорожно-транспортных происшествий [5, 21, 46].

Наиболее уязвимой категорией в контексте челюстно-лицевых травм являются лица трудоспособного возраста (25–40 лет), что усугубляет медико-социальные последствия данной патологии [23, 48, 53, 60, 152]. Продолжительная временная нетрудоспособность, риск инвалидизации, а также существенные финансовые затраты, связанные с лечением и реабилитацией пациентов с повреждениями костей лицевого скелета, подчеркивают высокую социально-экономическую значимость этой проблемы [1, 18, 22, 46].

Согласно статистическим данным, челюстно-лицевые травмы составляют от 2,5 до 8,3% всех скелетных повреждений [19, 54, 132]. При этом наиболее распространенными являются переломы нижней челюсти, на долю которых, по данным отечественных и зарубежных исследований, приходится от 64% до 85% всех травм лицевого скелета [7, 50, 88].

В соответствии с клиническими рекомендациями Министерства Здравоохранения РФ «Переломы нижней челюсти» (2025 г., ID:653), накостный остеосинтез с применением титановых мини-пластин признан основным хирургическим методом лечения переломов нижней челюсти со смещением. Данный подход применяется в случаях, когда ортопедические методы лечения оказываются неэффективными или невозможными, а также при наличии

интерпозиции мягких тканей в щели перелома. Несмотря на доказанную эффективность и широкое распространение данной методики в мировой практике, ряд научных публикаций указывает на риск послеоперационных осложнений, связанных с техникой установки фиксирующих конструкций. Среди возможных негативных последствий выделяют: повреждение сосудисто-нервного пучка нижней челюсти, приводящее к невралгии нижнего альвеолярного нерва; интра- и послеоперационные кровотечения с формированием гематом; травматизацию периодонта и корней зубов, что может вызвать развитие травматического периодонтита с последующей потерей зубов и необходимостью удаления фиксаторов; а также нестабильность фиксации костных отломков, ведущую к нарушению окклюзии и присоединению вторичной инфекции.

Учитывая вышеизложенное, особую актуальность приобретают научные изыскания, направленные на оптимизацию протокола остеосинтеза нижней челюсти с использованием титановых пластин. Совершенствование хирургической методики и послеоперационного ведения пациентов с переломами нижней челюсти является важнейшей задачей, решение которой позволит минимизировать риск осложнений и улучшить функциональные и эстетические результаты лечения.

### **Степень разработанности темы**

Проблема лечения переломов нижней челюсти, являющихся наиболее распространенным видом повреждений лицевого скелета, остается в центре внимания челюстно-лицевой хирургии на протяжении многих десятилетий. К настоящему моменту накостный остеосинтез титановыми пластинами является основным методом хирургического лечения прочно вошел в повседневную практику. Таким образом, сама методика оперативного лечения является глубоко разработанной и общепризнанной. Однако, как показал анализ литературы, степень разработанности отдельных аспектов этой проблемы является неравномерной. В частности вопросы, связанные непосредственно с техникой

позиционирования фиксирующих элементов и их влиянием на внутрикостные структуры, исследованы в значительно меньшей степени.

### **Цель исследования**

Повышение эффективности хирургического лечения переломов нижней челюсти за счёт совершенствования методики накостного остеосинтеза, направленного на снижение частоты послеоперационных осложнений

### **Задачи исследования**

1. Провести ретроспективный анализ распространенности и структуры травматических повреждений лицевого скелета среди населения Кемеровской области за период 2015–2020 гг.

2. Изучить частоту осложнений после накостного остеосинтеза при лечении переломов нижней челюсти с акцентом на повреждение внутрикостных структур фиксирующими элементами.

3. Изучить влияние повреждения канала нижней челюсти фиксирующим винтом во время накостного остеосинтеза титановыми пластинами на восстановление функции нижнего альвеолярного нерва.

4. Разработать и внедрить в практику цифровой протокол остеосинтеза нижней челюсти с применением индивидуальных хирургических шаблонов у пациентов с переломами нижней челюсти, а также определить клиническую эффективность предложенного метода лечения и целесообразность его применения.

### **Научная новизна**

Впервые исследована распространенность и характер травматических повреждений лицевого скелета среди населения Кемеровской области.

Впервые изучена структура и характер осложнений, возникающих после проведения накостного остеосинтеза при лечении переломов нижней челюсти, связанных с позиционированием накостных фиксаторов.

Впервые для оценки невропатии нижнего альвеолярного нерва при переломах нижней челюсти применены клинические и инструментальные методы диагностики, а также статистически подтверждена достоверность их использования.

Впервые определена зависимость невропатии нижнего альвеолярного нерва от расположения на костных фиксаторов относительно канала нижней челюсти.

Впервые разработан цифровой протокол остеосинтеза нижней челюсти.

Разработан и введен в практику индивидуальный хирургический шаблон для остеосинтеза нижней челюсти.

Научно обоснована и статистически доказана необходимость применения цифрового протокола с использованием ИХШ в лечении пациентов с переломами нижней челюсти.

### **Теоретическая и практическая значимость исследования**

Разработан и внедрен комплекс практических рекомендаций, позволяющий снизить частоту послеоперационных осложнений у пациентов с переломами нижней челюсти.

Обоснована необходимость применения цифрового протокола при проведении на костного остеосинтеза у пациентов с переломами нижней челюсти.

Применение ИХШ снизило количество осложнений на костного остеосинтеза в сравнении с традиционной методикой.

Комбинация опросника DN4 и измерения электровозбудимости кожи позволяет достоверно диагностировать и отслеживать регресс посттравматических невропатий НАН.

Обоснована значимость позиционирования на костных фиксаторов с учетом архитектоники костной ткани с целью снижения риска повреждения внутрикостных структур.

Результаты настоящей работы позволяют минимизировать риск как интра-, так и послеоперационных осложнений лечения пациентов с переломами отростка нижней челюсти.

### **Методология и методы исследования**

Диссертация выполнена в соответствии с принципами доказательной медицины. Для достижения поставленной цели выполнено ретроспективное архивное исследование 3843 историй болезни пациентов отделений челюстно-лицевой хирургии г. Кемерово и г. Новокузнецк за 2015–2021 гг. Изучены этиология и структура, оценена динамика и рассчитан удельный вес травматических повреждений челюстно-лицевой области.

Выполнено проспективное когортное исследование 275 пациентов на базе ГАУЗ «Кузбасской областной клинической больницы им. С.В. Беляева» отделения челюстно-лицевой хирургии, реконструктивной и пластической хирургии, находившихся на лечении за период 2020 - 2024гг с диагнозом МКБ 10: S02.6 – переломы нижней челюсти.

Достоверность полученных результатов подтверждена статистическими методами.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Накостный остеосинтез без использования интраоперационной навигации приводит к развитию послеоперационных осложнений, связанных с повреждением внутрикостных структур у пациентов с переломами нижней челюсти, а также усугубляет течение нейропатии НАН.

2. Цифровой протокол остеосинтеза нижней челюсти позволяет сократить сроки реабилитации пациентов и уменьшить послеоперационные осложнения.

3. Применение аддитивных технологии позволяет оптимизировать остеосинтез нижней челюсти за счет: точного анатомического позиционирования фиксаторов с учетом индивидуальных особенностей архитектоники

нижней челюсти, минимизации риска ятрогенных осложнений, сокращения времени операции за счет предоперационного моделирования.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

О достоверности результатов диссертационного исследования свидетельствует достаточная выборка архивных данных и обследованных пациентов, применение современных методов исследования, непосредственное участие соискателя в получении исходных данных, использование адекватных методов статистического анализа с помощью программы Statistica Ultimate 13.3 (Лицензия № JPZ902I795306FAACD-Y).

Основные результаты исследования были доложены:

- На XI Межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых «Медицина XXI века» (Новокузнецк 2021г);
- Сибирском научно-практическом форуме «Кузнецкая крепость» (Новокузнецк 2022г);
- II Всероссийском съезде общества специалистов в области челюстно-лицевой хирургии с международным участием «Реконструктивная хирургия челюстно-лицевой области» (Нижний Новгород 2023г);
- V конференция с международным участием «по итогам НИР: наука и практика в стоматологии» (Барнаул 2023г);
- Ярмарка инновационных разработок «Медицина и биотехнологии» (Минск 2023г);
- VI конференция с международным участием «по итогам НИР: наука и практика в стоматологии» (Барнаул 2024г);
- Международный форум молодых ученых (Астана 2024г);
- Всероссийский фестиваль молодежной науки «Трамплин в науку - 2024» (Красноярск, 2024г);
- Конференция клинических случаев «Осложнения в челюстно-лицевой хирургии» (Москва 2024г).

- Межрегиональная научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные проблемы современной стоматологии» (Кемерово, 2025г)

Апробация диссертационной работы проведена 01.07.2024 на совместном заседании сотрудников кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии ФГБОУ КемГМУ Минздрава России.

### **Внедрение результатов в практику**

Предложенный «цифровой протокол остеосинтеза с использованием индивидуальных хирургических шаблонов у пациентов с переломами нижней челюсти» апробирован и внедрен в лечебную деятельность отделения челюстно-лицевой хирургии реконструктивной и пластической хирургии ГАУЗ КО «Кемеровская областная клиническая больница» (Кемерово, 2024г), отделения челюстно-лицевой хирургии МБЛПУ «Городская клиническая больница No1» (Новокузнецк 2025г).

### **Личный вклад автора**

Диссертация является результатом собственных исследований, проведенных на базе кафедры хирургической стоматологии, челюстно-лицевой хирургии ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России.

Автору принадлежит инициатива по совершенствованию методов лечения пациентов с переломами нижней челюсти, сформирована рабочая гипотеза, разработана программа и план проведения исследования. Самостоятельно проведена работа с архивным материалом. Все клинические этапы выполнены лично автором. Также автор принимал участие в наборе и изучении материала лучевых исследований. Автором проведен анализ, интерпретация и изложение полученных данных, их статистическая обработка, формулировка выводов, разработка практических рекомендаций и их внедрение в практическую деятельность челюстно-лицевых стационаров.

## **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 3 - в журнале, рецензируемом ВАК; 2 - патента на полезную модель; 2 - патента на изобретение, 1- методические рекомендации, утвержденные Министерством Здравоохранения Кузбасса.

## **Объем и структура публикации**

Диссертационная работа состоит из «Введения», «Обзора литературы», «Материалы и методы исследования», «Результаты исследования», «Обсуждения результатов собственных исследований», «Заключения», «Выводов», «Практических рекомендаций», «Списка сокращений» и «Списка используемой литературы». Диссертация изложена на 116 страницах машинописного текста, иллюстрирована 47 рисунками, содержит 9 таблиц. Список литературы включает 159 источников (49 отечественных и 110 иностранных).

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Развитие методов лечения переломов нижней челюсти

Переломы костей лицевого черепа являются одними из наиболее часто встречающихся повреждений скелета. Медики давно стремились к тщательному сопоставлению отломков с помощью различных конструкций и приспособлений. В 1825 году J. Rodgers для стабилизации фрагментов нижней челюсти применил серебряную проволоку и достиг консолидации перелома [36]. Этот метод стабилизации получил название "костный шов" и послужил основой для последующих модификаций остеосинтеза данного типа. В 1864 году совершенно новый метод остеосинтеза предложил Rickerstech, который соединил отломки нижней челюсти с помощью металлических гвоздей у двух пациентов (цит. по G. Mahe', 1900) [103]. В 1895 году британский хирург W.A. Lane применил коррозионностойкие пластины, крепившиеся винтами к кости [95]. Применение хирургических методов фиксации отломков было ограничено большим количеством осложнений, и до появления антибиотиков они применялись лишь в исключительных случаях.

Основной упор в лечении переломов нижней челюсти делался на использование различных шинирующих конструкций. Киевский зубной врач С.С. Тигерштедт (1916) предложил применять назубные гнутые шины из алюминиевой проволоки. Эти шины заслужили огромную популярность в России и используются до сих пор [43]. В связи с появлением антибиотиков и новых материалов, совместимых с костной и мягкими тканями, в конце 1950-х - начале 1960-х годов возродился интерес к оперативным способам фиксации костных отломков лицевого скелета.

В этот период были разработаны различные модификации и вариации костного шва нижней челюсти. Для фиксации использовались разнообразные материалы, включая проволоку из нержавеющей стали, толстый кетгут и полиамидные нити.

Исследования М.Б. Швыркова (1963) показали, что полиамидные нити не вызывают воспаления в окружающих тканях и не препятствуют регенерации кости. Однако последующие работы С.М. Соломенного (1967) и Б.Д. Кабакова (1966) продемонстрировали ограниченную эффективность полиамидных нитей и проволочных швов в обеспечении прочной фиксации отломков при различных локализациях и типах переломов [16, 38, 49].

Разработка внутрикостного остеосинтеза была значительно продвинута исследованиями В.И. Лукьяненко (1955-1957). Он впервые использовал металлические стержни собственной конструкции для фиксации отломков нижней челюсти. Это позволило преодолеть негативное отношение к оперативному остеосинтезу нижней челюсти, распространенное среди клиницистов того времени [24–27].

Зарубежные исследователи совершенствовали накостные методы остеосинтеза нижней челюсти, используя жесткие металлические пластины. Эти подходы были развиты в работах различных авторов, включая G.W.Christiansen (1945), J.Case (1959), R.B. Shira(1954), C.E.Pini (1959), O.Hoffer and P.Arlotta (1961), T.G.Battersby (1967) [59, 64, 71, 119, 135].

Некоторые исследователи, такие как A.E. Smith и M. Robinson (1954), J. Levignak (1956), M. Palfer-Sollier (1956) и M. Robinson и C. Yoon (1963), предложили использовать индивидуальные трехгранные пластины. Эти пластины позволяли охватывать край нижней челюсти или фиксироваться в специально пропиленной бороздке в кости. Хотя такие конструкции обеспечивали высокую стабильность остеосинтеза, они были неадаптивными к поверхности кости, что ограничивало их применение [98, 117, 122, 137].

В СССР значительный вклад в развитие накостного остеосинтеза внес Б.Л. Павлов, который стал пионером в этой области. В своих исследованиях (1959, 1963) он использовал стандартные накостные металлические рамки с отверстиями для шурупов по углам. Рамки прикручивались к кости, легко моделировались в соответствии с изгибами нижней челюсти, а "окно" позволяло следить за положением краев отломков при наложении рамки и облегчало

рентгенологический контроль. Б.Л. Павлов неоднократно возвращался к теме накостного остеосинтеза в своих работах 1981, 1983 и 1992 годов [30–32].

Накостные рамки из титана использовали Л. Креекманов (НРБ) в 1967 году, А.В. Клементов в 1968 году и С.Я. Чеботарев в 1990 году. Некоторые авторы пытались усовершенствовать конструкцию пластин для накостного остеосинтеза нижней челюсти, а другие использовали их для компрессии отломков [14, 15, 20].

Идею остеосинтеза, устойчивого в процессе функции, предложил бельгийский хирург R. Danis в 1949 году [73]. В челюстно-лицевой хирургии ее реализовал Н.G. Luhr в 1968 году, предложив использовать компрессионные пластины (CSP). Эти пластины имели эксцентричные отверстия и костные винты с конусными головками. При вкручивании винтов в кость они смещались относительно эксцентрично расположенных отверстий и сжимали отломки. Данная конструкция пластин могла быть использована как для наружного, так и для внутриротового доступа [107, 123, 142, 143, 150].

Впоследствии эти пластины были модифицированы и усовершенствованы, а сама идея вылилась в отдельное направление в челюстно-лицевой травматологии (The ASIF System). Н.G.Luhr (1982) приводит пример 10-летнего опыта применения компрессионных пластин для остеосинтеза нижней челюсти в Северо-западной клинике Гамбурга, более чем у 500 пациентов. Положительными сторонами упомянутых выше пластин является то, что они могут быть использованы практически при любых вариантах переломов нижней челюсти и сложных реконструктивных операциях [101].

Одним из современных методов лечения переломов костей лица сегодня является применение небольших пластин, которые закрепляются к кости при помощи мини-винтов. Этот подход был предложен F.X. Michelet в 1971 году и более подробно описан и обоснован M. Champy в 1976 году [66, 69, 107]. В 1977 году авторы представили результаты 400 случаев использования мини-пластин, обосновали их применение и описали технику хирургического лечения [68]. Принципы метода F.X. Michelet и M. Champy основаны на ма-

тематических и экспериментальных исследованиях, учитывающих анатомические особенности и биомеханику нижней челюсти. Теоретические разработки позволили определить "идеальную линию остеосинтеза" для нижней челюсти [67].

С развитием технологий появились новые методы хирургического лечения переломов костей лицевого скелета, включая применение портативных проволочных устройств с термомеханической памятью формы. В 1979 году В.К.Поленичкиным было представлено первое сообщение о применении фиксирующих устройств из сплава никеля и титана в челюстно-лицевой хирургии. С тех пор эти сплавы и фиксаторы успешно прошли все необходимые испытания и были одобрены для использования. Разнообразные типы фиксирующих устройств, созданные на основе никелида титана, значительно упростили методику остеосинтеза и расширили его возможности. Вариативные формы и размеры фиксаторов (например, скобы, кольца, внутрикостные устройства, плоские фиксаторы, гофрированные спицы и др.) предоставляют хирургам широкий выбор инструментов для эффективного лечения различных видов переломов [33–35]. В 1993 году Ю.А. Медведев успешно использовал мини-скобки из никелида титана весом всего 65,0 мг при лечении переломов скуло-орбитального комплекса. Благодаря новым технологиям были разработаны и внедрены устройства с эффектом памяти формы, что позволило осуществить внутриворотной остеосинтез переломов нижней челюсти [26, 39, 41, 43].

Ключевое требование к современным методам лечения переломов костей лица - это обеспечение функциональной стабильности, то есть способности к активным движениям при физиологической нагрузке. Считается, что этим требованиям наилучшим образом отвечает на костный остеосинтез с использованием титановых минисистем.

В исследованиях, посвященных остеосинтезу костей лицевого скелета, большинство исследователей из зарубежных клиник акцентируют внимание на применении минипластин. Например, G. Szabo (1984) отмечает увели-

чение использования пластин Champy при лечении простых переломов нижней челюсти и предлагает возможность их применения при сложных переломах нижней челюсти и фиксации костных трансплантатов. Он видит преимущества минипластин перед другими методами фиксации, так как они маленькие, гибкие и легко адаптируются к поверхности кости. А. Gary-Bobo в 1984 году также использует минипластины для остеосинтеза повреждений средней зоны лица и предлагает свою терапевтическую тактику лечения [79, 143].

В середине 1980-х годов многие зарубежные исследователи провели сравнительный анализ различных методов лечения переломов нижней челюсти. Они сравнивали консервативные методы с остеосинтезом проволочным швом и оперативной фиксацией при помощи минипластин, отмечая явные преимущества последнего. J.I.Sawood в 1985 году привел 50 клинических примеров успешного применения минипластин при лечении переломов нижней челюсти. Он выделил значительные преимущества остеосинтеза переломов минипластинами по сравнению с другими методами фиксации, подчеркнув более высокую степень его стабильности и положительное влияние на более быстрое восстановление функции нижней челюсти [65].

При лечении переломов нижней челюсти многие зарубежные хирурги предпочитают использовать внутриротный доступ. Например, M. Champy (1986) рекомендует проводить остеосинтез минипластинами через внутриротный доступ, особенно если они предоставляют хотя бы небольшие преимущества по сравнению с другими методами фиксации [69]. В настоящее время многие исследователи считают, что при использовании накостного остеосинтеза пластинами дополнительная иммобилизация с помощью межчелюстного шинирования необоснована, так как она мешает нормальной функции поврежденного органа. Ранее эта точка зрения была иной. Например, авторы, такие как E. Reichenbach (1953) и R.B. Shira (1954), считали, что, даже при надежном и жестком оперативном закреплении отломков, необходимо использовать дополнительную межчелюстную фиксацию [121, 135].

В научных источниках отмечается, что внутриротовой доступ при остеосинтезе переломов нижней челюсти был впервые упомянут в отечественной литературе в работах К. Георгиевой (1962 г.) и Э. П. Гусева (1979 г.). Оба исследователя использовали П-образные скобы собственной разработки [6, 12]. В 1988 году А. С. Артюшкевич впервые в СССР применил титановые минипластины при лечении переломов нижней челюсти через внутриротовой доступ. В дальнейшем, в 1993 году, он провел биомеханическое обоснование данного метода, специализируясь на области альвеолярной части. В своем исследовании он пришел к выводу, что расположение фиксатора выше относительно края челюсти требует меньшей силы для удержания отломков в правильном положении, в то время как его нижнее расположение требует большего запаса прочности. Исследования А.С.Артюшкевича полностью подтвердили аналогичные исследования М.Champy [3, 4].

П. Г. Сысолятин и соавт. (1989, 1991) описали использование сплавов с памятью формы для внутриротового остеосинтеза у 68 пациентов с переломами нижней челюсти. В результате исследования было отмечено, что внутриротовой остеосинтез снизил частоту послеоперационных осложнений до 11,8% и сократил длительность лечения в 1,5 раза по сравнению с традиционными методами [39, 40].

В 1995 году А.В. Титаренко провела анализ использования метода внутриротового остеосинтеза с применением сплавов с памятью формы у 197 пациентов с переломами нижней челюсти. Ее исследование показало, что этот метод оказывается более простым, менее травматичным и сопровождается меньшим количеством послеоперационных осложнений [44, 45].

В мировой практике накоплен значительный опыт использования методов остеосинтеза для лечения переломов лицевого скелета, который заслуживает внимания [56, 62, 72, 89, 96]. Существуют разные системы инструментов и пластин для остеосинтеза, таких как наборы от фирм "Aesculap", "Medicon", "Synthes", "Martin", "Hammacher", а также российский комплект "Конмет", который был использован в проведенных исследованиях.

Отдельным направлением является применение биodeградируемых винтов и пластин. В систематическом обзоре выполненным Lopez J и соавт. (2019) изучалась эффективность и безопасность рассасывающихся пластин при лечении челюстно-лицевых травм у детей. Анализ 19 отобранных исследований, включавших 312 клинических случаев с 443 переломами, показал низкую частоту осложнений: незначительные (5,45%) и серьезные (3,21%), среди которых преобладали инфекции в области операции и экструзия пластин. Авторы пришли к выводу, что рассасывающиеся системы фиксации являются безопасным вариантом для детей, однако подчеркнули необходимость долгосрочных исследований для оценки влияния на рост лицевого скелета, частоты повторных операций и сравнения с титановыми аналогами [100].

Xing Xin и соавт. (2022) в ретроспективном когортном исследовании сравнивалась эффективность рассасывающихся и титановых винтов при остеосинтезе сагиттальных переломов мышцелкового отростка нижней челюсти за период с 2011 по 2021 год. Основными критериями успешного лечения были: восстановление нормального открывания рта и прикуса, отсутствие осложнений (например, симптомов дисфункции ВНЧС) и полная консолидация перелома без резорбции кости по данным КТ. Вторичные критерии включали морфологические изменения мышцелка (высота ветви, переднезадний и медиолатеральный диаметры), оцененные через 1 неделю и 3 месяца после операции. Результаты показали схожую эффективность в обеих группах: осложнения встречались редко, симптомы нарушения функции ВНЧС — у 16,67% и 15,49% соответственно, а значимых различий в анатомических параметрах мышцелка между группами не выявлено. Авторы пришли к выводу, что рассасывающиеся винты являются безопасной и эффективной альтернативой титановым при лечении сагиттальных переломов нижней челюсти [154].

Toschka A и соавт. (2022) в своей работе изучали молибден как перспективный биodeградируемый материал для остеосинтеза в челюстно-лицевой хирургии, поскольку традиционные титановые и стальные имплантаты требуют повторной операции для удаления, а существующие рассасывающи-

еся полимеры и магниевые сплавы часто вызывают нежелательные реакции или неравномерную деградацию. Авторы провели серию экспериментов *in vitro* согласно стандарту ISO 10993-5, демонстрирующих отсутствие цитотоксичности чистого молибдена и его сплавов с рением для фибробластов человека и мыши, а также долгосрочные тесты (до 6 месяцев), подтвердившие достаточную механическую стабильность и равномерную деградацию молибденовых пластин. Результаты свидетельствуют о потенциале молибдена для создания безопасных и эффективных рассасывающихся имплантатов, устраняющих необходимость повторных операций [146].

Verguysse M и соавт. (2023) в системном обзоре анализировали показания и осложнения остеосинтеза титановыми пластинами при лечении челюстно-лицевых травм у детей на фоне растущей популярности биodeградируемых материалов. После систематического поиска в базах данных (3436 исследований) были отобраны 13 статей, охватывающих 340 педиатрических пациентов. Основные осложнения включали: инфекции (6.5%), нарушения прикуса (5%), аномалии прорезывания зубов (8%). Влияние на рост лицевого скелета не удалось оценить из-за короткого и неоднородного периода наблюдения. Выводы авторов: Остеосинтез титановыми пластинами остается надежным методом при сложных переломах у детей (8 из 13 исследований подтвердили его эффективность). Необходимо длительное наблюдение за пациентами для контроля отдаленных последствий. Интерпретация данных требует осторожности из-за высокого риска систематических ошибок в исследованиях и ограниченного периода наблюдения. Авторы подчеркивают, что выбор между титаном и биodeградируемыми материалами должен основываться на индивидуальных показаниях и тщательном взвешивании рисков [147].

Несмотря на значительные достижения в области челюстно-лицевой хирургии и постоянное совершенствование методик костного остеосинтеза, частота послеоперационных осложнений при лечении переломов нижней челюсти продолжает оставаться клинически значимой проблемой.

## **1.2 Осложнения после накостного остеосинтеза нижней челюсти титановыми пластинами.**

Как уже было отмечено ранее, остеосинтез нижней челюсти титановыми пластинами прочно закрепился в клинической практике как один из самых распространенных и эффективных методов лечения переломов лицевого скелета. Однако, несмотря на его широкое применение и признанные преимущества, частота послеоперационных осложнений, по данным различных научных исследований, остается достаточно высокой и может достигать значительных показателей – от 8% до 30% [70, 113, 129]. Возникновение таких осложнений неизбежно влечет за собой целый ряд негативных последствий. Это выражается в развитии стойких функциональных нарушений челюстно-лицевой области, негативных психологических реакциях у пациентов, существенном увеличении продолжительности как основного этапа лечения, так и последующей реабилитации. В конечном итоге, совокупность этих факторов закономерно приводит к выраженному снижению качества жизни пострадавших.

Одним из наиболее часто регистрируемых осложнений, возникающих после проведения накостного остеосинтеза, безусловно, является инфицирование послеоперационной раны [58].

Odom E. и соавт. (2016) в исследовании 395 пациентов выявили общую частоту осложнений после накостного остеосинтеза в 17,5%, включая 9,4% инфекционных случаев у взрослых. У детей (n=56) осложнения встречались реже (5,6%). Временной интервал до операции, пол и адентия не влияли на исходы [115].

Soriano E. и соавт. (2005) исследовали влияние зуба мудрости в линии перелома на инфекционные осложнения у 72 пациентов с переломами угла нижней челюсти. При наличии третьего моляра (n=30) осложнения развивались в 16,6% случаев, при его отсутствии (n=42) — в 9,5%. Во всех случаях с зубом мудрости выявлен предоперационный инфекционный очаг. Авторы

установили, что переломы угла челюсти сами по себе повышают риск инфекций, а наличие зуба мудрости в линии перелома увеличивает его [139].

Многие авторы сходятся во мнении, оценивая риски развития вторичной инфекции, что способ хирургического доступа (интраоральный – через слизистую оболочку полости рта, или экстраоральный – через кожные покровы) сам по себе не является определяющим фактором. По данным исследований [77, 131], шансы инфицирования при использовании обоих доступов оцениваются как приблизительно равные.

Целью ретроспективного исследования, проведенного Yamamoto M. К. и соавт. (2013), была комплексная оценка клинических характеристик и видов хирургического лечения, потребовавшихся пациентам, у которых возникла необходимость в повторном оперативном вмешательстве по поводу переломов нижней челюсти. Авторы указывают, что в подавляющем большинстве ситуаций, требующих повторного хирургического вмешательства при переломах нижней челюсти, причиной были либо несращение перелома, либо инфекционный процесс в мягких тканях, спровоцированный нестабильностью фиксации (ослаблением винтов) или непосредственным обнажением пластины. Соответственно, основными видами необходимых хирургических манипуляций являлись либо новая стабильная фиксация отломков, либо удаление фиксирующего материала с санацией очага инфекции [155].

Вопрос о влиянии ятрогенного повреждения нижнего альвеолярного нерва (НАН) титановыми винтами при остеосинтезе на регенеративный потенциал нервной ткани был экспериментально изучен Neudarian F. и соавт. (1980). На модели животных исследователи детально изучали процессы регенерации и дегенерации как в проксимальном, так и в дистальном отрезках нерва, подвергнувшегося травматизации винтами, используемыми для фиксации костных отломков. Авторы делают важный клинический вывод: раннее удаление винта, травмирующего нервный ствол, оказывает положительное влияние на восстановление его функции и регенеративный потенциал [85].

Исследование Тау А.В.Г. и соавт. (2015) преследовало две основные цели: определить распространенность повреждения нижнего альвеолярного нерва у пациентов с переломами нижней челюсти как до начала лечения, так и после его завершения, а также выявить факторы, влияющие на частоту посттравматических и ятрогенных повреждений НАН и сроки восстановления нормальной чувствительности в зоне его иннервации. Авторы указывают, что распространенность повреждения НАН (по данным объективного тестирования) составила 33.7% до начала лечения и возросла до 53.8% после проведения лечебных процедур [144].

Исследование Song Q. и соавт. (2014) было посвящено анализу нейро-сенсорных нарушений, затрагивающих как нижний альвеолярный нерв, так и его конечную ветвь – подбородочный нерв, возникающих после хирургического лечения переломов нижней челюсти. Авторы также провели тщательное выявление и оценку факторов риска, ассоциированных с развитием этих нежелательных изменений чувствительности. Применение многофакторного статистического моделирования позволило выделить ключевые предикторы такого ухудшения. Ими оказались: использование техники остеосинтеза с фиксацией двумя титановыми пластинами (по сравнению с одной), наличие смещения костных отломков на величину 5 мм и более, а также выполнение операции хирургом с недостаточным уровнем опыта. Авторы акцентируют внимание на том, что ухудшение чувствительности после операции, особенно если оно стойкое, является серьезным осложнением для пациента и потенциально может стать предметом судебных разбирательств по поводу качества оказанной медицинской помощи [138].

В работе Valaji P. и соавт. (2017) подчеркивается, что процесс установки фиксирующих винтов при остеосинтезе челюстей сопряжен с определенным, хотя и небольшим, риском случайного повреждения корня зуба, которое может иметь различные клинические последствия. При сравнительном анализе рентгенологических данных выяснилось, что около 6.3% винтов были отнесены к категории потенциально опасных, так как располагались в непосред-

ственной близости от верхушек корней или их поверхностей. И лишь у очень небольшой части винтов (0.28%) были обнаружены рентгенологические признаки непосредственного контакта с корнями зубов, указывающие на их возможное повреждение [57].

Pabst A. и соавт. (2019) провели ретроспективный анализ, направленный на сравнение частоты травм корней зубов, вызванных двумя типами винтов: винтами для межчелюстной фиксации (ИМФ-винты) и винтами, используемыми непосредственно для остеосинтеза (операционные винты). Анализ показал, что 9 повреждений (56.3%) были вызваны винтами для межчелюстной фиксации (ИМФ), а 7 повреждений (43.8%) – операционными винтами для остеосинтеза. Из поврежденных зубов три утратили жизнеспособность (потребовалось эндодонтическое лечение), а один зуб впоследствии пришлось удалить [116].

Важно понимать, что использование коротких монокортикальных винтов, хотя и считается менее инвазивным, также не исключает риска травмирования корней зубов. Более того, даже без прямого контакта, винт может косвенно повредить ткани зуба, нарушая его апикальное кровоснабжение. На этот аспект указывают Griemel O. и соавт. (2005) в своем исследовании. Авторы не только классифицировали различные типы травм корней зубов, вызванных именно монокортикальными винтами, но и предложили дифференцированные варианты лечения в зависимости от типа и тяжести диагностированного повреждения. Также они оценили долгосрочную вероятность сохранения жизнеспособности зуба и его прогноз после подобной ятрогенной травмы. За 11-летний период наблюдения 380 пациентам с полностью сформированным постоянным прикусом был выполнен остеосинтез мини-пластинами по поводу переломов нижней челюсти. У 29 из этих пациентов (7.6%) произошла травма корня зуба, непосредственно связанная с технической ошибкой при сверлении кости под винт. Данные пациенты находились под динамическим клиническим и рентгенологическим наблюдением в течение как минимум 38 месяцев после операции [75].

Проведенный обзор доступной мировой литературы позволяет констатировать, что существует относительно мало специализированных источников, посвященных углубленному анализу специфических осложнений, связанных непосредственно с техникой позиционирования на костных фиксаторов при переломах нижней челюсти. К таким осложнениям относится, в частности, ятрогенное повреждение КНЧ, содержащего НАН. Также недостаточно изучена и требует дальнейших исследований проблема выявления четкой взаимосвязи между развитием стойких нейросенсорных нарушений в зоне иннервации НАН и фактом нахождения фиксирующего винта в просвете КНЧ или в непосредственной близости от него.

Отдельным направлением совершенствования остеосинтеза нижней челюсти с целью снижения послеоперационных осложнений, является развитие аддитивных технологий и программного обеспечения с целью виртуального планирования оперативного вмешательства.

### **1.3 Применение цифрового протокола в лечении переломов нижней челюсти.**

В современной практике применение хирургических шаблонов, созданных на основе принципов стериолитографии имеют доказательную эффективность при плановых хирургических вмешательствах: ортогнатическая хирургия [84, 106, 109, 150, 158], реконструктивная хирургия при посттравматических деформации костей лицевого скелета [55, 99, 156], при удалении новообразований челюстно-лицевой области [78, 110, 151], дентальная имплантация [81, 82, 90, 91, 124].

Но в экстренной хирургической помощи при травматических повреждениях костей лицевого скелета, при анализе зарубежной и отечественной литературы, определяется не так много данных. Исследования в данной области проводятся по всему миру.

Исследование Wagner J. D. и соавт. (2004) стало одним из первых, продемонстрировавших применение 3D-прототипирования для хирургического

лечения переломов нижней челюсти. Авторы использовали данные КТ для создания стереолитографических моделей, что позволило предоперационно редуцировать переломы и адаптировать реконструктивные пластины. Этот подход сократил время операции за счет исключения этапа контурирования пластин в операционной, улучшив точность реконструкции. Модели создавались на госпитальном 3D-принтере за несколько часов, что сделало технологию доступной для экстренных случаев. Исследование подчеркнуло важность глобальной визуализации анатомии, что минимизировало риск послеоперационных смещений. Авторы прогнозировали, что снижение стоимости 3D-принтеров ускорит их внедрение в клиническую практику, что подтвердилось последующими исследованиями [149].

В работе Oren M. Terper (2011) автор применяет виртуальное трехмерное моделирование в реконструкции челюстно-лицевой области после травмы. Указывается о сложностях при множественных повреждениях костей лицевого скелета: значительной потерей мягких тканей, множественными костными осколками, ухудшением кровоснабжения и инфицированием раны. Традиционные методы могут не обеспечивать истинную трехмерную оценку репозиции костных фрагментов. Авторы описывают три фазы виртуальной хирургии: планирование, моделирование и хирургический этап. В фазе планирования стандартные компьютерные томографические данные загружаются в программу 3D-моделирования. Хирург может манипулировать трехмерными моделями, выравнивая смещенные костные осколки. Затем в фазе моделирования создаются хирургические направляющие, которые могут быть использованы в ходе операции для репозиции костных фрагментов. В хирургической фазе виртуальный хирургический план реализуется в операционной [145].

Применение хирургических шаблонов возможно и при остеосинтезе спицей Киршнера. Dong Z. и соавтр. (2015) в научной статье рассказывается о том, как использование технологии трехмерной печати может помочь в хирургическом лечении переломов суставного отростка у подростков. В данной статье описывается лечение перелома суставного отростка нижней челюсти у

14-летней пациентки. Перед операцией хирурги создали хирургические шаблоны с помощью программы виртуального планирования изготовили его с помощью 3D-печати. Благодаря этому шаблону им удалось точно синтезировать перелом при помощи спицы Киршнера, избежав при этом дополнительного разреза и повреждения тканей [74].

Планирование хирургической операции, а также хирургического шаблона основано прежде всего на возможностях программного обеспечения. Совершенствование инструментов виртуальной репозиции моделей фрагментов нижней челюсти описано Voss J. O. и соавтр. (2015г). Авторы отмечали необходимость внедрение виртуальной репозиции переломов на основе компьютерной томографии в качестве ключевой функции планирования у пациентов с двухсторонними перелома нижней челюсти. Этот подход позволяет врачам визуализировать переломы на основе компьютерной томографии и использовать специальное программное обеспечение для виртуального репозиции костных фрагментов в правильное положение. Это позволяет более точно планировать операцию и уменьшить риски ошибок [148].

В клиническом примере, описанном Ma J. и соавт. (2017) говорится о сложной задаче лечения оскольчатых переломов нижней челюсти, даже для опытных хирургов. В представленной работе, авторы описывают методику остеосинтеза оскольчатого перелома нижней челюсти. Суть метода заключается в виртуальной репозиции костных фрагментов нижней челюсти в специализированной программе. На основании полученной целостной модели нижней челюсти моделируется и изготавливается на 3D принтере сетчатый имплант из титана желобоватой формы. Данным индивидуальный имплант предназначен для точного репозиции костных фрагментов нижней челюсти, фиксации их в правильном положении на весь период консолидации. Авторы отмечают, что после консолидации костных фрагментов, необходимо повторное оперативное вмешательство с целью удаления сетчатого импланта [102].

Kokosis G. и соавт. (2017) описали применение CAD/CAM-технологий для реконструкции сложных переломов нижней челюсти. Используя вирту-

альное планирование (Synthes Proplan CMF), команда создавала индивидуализированные титановые пластины, которые изготавливались сторонними производителями. Несмотря на высокую точность и снижение необходимости в экстраоральных разрезах, процесс занимал 7 дней, что ограничивало его применение при острых травмах. В исследовании участвовали пациенты с огнестрельными и взрывными повреждениями, где предварительно изогнутые пластины служили шаблоном для редукиции [94].

King B. и соавт. (2018) провели проспективное когортное исследование, сравнивая традиционные методы остеосинтеза с использованием 3D-печатных моделей. Локальная 3D-печать (Ultimaker 2+) позволила сократить время адаптации пластин с 22,8 до 6,9 минут, снизив стоимость операции. Модели создавались из PLA-пластика, а переломы редуцировались *ex vivo*. Недостатком метода стало отсутствие учета окклюзии при печати, что в 21% случаев требовало коррекции пластин интраоперационно. Тем не менее, технология доказала рентабельность при стартовых небольших финансовых затратах [92].

Клинический пример применения цифрового протокола при двухстороннем переломе было представлено в работе Huang Y. и соавт. (2019). Авторы указывают, что при этом даже для опытного хирурга достижение точного сопоставления костных фрагментов остается сложной задачей из-за подвижности височно-нижнечелюстного сустава, нестабильных переломов сегментов, трудностей с формированием восстановительной пластины и отсутствия эффективного стабилизирующего и фиксирующего устройства. В данной статье описывается применение модифицированного цифрового хирургического руководства, окклюзионного шаблона и предварительно сформированной титановой пластины для реконструкции при открытом вправлении и внутренней фиксации двустороннего перелома нижней челюсти. В данном случае хирург использовал специально разработанную модифицированную направляющую вместе с пластиной для реконструкции и окклюзионным шаблоном для лечения двустороннего перелома нижней челюсти, что значительно повысило

точность и медицинские результаты операции, сэкономило время на операцию и уменьшило послеоперационные осложнения [87].

Marschall J. S. и соавт. (2019) разработали внутрибольничный цифровой рабочий процесс для лечения острых переломов нижней челюсти. Используя FDA-одобренное ПО (Mimics, 3-matic), авторы сегментировали КТ-данные, виртуально редуцировали переломы и печатали модели на 3D-принтере за 1,5 часа. Предоперационная адаптация пластин к напечатанной модели сократила время операции на 45 минут по сравнению с традиционными методами. Ключевым преимуществом стала возможность оценки симметрии и окклюзии в 3D-формате, что повысило точность репозиции. Авторы отметили, что стоимость модели окупалась за счет снижения затрат на операционное время [105].

Использование сплинтов, изготовленных на 3D принтере в лечении переломов нижней челюсти описывают в своей работе Ramanathan M. и соавт. (2020). Пациентам с переломом нижней челюсти проводилось МСКТ костей лицевого скелета (шаг сканирования 0,6мм), после файлы DICOM конвертировались в объемную модель, далее выполнялись сканирование полости рта с помощью интраорального сканера 3 Shape TRIOS®. Совмещение полученных данных, виртуальная репозиция костных отломков и проектирование спланта проводилось с помощью программного обеспечения GEOMAGIC®. Авторы оценивали стояние костных фрагментов после остеосинтеза, окклюзионные взаимоотношения взаимоотношения во время операции и в послеоперационном периоде. Отмечается более точное стояние костных фрагментов, меньшая степень нарушения окклюзионных взаимоотношений в группе пациентов, у которых использовались сплинты [120].

Zhao L. и соавт. (2021) сравнили три метода лечения переломов нижней челюсти: виртуальное планирование, шаблоны для пластин, моделирование пластин); частичное виртуальное планирование (репозиция и моделирование пластин без шаблонов); только виртуальная репозиция. Наилучшие результаты по симметрии и положению фрагментов - в 1 группе Все группы оце-

нивались по МСКТ, открыванию рта и удовлетворённости пациентов. Авторы пришли к выводу, что комплексное виртуальное планирование с шаблонами даёт лучшие анатомические результаты [159].

Saleh H и соавт. (2024г) представили исследование, в котором изучали эффективность использования индивидуализированных V-образных пластин, изготовленных с помощью CAD/CAM (компьютерное проектирование и производство), по сравнению со стандартными минипластинами для фиксации в случаях переломов угла нижней челюсти. Авторы пришли к следующим выводам, что CAD/CAM пластины, будучи индивидуализированными, обеспечивают более точную анатомическую адаптацию к контурам челюсти пациента; предварительно изготовленные пластины требуют меньше времени для настройки и установки в процессе операции, что сокращает общее время хирургического вмешательства; пациенты, которым устанавливали индивидуализированные пластины, имели меньше осложнений, таких как непрочность фиксации или воспаление, по сравнению с пациентами, получившими стандартные минипластины [127]

Изучая доступную научную литературу, стоит отметить о заинтересованности мирового сообщества в разработках цифрового протокола лечения переломов нижней челюсти с использованием хирургических шаблонов. Определяется совершенствование как программного обеспечения для планирования оперативного вмешательства, так и конструкции хирургических шаблонов для позиционирования накостных фиксаторов, отломков нижней челюсти. Авторы отмечают о положительных результатах использования навигационного хирургии в сравнении с классической методикой остеосинтеза и указывают о необходимости изучения данной области. В связи с чем появилась настоятельная необходимость в разработке и изучении применения цифрового протокола при остеосинтезе нижней челюсти при переломах.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Общая характеристика методов и объектов исследования

Настоящее диссертационное исследование представляет собой комплексную работу, включающую ретроспективный анализ данных и проспективные когортные исследования. Исследование проводилось на базе отделения челюстно-лицевой хирургии, реконструктивной и пластической хирургии ГАУЗ «Кузбасской областной клинической больницы им. С.В. Беляева».

Исследование включало в себя последовательное выполнение следующих этапов:

1. На первом этапе выполнен ретроспективный анализ повреждений челюстно-лицевой области населения Кузбасса ( $n=3843$ ). На данном этапе необходимо было изучить и оценить распространенность, динамику и структуры травматических повреждений челюстно-лицевой области Кузбасса, в том числе определить долю переломов нижней челюсти от общего количества повреждений костей лицевого скелета.

2. Второй этап посвящен исследованию осложнений остеосинтеза нижней челюсти, связанных с позиционирование накостных фиксаторов при переломах, а также выявление зависимости восстановления функции НАН от положения фиксирующего винта. Было выполнено остеосинтез нижней челюсти с использованием титановых пластин у 142 пациентов с диагнозом перелом нижней челюсти со смещением.

3. Третий этап включал разработку цифрового протокола остеосинтеза нижней челюсти. Оригинальность данного протокола подтверждена двумя патентами на изобретение и двумя патентами на полезную модель [15–18].

4. На четвертом этапе проводилось внедрение в практику цифрового протокола. Было прооперировано 133 пациента с переломами нижней челюсти с применением индивидуальных хирургических шаблонов. Был выполнено исследование осложнений остеосинтеза данной группы пациентов и проведен сравнительный анализ с группой пациентов, прооперированных без

цифрового протокола. Также была проведена оценка трудозатрат на применение цифрового протокола.

Было получено одобрение Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» №275/2 от 10.11.2021г на проведение исследования.

## **2.2 Материал архивного исследования**

Выполнен ретроспективный анализ динамики переломов черепа и лицевых костей (диагноз по МКБ-10 S02) по данным материалов официальной статистики, предоставленных ГАУЗ «Кузбасский медицинский информационно-аналитический центр» (ГАУЗ «КМИАЦ»): формы № 57 «Сведения о травмах, отравлениях и некоторых других последствиях воздействия внешних причин» в период за 2015–2020 гг. В исследование было включено 22745 случаев травматических повреждений, зарегистрированных на территории Кемеровской области.

Кроме этого, изучено 3843 медицинских карт стационарных больных (форма № 003/у) и статистических карт пациентов (форма № 066/у-02) отделения челюстно-лицевой хирургии, реконструктивно-пластической хирургии «Кузбасской областной клинической больницы имени С. В. Беляева» и отделения челюстно-лицевой хирургии «Новокузнецкой городской клинической больницы № 1 имени Г.П. Курбатова» в период с 2015 по 2020 годы. Данные государственные лечебные учреждения являются единственными в Кемеровской области, которые осуществляют специализированную, в том числе высокотехнологичную, медицинскую помощь по лечению заболеваний ЧЛЮ. Критериями включения в исследование были диагнозы МКБ-10: S02.3 – перелом дна глазницы, S02.4 – перелом скуловой кости и верхней челюсти, S02.6 – перелом нижней челюсти, S02.7 – множественные переломы черепа и лицевых костей. Изучались этиология и структура, оценена динамика и рассчитаны удельный вес травматических повреждений; при изучении истории болезни с диагнозом S02.4 патология разделена на две отдельных нозологии: пере-

лом верхней челюсти и перелом скуловой кости и дуги. В историях болезней с диагнозом S02.7 рассмотрены только множественные переломы костей лицевого скелета. Пациенты были ранжированы по возрасту согласно классификации ВОЗ от 2016 г. на следующие группы: 0-17 лет, 18–44 года, 45–59 лет, 60–74 года, 75–90 лет, старше 90 лет; распределялись по социальному статусу и половой принадлежности.

### 2.3 Материал исследования

Выполнены проспективные когортные исследования осложнений на костного остеосинтеза 275 пациентов на базе ГАУЗ «Кузбасской областной клинической больницы им. С.В. Беляева» отделения челюстно-лицевой хирургии, реконструктивной и пластической хирургии, находившихся на лечении в период 2021 – 2023 гг с диагнозом МКБ 10: S02.6 – переломы нижней челюсти.

Для включения пациентов в исследование были определены критерии, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Критерии включения и исключения пациентов в исследование:

Условия включения:	Условия исключения:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Линейные односторонние переломы нижней челюсти на уровне <i>canalis mandibulae</i> со смещением</li> <li>• Величина смещения костных фрагментов не более 5мм [83, 144].</li> <li>• Время от момента травмы до на костного остеосинтеза не более трех суток.</li> <li>• Сохранение смещения костных фрагментов после ортопедических методов лечения.</li> <li>• Наличие нейросенсорных нарушений, болевого симптома в области нижней губы и кожи подбородочной области после получения травмы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Психические заболевания.</li> <li>• Наличие сопутствующей патологии, влияющей на восстановление костной и нервной ткани.</li> <li>• Наличие в анамнезе нейросенсорных нарушений тройничного нерва.</li> <li>• Наличие в анамнезе переломов нижней челюсти на уровне КНЧ.</li> <li>• Несоблюдение рекомендаций во время стационарного и амбулаторного лечения.</li> <li>• Беременность.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Устранение смещения костных фрагментов н/ч после проведенного на- костного остеосинтеза.</li> <li>• Расположение титановых пластин со- гласно идеальным линиям остеосин- теза</li> <li>• Возраст от 18 до 60 лет.</li> <li>• Информированное согласие на про- ведение предлагаемого исследования.</li> </ul>	
---	--

Определялась структура осложнений на костного остеосинтеза, связанных с позиционированием на костных фиксаторов (повреждение фиксирующими винтами канала нижней челюсти, корней зубов и тканей периодонта, нестабильность костных фрагментов), у пациентов прооперированных стандартным методом (n=142). Отдельно рассматривалась зависимость восстановления функции нижнего альвеолярного нерва от положения фиксирующего винта. Для этого пациенты были разделены на две группы: I группа (n=56) – пациенты, у которых после оперативного вмешательства диагностировалось рентгенологически повреждение КНЧ; II группа (n=86) – пациенты, у которых данное повреждение не диагностировалось.

Демографические данные пациентов исследуемых групп представлены в таблице 2.

Таблица 2. Демографические данные пациентов с повреждением канала нижней челюсти и без него.

Демографические данные		Группы	
		I (n=56)	II (n=86)
Возраст, полных лет	М (SD)	30,2 (7,6)	34,7 (10,5)
	Me [IQR]	31 [24,5-33]	33 [27-41]
	min-max	18-46	18-59
Пол, абсолютное количество/n (%)	Мужчины	51/56 (91,1%)	74/86 (86,0%)
	Женщины	5/56 (8,9%)	12/86 (14,0%)

После разработки цифрового протокола остеосинтеза нижней челюсти, включение пациентов в исследование по изучению структуры осложнений проводилась по тем же критериям. Было прооперировано 133 человека. Иссле-

дование нейросенсорных нарушений у данной категории пациентов не проводилось. Демографические данные пациентов, прооперированных с применением цифрового протокола остеосинтеза и без него представлены в таблице 3. Таблица 3. Демографические данные, пациентов прооперированные с применением цифрового протокола и без него:

Демографические данные		Группы	
		I (n=142)	II (n=133)
Возраст, полных лет	M (SD)	32,9 (9,7)	35,2 (10,7)
	Me [IQR]	32 [26-37]	34 [28-41]
	min-max	18-59	18-60
Пол, абсолютное количество/n (%)	Мужчины	125/142 (88,0%)	119/86 (89,5%)
	Женщины	17/142 (12%)	14/86 (10,5%)

## 2.4 Клинические методы исследования

При проведении обследования использовались клинические методы определения общего и локального статуса: опрос и осмотр пациента с применением стандартной методики и необходимого набора инструментов в соответствии с медицинской картой стационарного больного (форма No 003/у, утвержденная приказом Минздрава СССР от 04.10.1980г. No1030).

По клиническим признакам (сохранение или отсутствие сознания, контактность пациента, характер дыхания, пульса, уровень АД, мышечная защита или боль при пальпации органов брюшной полости) оценивалось общее состояние пациента. Исключалось повреждение других анатомических областей. Определялось нарушение конфигурации лица.

Проводилась пальпация в симметричных точках нижней челюсти для определения наличия или отсутствия костных выступов, дефектов кости, болезненных участков.

Определялась амплитуду движений нижней челюсти, уменьшение которой может свидетельствовать о переломе. Отмечалось смещение подбородка в сторону перелома при открывании рта. Оценивался прикус, чаще всего нарушенный при переломе. Проводилась перкуссию зубов, между которыми проходит щель перелома.

Диагностировались рваные раны слизистой оболочки альвеолярной части, которая распространяется в межзубной промежутки, что указывает на расположение щели перелома.

После проведенного накусного остеосинтеза анализ прикуса проводился путем визуального определения характера смыкания зубных рядов в положении центральной окклюзии, выявления преждевременных контактов и окклюзионных нарушений. Субъективные ощущения пациента также учитывались. Нарушение прикуса расценивалось как маркер недостаточной репозиции отломков или несостоятельности остеосинтеза. Проводился осмотр слизистой оболочки преддверия и собственно полости рта на предмет наличия воспалительных изменений. Зубы, находящиеся в зоне перелома, а также которые были повреждены фиксирующими винтами подвергались тщательному обследованию с применением комплекса методов: визуальный осмотр на предмет изменения положения, цвета коронки (розовый оттенок как признак разрыва сосудисто-нервного пучка), наличия трещин; перкуссия для выявления болезненности, указывающей на воспалительный процесс в периапикальных тканях; определение подвижности по классификации Энтина; электроодонтодиагностика (ЭОД).

## **2.5 Лабораторные методы обследования**

Всем пациентам, госпитализируемым в стационар, согласно стандартам медицинских технологий, утвержденным Департаментом охраны здоровья Кемеровской области 15.08.2007г., проводился стандартный комплекс параклинического обследования, включающий:

- общий анализ крови;
- биохимический анализ крови;
- анализ свертываемости крови (коагулограмма);
- анализ крови на сифилис, вирус гепатита В, С, иммунодефицита человека;
- общий анализ мочи;
- анализ кала на яйца гельминтов и простейших;

- определение группы крови с фенотипированием и резус-фактор.

Пациентам, с клиникой инфицирования послеоперационной раны, проводились исследования отделяемого на микрофлору и чувствительность к антибиотикам.

## **2.6 Исследование нейросенсорных нарушений**

Диагностика нейросенсорных нарушений НАН проводилась с помощью опросника DN4 - Douleur Neuropathique en 4 Questions (Bouhassira и соавт., 2005) и измерения электровозбудимости кожи нижней губы и подбородочной области. DN4 включает следующие элементы:

1. Характер боли: опрашивали, является ли боль жгучей, колющей, или ощущается как электрические разряды.
2. Сопутствующие симптомы: спрашивали о наличии симптомов, таких как онемение, покалывание, зуд и т.д.
3. Расположение боли: проверяется, чувствует ли пациент боль в тех местах, где обычно проявляется нейропатическая боль.
4. Ответ на стимуляцию: оценивается, как боль реагирует на прикосновения и другие стимулы.

Опросник состоит из десяти пунктов (рисунок 1). При наличие указанного симптома начислялся один балл.

<b>СОБЕСЕДОВАНИЕ С ПАЦИЕНТОМ</b>			
Соответствует ли боль, которую испытывает пациент, одному или нескольким из следующих определений?			
1.	Ощущение жжения	Да	Нет
2.	Болезненное ощущение холода	Да	Нет
3.	Ощущение как от удара током	Да	Нет
Сопровождается ли боль одним или несколькими из следующих симптомов в области ее локализации?			
4.	Пощипыванием, ощущением ползания мурашек	Да	Нет
5.	Покалыванием	Да	Нет
6.	Онемением	Да	Нет
7.	Зудом	Да	Нет
<b>ОСМОТР ПАЦИЕНТА</b>			
Локализована ли боль в той же области, где осмотр выявляет один или оба следующих симптома:			
8.	Пониженная чувствительность к прикосновению	Да	Нет
9.	Пониженная чувствительность к покалыванию	Да	Нет
Можно ли вызвать или усилить боль в области ее локализации:			
10.	Проведя в этой области кисточкой	Да	Нет
Сумма баллов (количество ответов «Да»): _____			

Рисунок 1. Опросник DN4.

Если сумма составляет 4 и более баллов, это указывает на то, что боль у пациента является нейропатической, или имеется нейропатический компонент боли [61]. Данное обследование проводилось после иммобилизации костных фрагментов перед остеосинтезом и через 1 год после. Полученные данные заносились в сводную таблицу.

Инструментальная диагностика повреждения НАН проводилась с помощью измерения электровозбудимости кожи (ЭВК) нижней губы аппаратом АВЕРОН (Россия) (рисунок 2).



Рисунок 2. Аппарат АБЕРОН.

Выбор измерения ЭВК в качестве диагностического метода нейропатии основан том, что на электрический раздражитель реагируют ноцицепторы — специализированные рецепторы боли, которые воспринимают вредоносные стимулы, такие как механическое, термическое или химическое воздействие. При этом активируются как полимодальные ноцицепторы, которые чувствительны к различным типам стимулов, так и механорецепторы и терморелепторы, в зависимости от силы и характера электрического тока. Таким образом, электрический раздражитель вызывает комплексное воздействие на нервные окончания, что приводит к активации нескольких типов рецепторов, воспринимающих болевые и тактильные ощущения [112].

Определение ЭВК по следующей методике: кожу в исследуемой области предварительно обрабатывали 70%-м раствором этилового спирта для улучшения электрического контакта и дезинфекции. Проводилось построение условных квадрантов на лице пациента при помощи трех точек: середина расстояния от нижней губы до выступающей части подбородка — точка А, середина расстояния от угла рта до края нижней челюсти — точка В, при соединении этих точек образуется горизонталь. Точка С располагалась на середине расстояния половины нижней губы. Вертикаль, опущенная из точки С, пересекала горизонтальную линию и образовывались 1-я, 2-я, 3-я и 4-я условные зоны (рисунок 3).

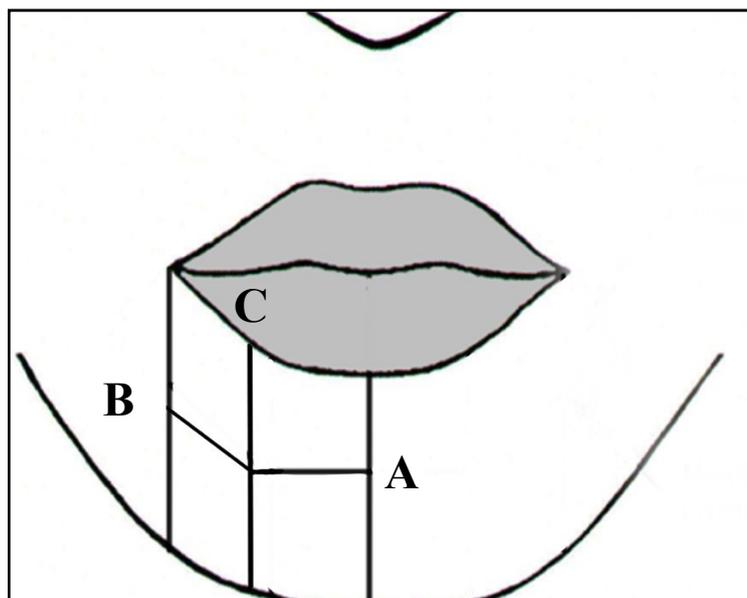


Рисунок 3. Схематическое изображение квадрантов области нижней губы и подбородка.

Электрод аппарата АВЕРОН прикладывали к зонам на лице в соответствующих квадрантах. Электрод загубник изолировался в полости рта от шин марлевым тампоном. Определяли минимальную силу тока, при которой появлялось первое ощущение у пациента (покалывание, пощипывание и т. д.), о котором он сообщал врачу. Электроток подавали в импульсном режиме возрастающей силы от 0 до 100 мкА (рисунок 4).



Рисунок 4. Положение электрода-загубника и электрода-зонда.

Измерение проводилось со стороны повреждения нижней челюсти и в симметричных квадрантах здоровой стороны. Согласно авторам указанного метода, если у пациента регистрировалось значение более 35 мкА – данный

показатель расценивался как проявление невропатии НАН [42]. Повторное измерение ЭВК проводилось на 7-е сутки, через 3, 6, 12 мес. Полученные данные заносились в сводную таблицу.

В данном исследовании восстановление функции НАН у пациента определялось на основе двух критериев. Во-первых, если результат опроса по DN4 составлял меньше 4 баллов. Во-вторых, если измерение ЭВК на стороне повреждения в каждой из исследуемых точек было меньше 35 мкА. Таким образом, при соблюдении обоих условий, считали, что функция НАН восстановлена. При несоблюдении обоих условий или одного из них, диагностировали невропатию НАН.

## **2.7 Лучевые методы исследования**

Всем пациентам при поступлении проводилась рентгенография костей лицевого скелета в прямой и боковой проекциях с помощью аппарата Italray Clinomat (Италия). При данном обследовании определялась локализация линий перелома, степень смещения костных фрагментов. При удовлетворении критериев включения в исследования пациентам, которым выполнялся остеосинтез с применением цифрового протокола перед оперативным вмешательством проводилась МСКТ костей лицевого скелета аппаратом Siemens Somatom Definition AS+ (Германия) со следующими параметрами: FOV —210, mA 40 — 320, kV – 120 – 130. Параметры окна W 800; L + 175, минимальным шагом сканирования (0.6мм). Укладка стандартная: лежа на спине, неподвижное положение головы и челюсти. На основании данных полученных с помощью МСКТ выполнялось проектирование индивидуального хирургического шаблона.

В послеоперационном периоде контрольное рентгенологическое исследование во всех группах выполнялось с помощью МСКТ, по результатам исследования, которого определялось стояние костных фрагментов, а также положение фиксирующих винтов относительно канала нижней челюсти и корней зубов тканей периодонта. Прерывание контуров периодонтальной щели,

корня зуба и канала нижней челюсти фиксирующим винтом расценивалось как повреждение. На амбулаторном этапе наблюдения пациентов рентгенологические исследования проводились с помощью КЛКТ.

## **2.8 Проектирование и изготовление ИХШ**

После контроля ортопедического метода лечения с помощью МСКТ, полученные данные в формате DICOM в программе с открытым исходным кодом InVesalius 3.1 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Бразилия) конвертировались в формат STL. Данная программа широко применяется в медицине в области диагностики и планирования по всему миру [76, 80, 86, 118, 125, 130, 140, 157].

Полученная объемно-геометрическая модель лицевого скелета загружается в программу с открытым исходным кодом для трехмерного моделирования Autodesk Meshmixer (Autodesk Inc., США), где проводится сегментирование и виртуальное сопоставление фрагментов нижней челюсти в области перелома в правильное положение. Данная программа широко распространена для 3D моделирования в медицинской сфере, в том числе и челюстно-лицевой хирургии [51, 63, 93, 97, 108, 111, 123, 142]. Правильность сопоставления моделей костных фрагментов определялось по нескольким ориентирам:

1. Нижний край нижней челюсти
2. Вершина альвеолярного отростка или стенка лунки (рисунок 5)
3. Канал нижней челюсти (рисунок 6)

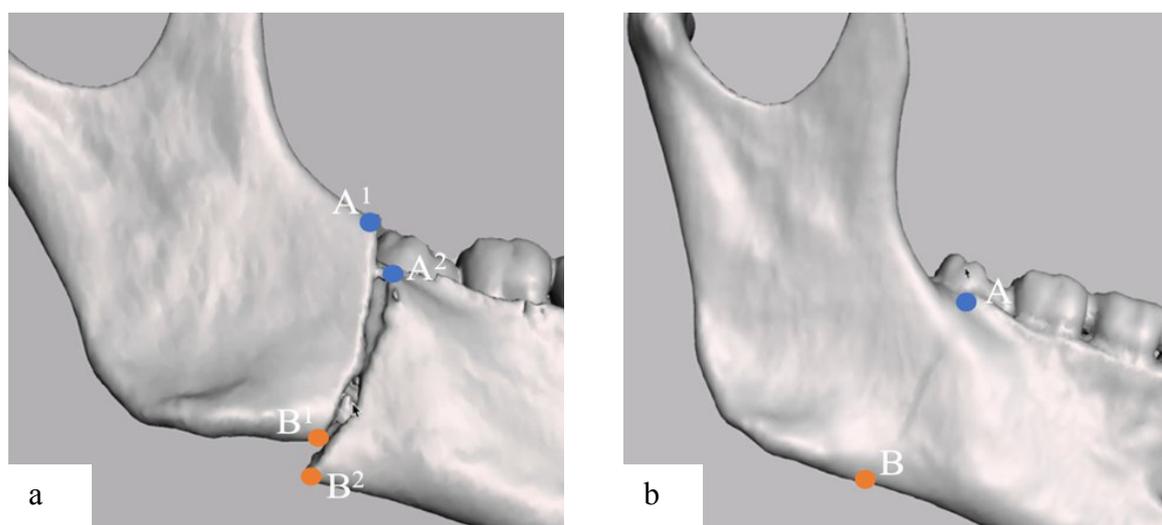


Рисунок 5. Этапы виртуального планирования:  
 а - модель нижней челюсти до репозиции: точки A1, A2, B1, B2 – ориентиры для сопоставления фрагментов нижней челюсти; б - модель нижней челюсти после репозиции: точки A1 и A2 сопоставлены в точку A, точки B1 и B2 сопоставлены в точку B.

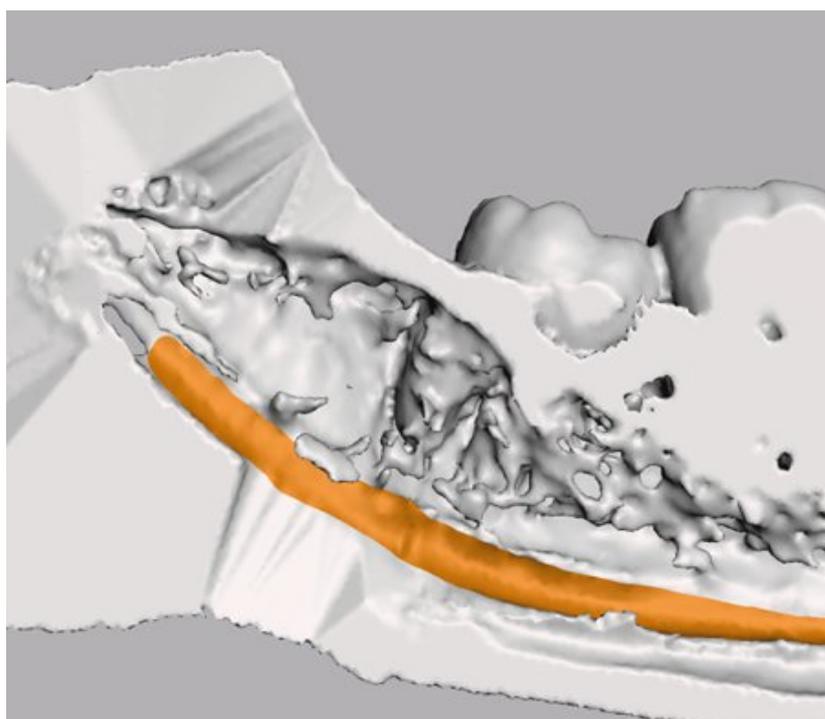


Рисунок 6. Этап виртуального планирования: сопоставление канала нижней челюсти (канал выделен оранжевым цветом).

Далее позиционируются модели титановых на костных минипластин, которые учитывают анатомические особенности архитектоники нижней челюсти (области отсутствия периодонта и корней зубов, сосудисто-нервного пучка) и требования к стабильному остеосинтезу (рисунок 7). Модели тита-

новых пластин были заранее спроектированы на основании отсканированных реальных пластин и являются полностью соразмерными. При наложении на виртуальную поверхность нижней челюсти моделей пластин, последние полностью повторяют рельеф заданной поверхности.

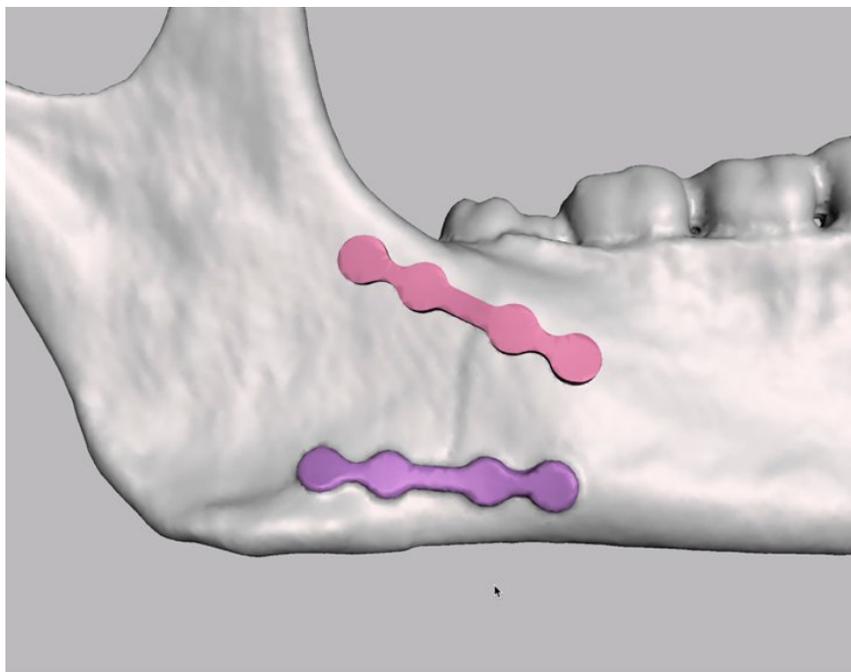


Рисунок 7. Этап виртуального планирования: выполнено позиционирование моделей титановых пластин.

Определяется направление для засверливания и положения фиксирующих винтов (рисунок 8).

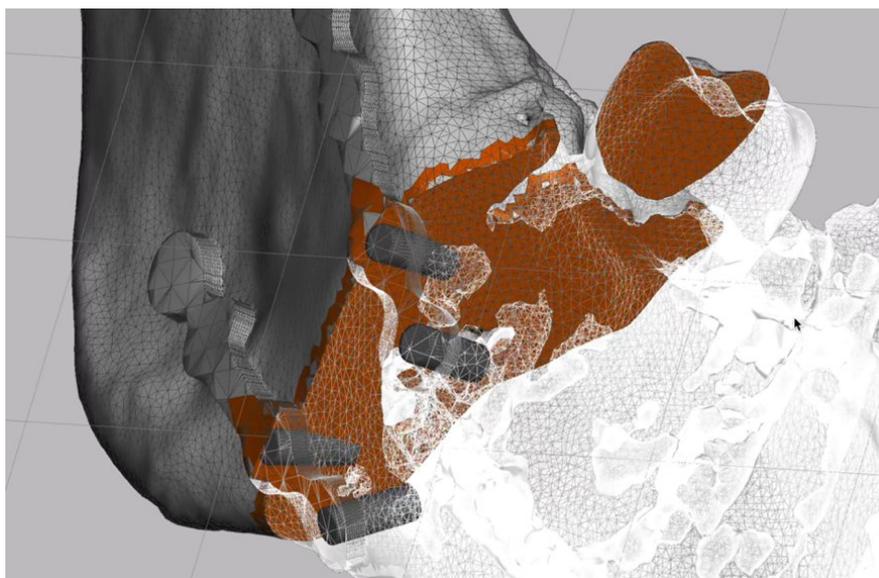


Рисунок 8. Этап виртуального планирования: отображены модели фиксирующих винтов.

Далее проводится проектирование индивидуального хирургического шаблона, который полностью повторяет полученный рельеф нижней челюсти с моделями пластин в области перелома, с формированием ложа для правильного позиционирования титановых пластин (рисунок 9, 10).

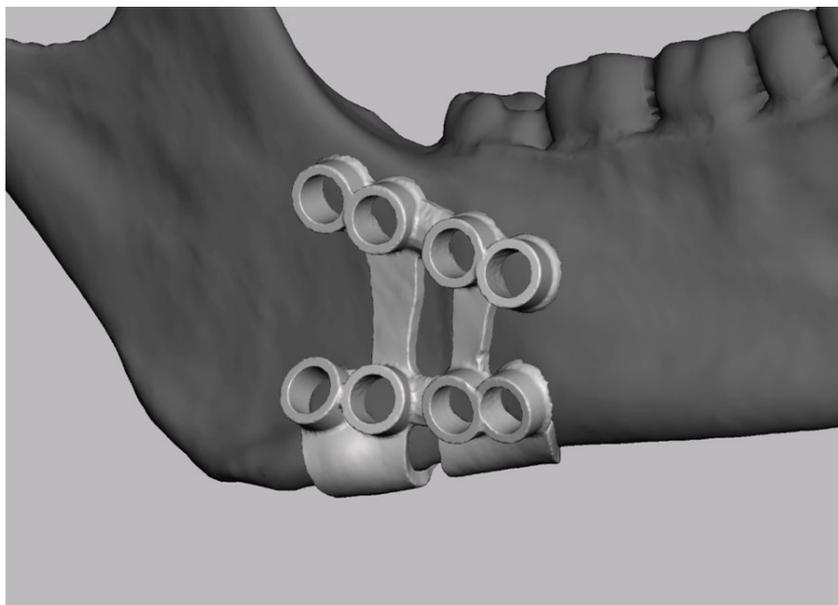


Рисунок 9. Этап виртуального планирования: спроектирован индивидуальный хирургический шаблон.



Рисунок 10. Этап виртуального планирования: хирургический шаблон, вид с внутренней стороны.

Данный шаблон имеет ряд конструктивных особенностей: толщина корпуса 1.5мм; на участке расположения титановых пластин имеются отверстия с шахтами, которые задают вектор сверления и установки винтов. Диаметр отверстия шахты соответствует диаметру, используемому направителю для сверла. Угол наклона и длина шахт, выверенные и рассчитанные при проектировании, исключают риск повреждения сосудисто-нервного пучка и зубов нижней челюсти при сверлении. В нижней части корпуса имеется овальное отверстие, для визуализации линии перелома и точного позиционирования ИХШ в передне-заднем направлении относительно этой линии; ИХШ переходит на внутреннюю поверхность нижней челюсти до 5мм, с целью лучшей фиксации; также в области нижнего края имеется отверстие, для временной фиксации ИХШ к нижней челюсти с помощью винта.

Шаблоны изготавливались на 3D-принтере Phrozen Sonic Mini 8K (Тайвань). Печать выполнялась из биосовместимого фотополимера HARZ Labs Dental Clear (ГОСТ Р ИСО 10993, сертифицирован для медицинского применения и имеет регистрационное удостоверение № РЗН 2020/12007).

Постобработка изготовленного шаблона выполнялась в аппарате Anycubic Wash and Cure 2.0 (Китай): промывание изопропиловым спиртом 2 раза по три минуты, дозасветка ультрафиолетовым излучением в течение 30 минут при длине волны 405 Нм и мощности источника 110 Вт.

Стерилизация шаблона проходила путем автоклавирования при температуре +120°С, давлении 1,1 атмосферы, времени 45 мин.

## **2.9 Применение ИХШ**

Отличительной особенностью остеосинтеза с применением индивидуального хирургического шаблона от стандартного метода оперативного лечения является то, что после скелетирования наружной поверхности нижней челюсти в области перелома, проводится репозиция и фиксация костных фрагментов с помощью костного зажима, в ИХШ устанавливаются и адаптируются титановыми пластины согласно ранее заданному рельефу поверхности.

ИХШ через операционную рану устанавливается согласно выбранной позиции с последующей фиксацией временным винтом (рисунок 11).

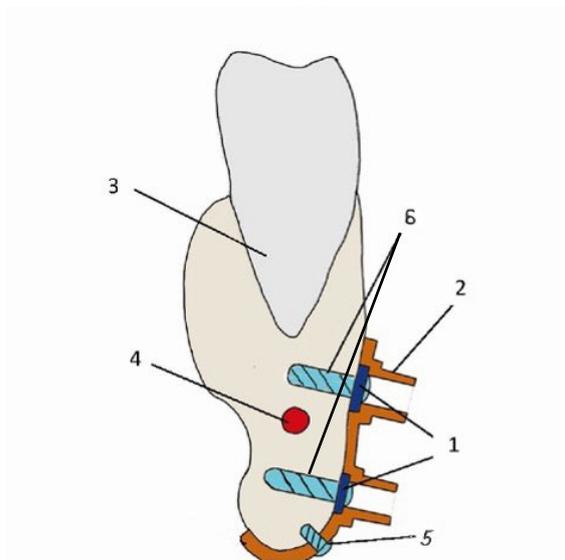


Рисунок 11. Схема расположения ИХШ на нижней челюсти после фиксации титановых пластин: 1 – титановые пластины, 2 – хирургический шаблон, 3 – зуб, 4 – канал нижней челюсти, 5 – временный фиксирующий винт, 6 – титановый винт.

Через шахты ИХШ с помощью направителя для сверла формируются ложа для фиксирующих элементов с использованием физиодиспенсера NSK Surgic Pro (Япония) при скорости вращения сверла 700 об/мин, охлаждение 50 мл/мин (рисунок 12).

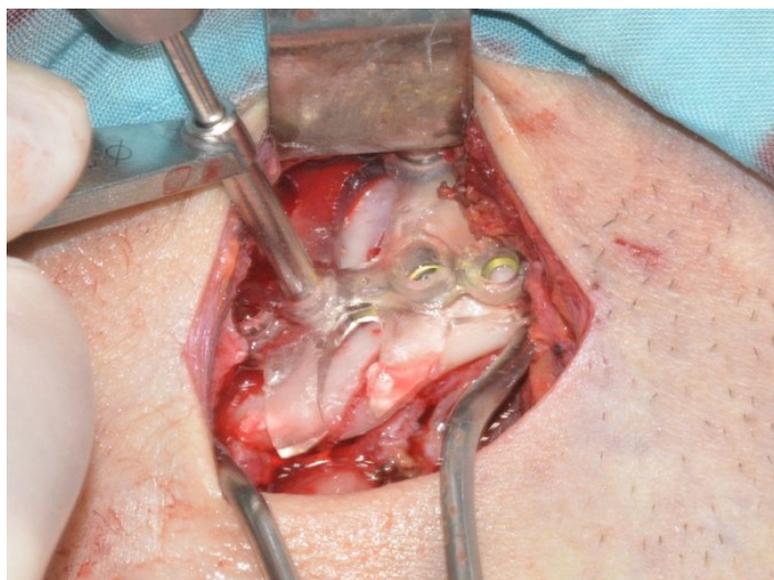


Рисунок 12. Операционная рана. Наложен ИХШ с титановыми пластинами, проводится засверливание через направитель сверла, который установлен в шахту шаблона.

Титановые пластины фиксируются винтами, удаляется временный фиксирующий винт и ИХШ. После оценки стабильности остеосинтеза и состояние прикуса, происходит ушивание, дренирование раны и наложение асептической повязки. Сроки снятия швов, шин и медикаментозное сопровождение идентичное стандартному методу лечения.

## **2.10 Протокол ведения пациентов**

Независимо от того, применялся ли в процессе лечения цифровой протокол планирования остеосинтеза, всем пациентам с переломами нижней челюсти, локализованными на уровне нижнечелюстного канала, в день госпитализации проводилось всестороннее комплексное клиничко-лабораторное и рентгенологическое обследование. Первоочередной лечебной мерой являлась попытка закрытой репозиции костных отломков с последующей их иммобилизацией. Выбор метода иммобилизации осуществлялся индивидуально, в зависимости от конкретной клинической картины: использовались шины Тигерштедта, ортодонтические винты для межчелюстной фиксации или тентно-подбородочная праща. Критериями выбора служили целостность зубного ряда пациента, характер смещения фрагментов и локализация линии перелома. В случаях, когда консервативные ортопедические методы лечения оказывались несостоятельными или не обеспечивали адекватной репозиции и стабильности, пациенту в плановом порядке проводилось оперативное вмешательство. Объем операции включал открытый на костный остеосинтез с использованием мини-пластин из медицинского титана производства «КОНМЕТ» (Россия).

Всем пациентам в периоперационном периоде в обязательном порядке назначалась комплексная медикаментозная терапия. Она включала антибактериальные препараты для профилактики инфекционных осложнений, десенсибилизирующие средства для уменьшения отека, анальгезирующую терапию для купирования болевого синдрома, а также нейротропную терапию - витамины группы В, с целью поддержки и стимуляции регенерации НАН. В по-

слеоперационном периоде, начиная с третьих суток после хирургического вмешательства, подключался курс физиотерапевтического лечения, а именно воздействие электрическим полем ультравысокой частоты (ЭП УВЧ) на область перелома для улучшения микроциркуляции и ускорения репаративных процессов.

Суть оперативного лечения заключалась в выполнении открытой репозиции смещенных костных фрагментов с их последующей надежной фиксацией титановыми мини-пластинами. Выбор оптимального хирургического доступа к зоне перелома (интраорального или экстраорального), определение необходимого количества фиксирующих пластин и их точное расположение на кости осуществлялись строго индивидуально. Эти решения основывались на детальной оценке характера перелома (локализация, линия излома, степень смещения) и соответствовали фундаментальным принципам, заложенными в концепции «идеальных» линий остеосинтеза по Champy, а также основным постулатам остеосинтеза, разработанными Ассоциацией по изучению проблем остеосинтеза (AO/ASIF) [126]:

1. Биосовместимость материалов. Все используемые металлоконструкции (пластины, винты) должны быть изготовлены исключительно из биоинертных сплавов, не вызывающих реакции отторжения или коррозии в тканях организма (титан и его сплавы).

2. Анатомическая репозиция. Костные отломки должны быть точно, анатомически правильно сопоставлены (репонированы) и зафиксированы в этом положении для создания условий первичного костного заживления.

3. Атравматичная техника. Применение щадящей оперативной техники (минимальная травматизация мягких тканей, осторожная периостальная отслойка) критически важно для сохранения адекватного кровоснабжения костных фрагментов и окружающих их мягких тканей, что является залогом успешной консолидации и профилактики инфекции.

4. Стабильная фиксация. Достижение абсолютной стабильности фиксации отломков, обеспечивающей их полную неподвижность относительно друг друга.

Обязательный рентгенологический контроль эффективности выполненного остеосинтеза проводился в раннем послеоперационном периоде. С этой целью выполнялась МСКТ лицевого скелета. На основании полученных данных тщательно оценивалось точность репозиции костных фрагментов, а также положение фиксирующих винтов относительно стенок нижнечелюстного канала и корней зубов, прилегающих к линии перелома или зоне установки пластин. Все пациенты в периоперационном периоде консультировались неврологом для оценки состояния нижнего альвеолярного нерва и назначения комплексного лечения нейропатии. Это лечение, включавшее прием нейротропных препаратов и курсов физиотерапии, продолжалось на амбулаторном этапе реабилитации. Швы со стороны раны кожных покровов и слизистой оболочке полости рта снимались на 7-е сутки после операции. Снятие назубных шин Тигерштедта или удаление установленных ранее ортодонтических винтов для межчелюстной фиксации проводилось на 10–14 сутки после хирургического вмешательства.

Во время последующих плановых осмотров пациентов, помимо стандартного клинического обследования, проводилось измерение ЭВК кожи нижней губы и подбородочной области для объективной динамической оценки восстановления функции нижнего альвеолярного. Также тщательно оценивалось состояние прикуса и клинические признаки консолидации костных фрагментов. При возникновении подозрений на замедленное сращение или формирование ложного сустава на основании клинической картины (боли, патологическая подвижность) назначалось повторное рентгенологическое исследование - КЛКТ. По результатам КЛКТ определялись четкие показания для возможного повторного оперативного вмешательства. Его объем мог варьироваться от удаления фиксирующих элементов (при развитии инфекции или

отторжении) до выполнения реостеосинтеза (повторной фиксации отломков), часто с применением более стабильных конструкций.

Если при послеоперационном рентгенологическом контроле у пациентов было диагностировано повреждение корня зуба или попадание фиксирующего винта в периодонтальную щель, то тактика ведения зависела от клинических проявлений. В случаях развития симптомов травматического периодонтита пораженного зуба (болезненность при перкуссии, патологическая подвижность) пациентам в первую очередь предлагалось консервативное эндодонтическое лечение (депульпирование и пломбирование корневых каналов) в попытке сохранить зуб. Если эндодонтическое лечение оказывалось неэффективным (сохранение симптомов, развитие осложнений) или пациент от него отказывался, выполнялось удаление травмированного зуба.

### **2.11 Методы комплексной оценки эффективности и целесообразности применения цифрового протокола остеосинтеза нижней челюсти**

Внедрение в клиническую практику новых медицинских технологий, к которым относится и разработанный цифровой протокол остеосинтеза, требует не только доказательств его клинической значимости в виде снижения частоты осложнений, но и всесторонней оценки его организационной эффективности. Такой комплексный подход позволяет определить реальную ценность методики, ее интеграционный потенциал в существующие рабочие процессы и общую целесообразность широкого внедрения. В связи с этим, в рамках настоящего исследования был применен протокол комплексной оценки, включавший сравнительный анализ клинических исходов, хронометраж ключевых этапов лечения.

Для проведения сравнительного анализа использовались две репрезентативные группы пациентов на базе отделения челюстно-лицевой хирургии ГАУЗ «Кузбасской областной клинической больницы им. С.В. Беляева» за период с 2020 по 2024 годы. Исследование проводилось на двух группах пациентов, подробно описанных в разделе 2.3 настоящей работы: группа I

(контрольная, n=142): пациенты, которым остеосинтез выполнялся по стандартной методике. Группа II (основная, n=133): пациенты, которым остеосинтез выполнялся с применением цифрового протокола и ИХШ.

Для определения эффективности предложенного метода лечения использовался комплекс критериев, выходящий за рамки чисто клинических результатов и включавший организационные аспекты. Для оценки влияния цифрового протокола на организацию хирургического процесса и его интеграцию в клиническую практику, особенно в условиях экстренной помощи, проводился тщательный хронометраж ключевых этапов. Данный показатель фиксировался для всех 275 пациентов, включенных в исследование. Время операции учитывалось от момента выполнения первого разреза (начала хирургического доступа) до момента наложения последнего шва (окончания ушивания операционной раны). Источником данных служили операционные протоколы из историй болезней стационарного пациента (форма № 003/у).

Анализ временных затрат на подготовку и изготовление ИХШ проводился исключительно для 133 пациентов группы II. Хронометражу подлежали все этапы подготовки шаблона:

- Виртуальное планирование и 3D-моделирование. Фиксировалось чистое время работы оператора в программных средах InVesalius 3.1 и Autodesk Meshmixer. В это время включались: загрузка DICOM-данных, построение 3D-модели, виртуальная репозиция костных отломков, анатомически обоснованное позиционирование виртуальных моделей титановых пластин и фиксирующих винтов, а также этап проектирования самого ИХШ.
- Технологический цикл 3D-печати. Учитывалось общее время, затраченное на печать одного ИХШ на 3D-принтере Phrozen Sonic Mini 8K. В данный показатель включалось как время непосредственной печати, так и непродолжительные технологические операции по подготовке файла и калибровке принтера.
- Процессы постобработки и стерилизации. Измерялось время, необходимое для промывки отпечатанного шаблона в изопропиловом спирте

в аппарате Anycubic Wash and Cure 2.0, его последующей дозасветки ультрафиолетовым излучением для достижения окончательных физико-механических свойств, а также полный цикл стерилизации в автоклаве.

Суммарное время, затрачиваемое на все этапы подготовки ИХШ, оценивалось на предмет его соответствия клиническим срокам оказания экстренной хирургической помощи при переломах нижней челюсти, которые, как правило, составляют первые 24 часа с момента поступления пациента.

## **2.12 Методы статистической обработки материалов исследования**

Статистический анализ был проведен с использованием программного обеспечения SPSS 26. Распределение пациентов на применение цифрового протокола остесинтеза нижней челюсти проводилось с помощью простой рандомизации. При работе с архивными данными статистические показатели представлены в виде относительных величин. Основную тенденцию травматических повреждений выявляли методом наименьших квадратов. Сравнение в группах проводилось с помощью теста  $\chi^2$ .

При работе с объектами клинического исследования. С помощью критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса и анализа гистограмм было изучено распределение данных в выборках. Описательная статистика для изученных выборок представлена в виде  $M \pm SD$  и  $Me [IQR]$ , где  $M$  – среднее арифметическое,  $SD$  – стандартное отклонение,  $Me$  – медиана,  $[IQR]$  – интерквартильный размах.

Для проверки статической гипотезы между независимыми выборками в случае нормального распределения в зависимости от критерия Ливиня были использованы t-критерий Стьюдента и t-критерий Уэлча. При ненормальном распределении данных использовался критерий Манна-Уитни.

Разница между средними значениями и расчет 95% ДИ выполнялся с помощью онлайн-калькулятора: MedCalc Software Ltd. Comparison of means calculator.

Для анализа зависимых выборок использовался Критерий Фридмана с дальнейшим апостериорным сравнением.

Для анализа номинальных данных применялись точный критерий Фишера и  $\chi^2$  Пирсона в зависимости от минимального предполагаемого числа, оценена связь по V Крамера, рассчитано отношение шансов.

При проверке нулевых гипотез критическое значение уровня статистической значимости принималось равным 0,05.

## ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Результаты архивного исследования

Проведенный анализ динамики частоты переломов костей черепа и лицевого скелета, основанный на официальных данных формы №57, выявил наличие слабовыраженной тенденции к постепенному снижению данного показателя. Рассчитанный среднегодовой темп убыли за изучаемый период составил 2,75%, что наглядно отражено на представленном рисунке 13. Максимальное абсолютное и относительное значение травматизма в этой категории было зафиксировано в 2019 году, когда было зарегистрировано 4469 случаев, что соответствует удельному весу 167,6<sup>0</sup>/<sub>0000</sub>. Напротив, минимальный уровень заболеваемости (абсолютное число случаев 2739, удельный вес 103,5<sup>0</sup>/<sub>0000</sub>) наблюдался в 2020 году. Это выраженное снижение может быть объяснено введением строгого режима самоизоляции и комплексных карантинных мероприятий, реализованных на территории региона в ответ на пандемию новой коронавирусной инфекции (COVID-19), что существенно ограничило мобильность населения и снизило риск ряда травм.

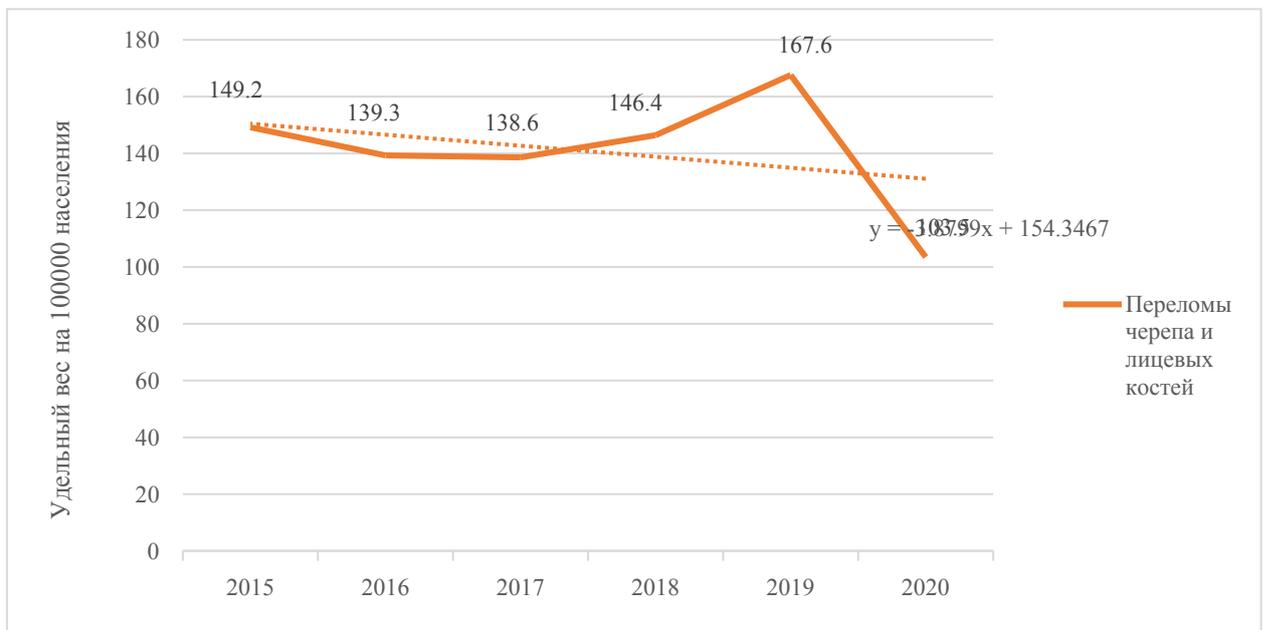


Рисунок 13. Динамика распространенности переломов черепа и лицевых костей по данным ГАУЗ «КМИАЦ».

Важным ограничением, выявленным в ходе исследования, является невозможность получения детализированных данных о локализации переломов

в пределах челюстно-лицевой области (ЧЛО) из формы №57 («Сведения о травмах, отравлениях и некоторых других последствиях воздействия внешних причин»). Это связано с методологией учета, при которой все травмы кодируются обобщенным диагнозом МКБ-10 S02 («Перелом черепа и лицевых костей»), без последующей детализации на переломы нижней челюсти, верхней челюсти, скуловой кости и дуги, а также дна глазницы. Вследствие указанного ограничения проведение углубленного анализа структуры травматических повреждений конкретно челюстно-лицевой области исключительно по данным формы №57 представляется неосуществимым.

Для преодоления этого ограничения и получения необходимой детализации источником информации послужили медицинские карты стационарных больных и статистические карты пациентов. Анализ этих документов за весь период исследования показал, что в специализированных отделениях челюстно-лицевой хирургии городов Кемерово и Новокузнецка прошли стационарное лечение 13562 пациента. Среди них у 3843 пациентов (что составляет 28,3%, 95% доверительный интервал (ДИ) [27,6-29,1]) был диагностирован перелом одной или нескольких костей лицевого скелета. Следует отметить, что в доступной международной научной литературе аналогичные сводные данные по структуре госпитализированных пациентов в челюстно-лицевой хирургии отсутствуют.

Результаты детального изучения причин (этиологических факторов), приведших к возникновению переломов костей лицевого скелета среди госпитализированных пациентов, систематизированы и представлены на рисунке 14.

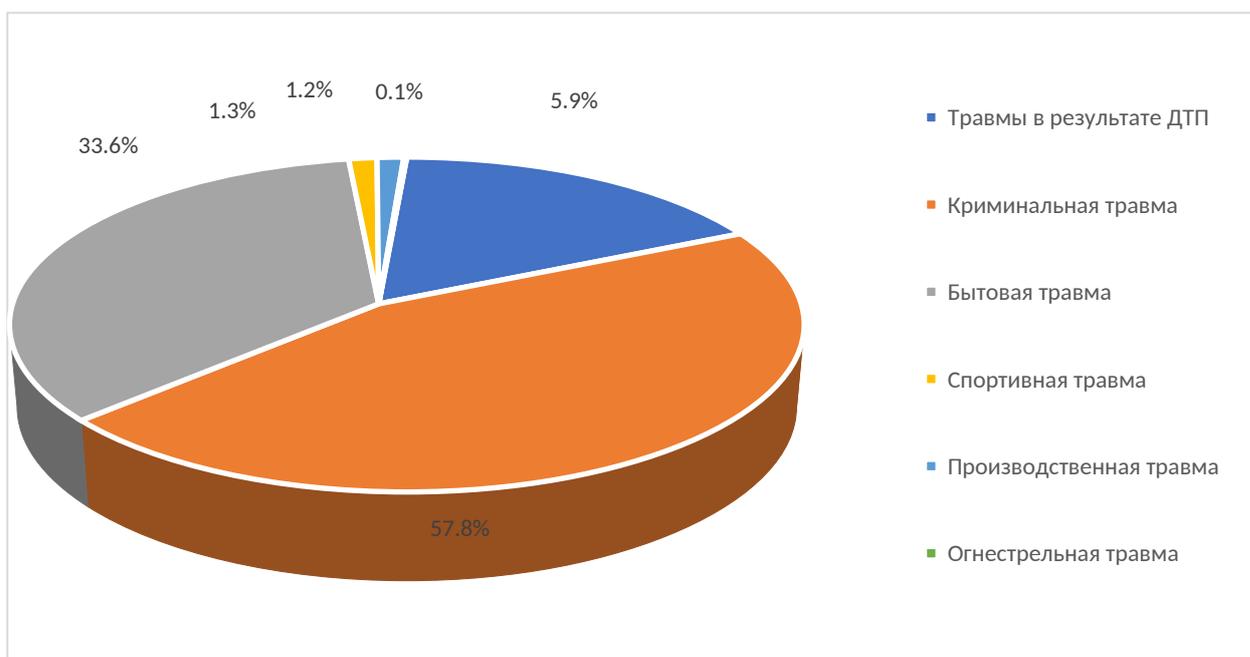


Рисунок 14. Структура травматических повреждений ЧЛО в зависимости от этиологического фактора.

Установлено, что доминирующей причиной травм челюстно-лицевой области в Кузбассе является криминальная травма, на долю которой приходится 57,8% случаев (95%ДИ [56,3-59,4]). Второе место по распространенности занимает бытовая травма, составляющая 33,6% от общего числа повреждений (95%ДИ [32,1-35,1]). Третье место принадлежит травмам, полученным в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП), их удельный вес составил 5,9% (95%ДИ [5,2-6,7]). Значительно реже встречались спортивные травмы (1,3%, 95%ДИ [0,9-1,7]) и производственные травмы (1,2%, 95%ДИ [0,9-1,6]). Огнестрельные ранения костей лицевого скелета были зарегистрированы лишь в 0,1% случаев (95%ДИ [0,05-0,3]).

Анализ структуры повреждений костей лицевого скелета по их локализации (рисунок 15) выявил, что абсолютно преобладающим видом травмы является перелом нижней челюсти, составляющий 78,8% от всех случаев (95%ДИ [77,5-80,0]).

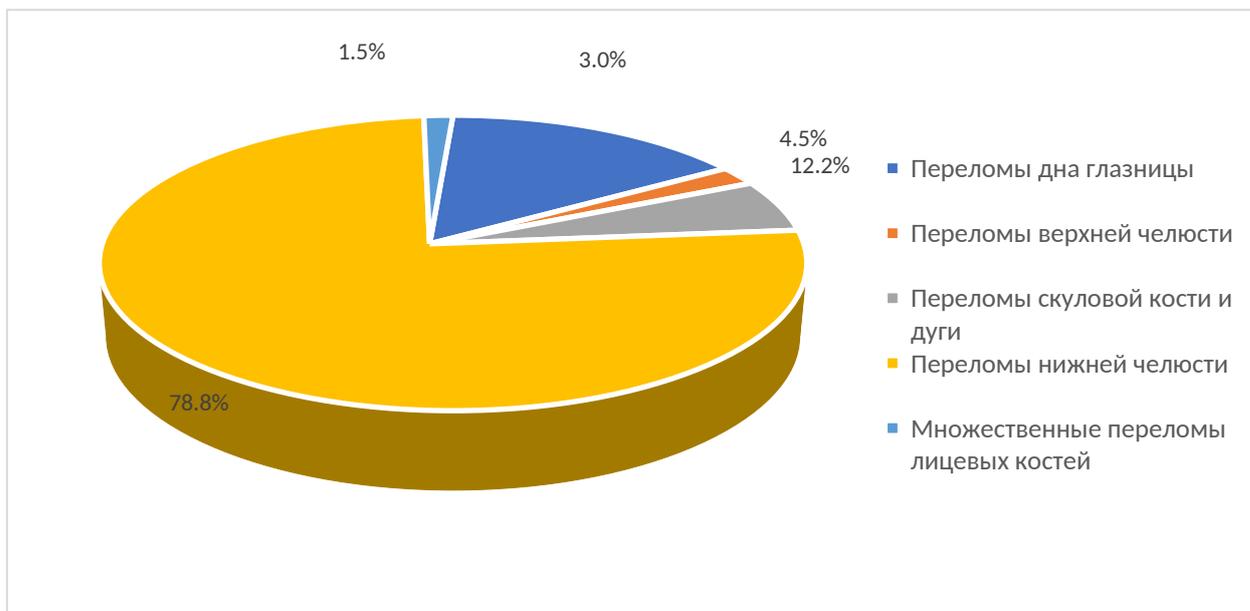


Рисунок 15. Структура повреждений костей лицевого скелета среди населения Кузбасса.

Переломы скуловой кости и скуловой дуги занимают второе место по частоте с показателем 12,2% (95%ДИ [11,2-13,3]). Значительно реже регистрировались повреждения верхней челюсти (4,5%, 95%ДИ [3,9-5,2]) и переломы костей дна глазницы (орбиты) (3,0%, 95%ДИ [2,6-3,6]). Наименее распространенными оказались множественные переломы лицевых костей у одного пациента, их доля составила 1,5% (95%ДИ [1,2-1,9]).

Статистический анализ ( $\chi^2=467,2$ ,  $df=16$ ,  $p<0,001$ ) подтвердил наличие значимых различий в структуре травматических повреждений в зависимости от вызвавшего их этиологического фактора. Результаты этого сопоставительного анализа визуализированы на рисунке 16. Ввиду крайне малого числа зарегистрированных огнестрельных повреждений ЧЛО ( $N = 5$ ), они были исключены из данного этапа анализа для обеспечения статистической достоверности. Установлены следующие закономерности: переломы нижней челюсти наиболее часто встречались при криминальной (81,4%), бытовой (81,7%) и спортивной (86%) травмах. При производственной травме преобладали повреждения скуловой кости и дуги, достигая 38,3% случаев. Среди травм, полученных в результате ДТП, повреждения средней зоны лица (включающей переломы верхней челюсти, скуловой кости и дуги, а также дна глазницы)

встречались практически с равной частотой (46,1%) с переломами нижней челюсти (44,7%).

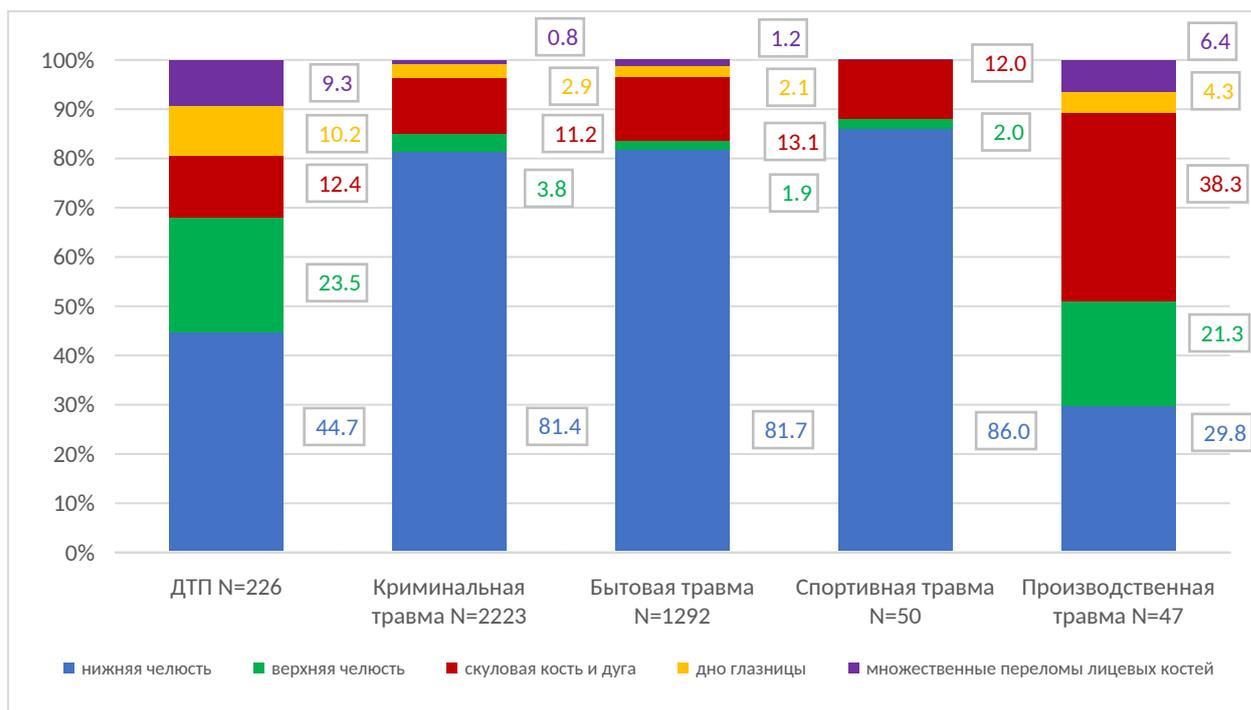


Рисунок 16. Распределение травматических повреждений костей лицевого скелета в зависимости от этиологии.

Анализ динамики заболеваемости по отдельным нозологическим формам показал, что переломы нижней челюсти неизменно имели наибольший удельный вес среди всех травм лицевого скелета. Средний показатель заболеваемости за период 2015-2020 гг. составил  $18,8^{0}/_{0000}$ . Пик заболеваемости был зафиксирован в 2015 году –  $20,5^{0}/_{0000}$ , тогда как самый низкий показатель наблюдался в 2018 году –  $16,2^{0}/_{0000}$ . Скорость изменений показателей заболеваемости переломами нижней челюсти на протяжении изучаемого шестилетнего периода была неоднородной, что отражено на рисунке 17. После применения методов выравнивания динамического ряда (сглаживания) выявляется слабая, но устойчивая тенденция к снижению уровня заболеваемости со средним темпом убыли  $2,8\%$  в год.

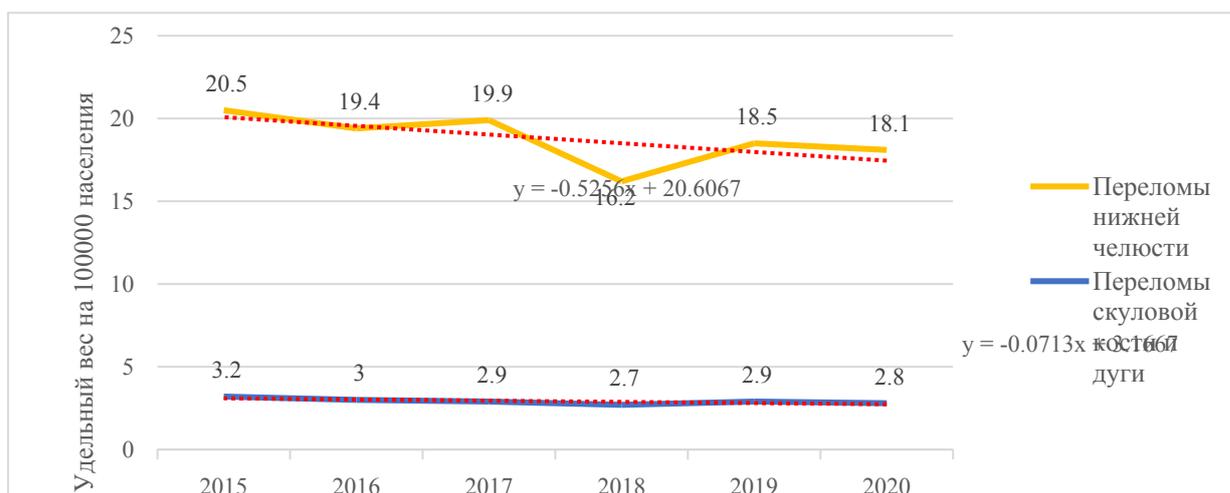


Рисунок 17. Динамика переломов нижней челюсти, скуловой кости и дуги среди населения Кемеровской области – Кузбасса.

Пациенты с переломами скуловой кости и дуги заняли второе место по удельному весу в общей структуре заболеваемости. Средний показатель за изучаемый период составил  $2,9^{0}/_{0000}$ . Наибольшая заболеваемость регистрировалась в 2015 году ( $3,2^{0}/_{0000}$ ), а наименьшая – в 2018 году ( $2,7^{0}/_{0000}$ ). Динамика изменений показателей травматизма скуловой области также характеризовалась непостоянством (рисунок 17). После статистического выравнивания динамического ряда отмечается умеренно выраженная тенденция к снижению уровня заболеваемости со средним годовым темпом убыли  $2,4\%$ .

Переломы верхней челюсти заняли третье место по удельному весу в структуре заболеваемости травмами лицевого скелета, их средний показатель составил  $1,1^{0}/_{0000}$ . Наибольшие значения удельного веса наблюдались в 2015 и 2017 годах (по  $1,3^{0}/_{0000}$ ), а наименьший – в 2016 году ( $0,7^{0}/_{0000}$ ). Динамика заболеваемости характеризовалась выраженной неравномерностью (рисунок 18), однако при сглаживании данных выявляется слабовыраженная тенденция к увеличению показателя со средним годовым темпом прироста  $0,8\%$ .

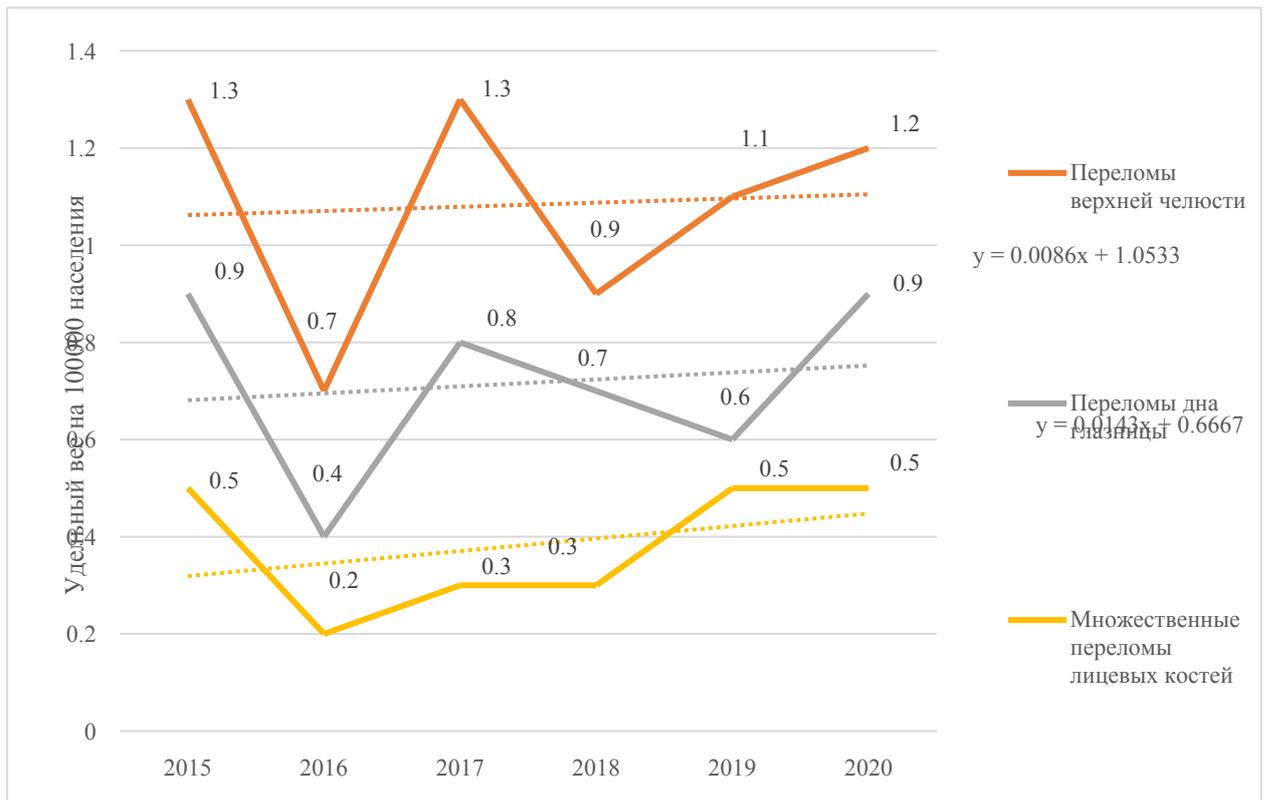


Рисунок 18. Динамика повреждений костей лицевого скелета населения Кемеровской области – Кузбасса.

Переломы костей, образующих дно глазницы (орбиты), являлись менее распространенной формой травмы лицевого скелета. Средняя частота встречаемости за период 2015-2020 гг. составила  $0,7^0/0000$ . Наибольший удельный вес отмечался в 2015 и 2020 годах (по  $0,9^0/0000$ ), а наименьший – в 2016 году ( $0,4^0/0000$ ). Средний темп прироста заболеваемости данной нозологической формой составил 1,9% в год (рисунок 18).

Пятое место в структуре заболеваемости заняли множественные переломы различных костей лицевого скелета у одного пациента. Средний показатель заболеваемости за период составил  $0,4^0/0000$ . Динамика заболеваемости в целом была более стабильной по сравнению с другими нозологиями (рисунок 19), однако наблюдалась выраженная тенденция к увеличению показателя со средним годовым темпом прироста 6,7%.

На рисунок 19 представлен сводный (совокупный) учет заболеваемости переломами костей лицевого скелета, рассчитанный на основе анализа медицинских карт стационарных больных и статистических карт пациентов

отделений челюстно-лицевой хирургии городов Кемерово и Новокузнецк. Среднее значение показателя за 6 лет наблюдения составило  $23,8^0/0000$ , а расчетный средний темп убыли заболеваемости – 2,3% в год.

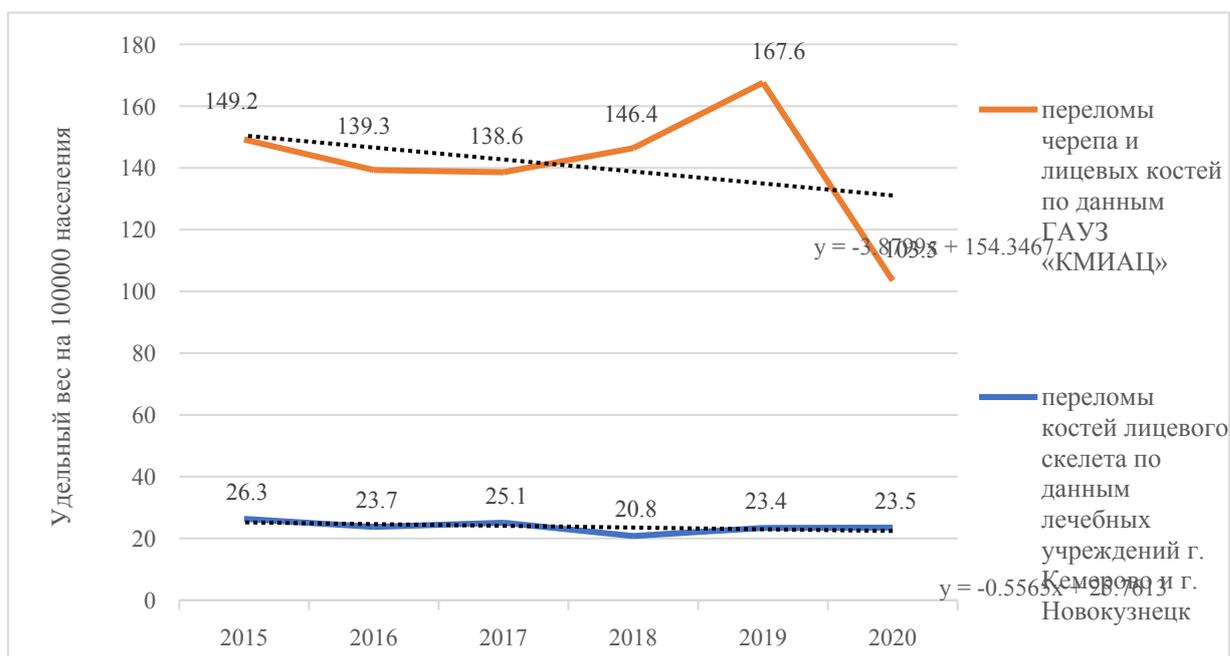


Рисунок 19. Сравнение динамики распространенности травматических повреждений на территории Кузбасса.

Статистическое сравнение двух источников данных – динамики распространенности переломов черепа и лицевых костей по сводным данным ГАУЗ «КМИАЦ» и данных по травмам ЧЛО, полученных из стационаров челюстно-лицевой хирургии Кузбасса, – не выявило статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ). Интересно отметить, что введенные в 2020 году строгий режим самоизоляции и комплексные карантинные меры, связанные с пандемией COVID-19, вопреки ожиданиям, не привели к статистически значимому снижению числа пациентов с травматическими повреждениями челюстно-лицевой области, требующими стационарного лечения.

Совокупный учет травм под обобщенным кодом МКБ-10 S02, практикуемый ГАУЗ «КМИАЦ» и «Центральным научно-исследовательским институтом организации и информатизации здравоохранения», создает существенные методологические трудности для проведения точного статистического анализа структуры повреждений именно костей лицевого скелета. Это связа-

но с тем, что лечением травм, классифицируемых как S02, помимо челюстно-лицевых хирургов, занимаются также нейрохирурги (при сочетанных черепно-мозговых травмах), оториноларингологи (при повреждениях стенок придаточных пазух носа, височной кости) и стоматологи-хирурги (в амбулаторных условиях). Именно поэтому для разработки и внедрения эффективных, целенаправленных мер профилактики травматизма костей лицевого скелета на территории Кемеровской области необходима детальная систематизация данных о переломах с обязательным учетом их точной анатомической локализации.

Результаты анализа возрастного распределения пациентов с травмами костей лицевого скелета представлены на рисунок 20.

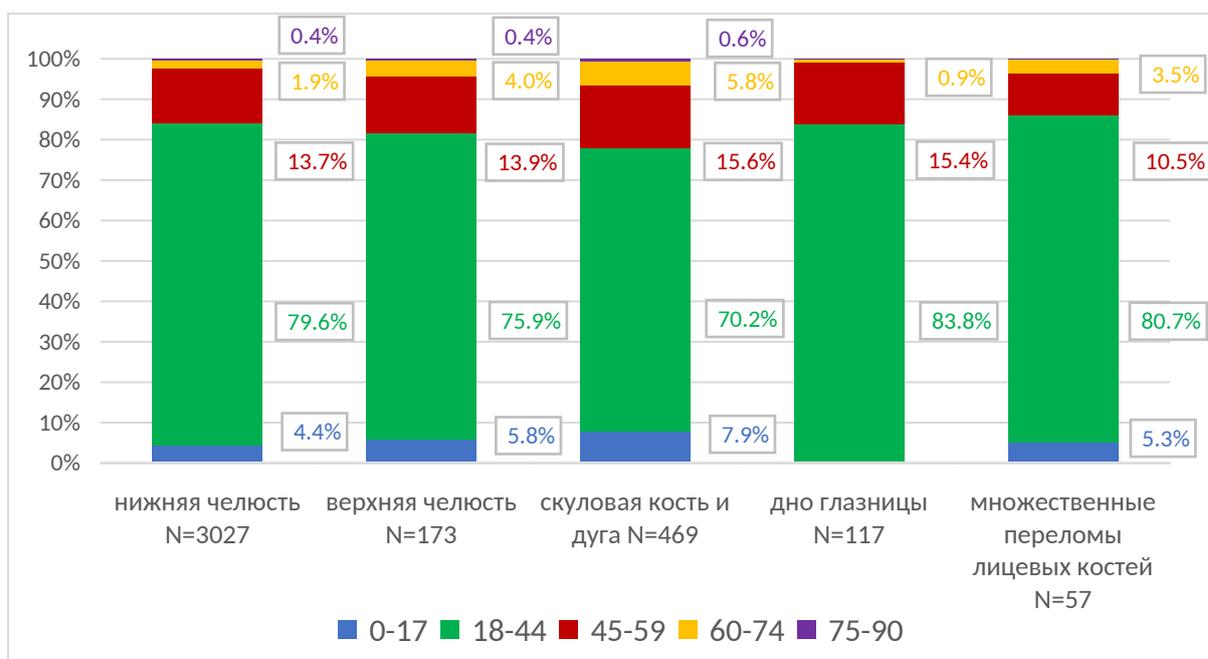


Рисунок 20. Распределение пациентов с травматическими повреждениями костей лицевого скелета по возрасту.

Анализ представленных данных позволил сделать вывод о наличии статистически значимых различий ( $\chi^2=53,3$ ,  $df=16$ ,  $p<0,001$ ) в возрастной структуре пациентов с разными типами травм лицевого скелета. Наиболее часто травмы встречались у пациентов активного трудоспособного возраста – от 18 до 44 лет, доля которых в различных нозологических группах колебалась от 70,2% до 83,8%. Наименее уязвимой группой оказались лица старческого

возраста (75-90 лет), чей удельный вес составлял всего от 0,4% до 0,6%. Примечательно, что в группах пациентов с переломами дна глазницы и множественными переломами лицевых костей пациенты данной возрастной категории (75-90 лет) вообще не были представлены. Пациенты старше 90 лет в исследуемой выборке отсутствовали.

Особое внимание заслуживает анализ роли травматизма среди детского населения (возрастная группа 0-17 лет). За весь изучаемый период доля детей среди всех пациентов с травматическими повреждениями костей ЧЛЮ составила 4,7% (95%ДИ [4,1-5,5]), что соответствует 182 случаям. Структура травм лицевого скелета в этой возрастной группе детализирована на рисунок 21.



Рисунок 21. Структура повреждений костей лицевого скелета детского возраста (0-17 лет).

Установлено, что в детской популяции также абсолютно преобладали переломы нижней челюсти, составляя 72,5% от всех травм ЧЛЮ в этой группе (95%ДИ [65,6-78,5]). Второе место в структуре детского травматизма занимали повреждения скуловой кости и дуги с частотой 20,3% (95%ДИ [15,1-26,8]). Значительно реже встречались переломы верхней челюсти (5,5%, 95%ДИ [3,0-9,8]) и множественные переломы костей лицевого скелета (1,6%, 95%ДИ [0,6-

4,7]). Важно отметить, что в детской возрастной группе за весь период наблюдения не было зарегистрировано ни одного случая перелома дна глазницы или огнестрельного ранения.

Анализ распределения пациентов по половому признаку с переломами лицевого скелета выявил выраженное и статистически значимое ( $p < 0,001$ ) преобладание мужчин. Соотношение мужчин и женщин на протяжении всего анализируемого периода оставалось стабильным и составляло 7,2:1 соответственно.

В ходе изучения социального статуса пациентов старше 18 лет было установлено, что большая часть пациентов (55,2%, 95%ДИ [53,6-56,8]) на момент получения травмы формально не состояла в трудовых отношениях (не была трудоустроена). Однако необходимо учитывать, что данный показатель, основанный на формальных данных, может не полностью отражать реальную экономическую активность населения из-за широко распространенной в регионе неформальной занятости.

### 3.2 Структура осложнений на костного остеосинтеза без применения цифрового протокола

Общее количество пациентов с осложнениями составило 59 человек. Структура осложнений представлена на рисунке 22.

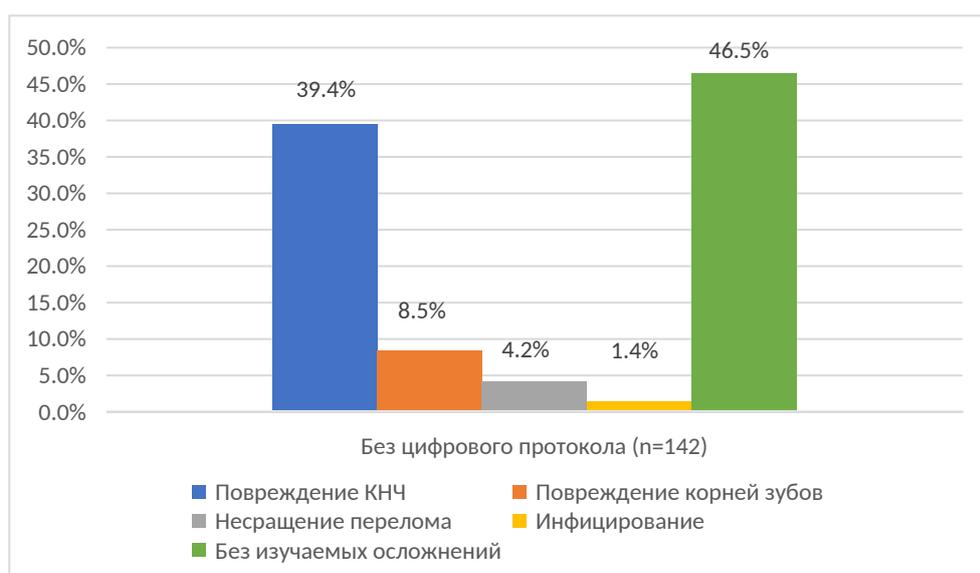


Рисунок 22. Структура осложнений у пациентов, прооперированных без применения цифрового протокола.

Самое распространенное осложнение является повреждение фиксирующими винтом КНЧ (39,4%). Второе по частоте осложнение - это воспалительный процесс в области перелома или послеоперационной раны (8,5%). Определялись пациенты с сочетанными осложнениями: у 2 пациентов определялось повреждение корней зубов и несращение перелома инфицирование; у пациентов определялось повреждение корней зубов, несращение перелома; у 2 пациентов определялось повреждение корней зубов и КНЧ; у 1 пациента повреждение корня зуба, КНЧ и несращение перелома в послеоперационном периоде.

### 3.3 Анализ нейросенсорных нарушений нижнего альвеолярного нерва

Значения оценок Каплана-Мейера для вероятности восстановления функции НАН у пациентов после проведенного остеосинтеза нижней челюсти в течение 1 года после лечения (рисунок 23) оказались равными 57,7% (95%ДИ 38,9-70,7%) для группы с повреждением КНЧ фиксирующими винтами ( $n = 56$ ), и 94,3% (95%ДИ 84,3-97,9%) для группы без повреждения КНЧ ( $n = 86$ ).

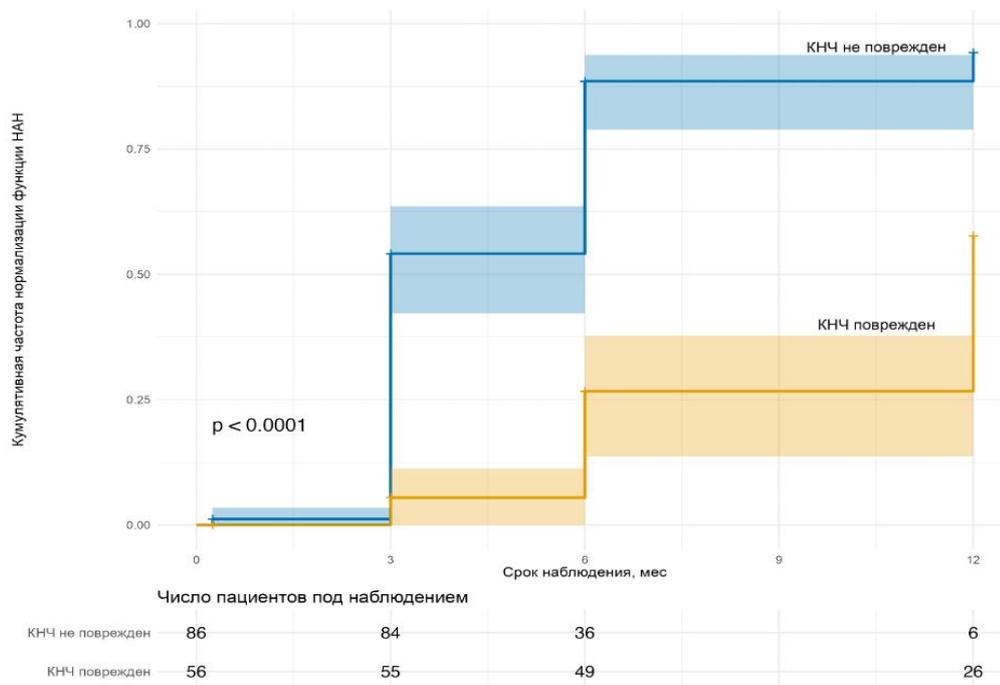


Рисунок 23. График кумулятивной частоты нормализации функции нижнего альвеолярного нерва (НАН) в зависимости от повреждения КНЧ фиксирующим винтом. Сравнение кривых проводилось с помощью лог-ранг теста.

Лог-ранговый критерий выявил статистически значимое различие по вероятности восстановления функции НАН в зависимости от повреждения КНЧ фиксирующим винтом с течением времени ( $p < 0,001$ ).

Результаты восстановления функции НАН представлены в таблице 4.

Таблица 4. Вероятность восстановления функции НАН у пациентов после остеосинтеза нижней челюсти, с распределением по группам, с повреждением фиксирующим винтом и без повреждения КНЧ, а также суммарно.

Группа	Время после лечения	Вероятность восстановления функции НАН (%)	95% ДИ (%)	Число пациентов с восстановлением функции НАН	Число цензурированных	Число подверженных риску
Без повреждения КНЧ	1 нед.	1,2	0-3,4	1	1	84
	3 мес.	54,1	42,2-63,6	45	3	84
	6 мес.	88,5	78,9-93,8	27	3	36
	12 мес.	94,3	84,3-97,9	3	3	6
С повреждением КНЧ	1 нед.	0	0-0	0	1	55
	3 мес.	5,5	0-11,3	3	3	55
	6 мес.	26,7	13,7-37,7	11	12	49
	12 мес.	57,7	38,9-70,7	11	15	26
Суммарная	1 нед.	0,7	0,0-2,1	1	2	139
	3 мес.	35,0	26,6-42,4	48	6	139
	6 мес.	64,1	54,9-71,3	38	15	85
	12 мес.	79,8	70,4-86,2	14	18	32

Медиана времени восстановления функции НАН составила 3 месяца для группы без повреждения КНЧ фиксирующим винтом, и 12 месяцев для группы с повреждением КНЧ. Таким образом, повреждение КНЧ винтом во время остеосинтеза оказывает существенное влияние на время, необходимое для восстановления функции НАН.

Дальнейшее исследование, проведенное с помощью регрессионного анализа пропорциональных рисков Кокса (таблица 5), выявило что, возраст не является значимым предиктором вероятности восстановления функции НАН ( $p = 0,372$ ). Вероятность восстановления функции НАН в 3,6 раза выше (95%ДИ 2,2–5,8) у пациентов без повреждения КНЧ фиксирующим винтом по сравнению с группой пациентов, где отмечалось повреждение КНЧ ( $p < 0,001$ ).

Таблица 5. Результаты регрессионного анализа для оценки влияния возраста и повреждения КНЧ фиксирующим винтом на вероятность восстановления функции НАН.

Переменные	В-коэффициент	Стандартная ошибка	Вальд	Степень свободы	p-value	Exp (B)	ДИ 95,0% для Exp(B)
Возраст	0,009	0,011	0,796	1	0,372	1,009	0,989 – 1,031
Повреждение КНЧ	1,283	0,245	27,473	1	0,000	3,608	2,233 – 5,831

### 3.3 Сравнительный анализ осложнений остеосинтеза нижней челюсти с применением цифрового протокола и без него

#### 3.3.1 Общая характеристика осложнений

При анализе демографических данных между изучаемыми группами по возрасту ( $p=0,067$ ) и полу ( $p=0,85$ ) не было выявлено статистических значимых различий.

Анализ структуры осложнений, которые наблюдались после на костном остеосинтеза в двух группах представлена на рисунок 24.

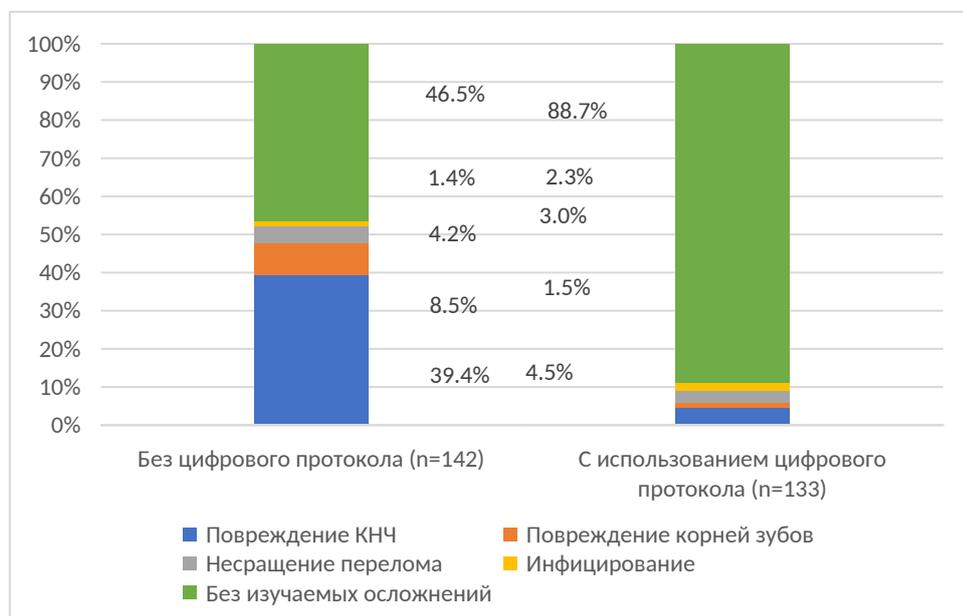


Рисунок 24. Структура осложнений при на костном остеосинтезе нижней челюсти в двух группах наблюдения.

Доля пациентов I группы, у которых были зарегистрированы изучаемые осложнения, составила 41,5% - 59/142 пациентов. Доля пациентов II группы с осложнениями составила 5,3% - 7/133 пациентов. У 1 пациента опреде-

лялось повреждение корня зуба и несращение перелома, инфицирование; у 1 пациента повреждение корня зуба, КНЧ и несращение перелома, инфицирование; у 1 пациента определялось несращение перелома, инфицирование (таблица 6).

Таблица 6. Количество пациентов с осложнениями в группах исследования

Показатель	I группа (n=142)		II группа (n=133)		p	ОШ; 95% ДИ
	Абс.	%	Абс.	%		
Осложнения (n/человек)	59	41,5	7	5,3	<0,001*	12,8; 5,6-29,4

\* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

Вероятность повреждений внутрикостных структур (КНЧ, тканей корней зубов и периодонта) в группе без применения цифрового протокола в 7,9 раза выше (95%ДИ 2,2–5,8), чем в группе где применялся цифровой протокол ( $p < 0,001$ ).

### 3.3.2 Повреждение канала нижней челюсти фиксирующими винтами

Рентгенологическая картина повреждения КНЧ была выявлено в общей сложности в двух группах исследования в количестве 62 случая (рисунок 25).

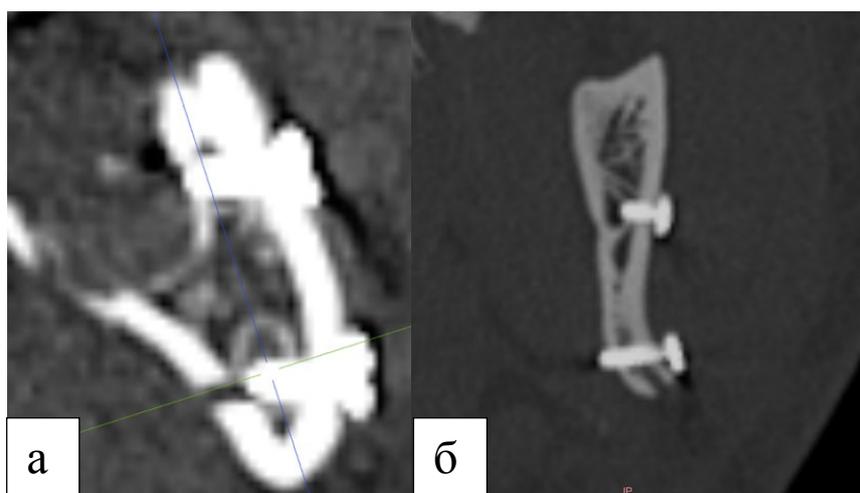


Рисунок 25. МСКТ после проведенного остеосинтеза, срезы во фронтальной плоскости, определяется прерывание контуров канала нижней челюсти: а – винтом нижней пластины, б – винтом верхней пластины.

При сравнении частоты повреждения КНЧ в зависимости от применения цифрового протокола остеосинтеза были получены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ). Шансы повреждения КНЧ увеличивались в группе пациентов, где не применялся цифровой протокол, в 8,74 раз (95% ДИ: 3,9-19,1). Между сопоставляемыми признаками отмечалась относительно сильная связь ( $V = 0,418$ ).

Отношение шансов развития осложнений между двумя группами представлены в таблице 7.

Таблица 7. Частота повреждения КНЧ в группах исследования, с применением и без применения цифрового протокола.

Осложнения	I группа (n=142)		II группа (n=133)		p	ОШ; 95% ДИ
	Абс.	%	Абс.	%		
Повреждение КНЧ	56	39,4	6	4,5	<0,001*	8,74; 3,9-19,1

\* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

### 3.3.3 Повреждение корней зубов и тканей периодонта

Рентгенологическая картина повреждения КНЧ была выявлено в общей сложности в двух группах исследования в количестве 14 случаев (рисунок 26).



Рисунок 26. МСКТ после проведенного остеосинтеза, срезы во фронтальной плоскости. Определяется повреждение периодонта зуба фиксирующим винтом.

При сравнении частоты повреждения корней зубов в зависимости от применения цифрового протокола остеосинтеза также были получены статистически значимые различия ( $p=0,011$ ). Шансы повреждения корней зубов увеличивались в группе пациентов, где не применялся цифровой протокол, в 6,05 раз (95% ДИ: 1,33-27,55). Между сопоставляемыми признаками отмечалась слабая связь ( $V = 0,158$ ). Отношение шансов развития осложнений между двумя группами представлены в таблице 8.

Таблица 8. Повреждения корней зубов и тканей периодонта в группах исследования, с применением и без применения цифрового протокола.

Осложнения	I группа (n=142)		II группа (n=133)		p-value	ОР; 95% ДИ
	Абс.	%	Абс.	%		
Повреждение корней зубов и тканей периодонта	12	8,5	2	1,5	=0,019*	5,62; 1,28-24,64

\* - различия показателей статистически значимы ( $p<0,05$ )

Из 14 пациентов у 2 пациентов было выполнено эндодонтическое лечение поврежденных зубов. Двум пациентам было выполнено удаление зубов в связи с отказом от эндодонтического лечения.

### 3.3.4 Инфицирование послеоперационной раны и несращение перелома

Общее число пациентов в двух группах с клиникой инфицирования послеоперационной раны составило 5, отсутствием консолидации костных фрагментов составило 10 (таблица 9).

Таблица 9. Несращение перелома и инфицирование в группах исследования, с применением и без применения цифрового протокола.

Осложнения	I группа (n=142)		II группа (n=133)		p-value	ОР; 95% ДИ
	Абс.	%	Абс.	%		

Несращение перелома	6	4,2	4	3,0	=0,828	1,40; 0,41-4,87
Инфицирование	2	1,4	3	2,3	=1	0,62; 0,11-3,68

\* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

Анализ встречаемости несращения перелома и инфицирования послеоперационной раны не выявил статистических значимых различий в изучаемых группах ( $p=0,828$  и  $p=1$  соответственно).

### **3.4 Анализ временных затрат цифрового протокола остеосинтеза**

Как демонстрируют результаты, представленные в предыдущих разделах, применение цифрового протокола с использованием ИХШ приводит к статистически значимому и клинически важному снижению частоты послеоперационных осложнений. Однако, для формирования целостного заключения о ценности новой методики, необходимо оценить ее влияние на организацию лечебного процесса, временные ресурсы и экономику здравоохранения. Внедрение любого инновационного метода должно не только улучшать исходы для пациента, но и быть практически реализуемым для лечебного учреждения.

#### **3.4.1 Сравнительный анализ продолжительности оперативного вмешательства**

Одним из ключевых параметров, определяющих нагрузку на хирургическую службу и операционные ресурсы стационара, является продолжительность оперативного вмешательства. Проведенный сравнительный анализ данного показателя между двумя группами выявил наличие статистически высоко значимых различий ( $p < 0,001$ ).

В группе I (стандартный остеосинтез,  $n=142$ ) средняя продолжительность оперативного вмешательства составила  $60,4 \pm 8,5$  минут. Медианное значение времени операции равнялось 60 минутам при интерквартильном размахе [55–66] минут. Данный разброс значений отражает стандартную вариативность, связанную с интраоперационным поиском оптимальной позиции

для пластин, необходимостью их коррекции и уточнением направления сверления.

В группе II (остеосинтез с ИХШ, n=133) была зафиксирована достоверно меньшая средняя продолжительность операции, которая составила  $40,8 \pm 7,1$  минут. Медиана данного показателя равнялась 41 минуте при интерквартильном размахе [36–46] минут.

Таким образом, применение цифрового протокола позволило сократить среднее время выполнения остеосинтеза нижней челюсти на 19,6 минут. В процентном соотношении данное сокращение составило 32,4% от времени, затрачиваемого при стандартной методике.

### **3.4.2 Анализ временных затрат на подготовку индивидуального хирургического шаблона**

Для формирования полной картины о влиянии методики на рабочий процесс были измерены и проанализированы временные затраты на всех этапах подготовки ИХШ для 133 пациентов основной группы.

- Этап виртуального планирования. Среднее время, затрачиваемое квалифицированным оператором на полный цикл виртуального планирования, составило  $1,5 \pm 0,3$  часа. Важно отметить, что данная деятельность выполняется в режиме «чистого времени» и требует активной концентрации специалиста.
- Этап 3D-печати. Среднее время печати одного ИХШ на фотополимерном 3D-принтере Phrozen Sonic Mini 8K составило  $2,0 \pm 0,2$  часа. Ключевым преимуществом данного этапа является его полная автоматизация. После загрузки файла и запуска процесса печати постоянное присутствие оператора не требуется. Это позволяет оптимально использовать рабочее время персонала, например, выполнять печать в ночное время или параллельно с проведением других операций.
- Этап постобработки и стерилизации. Процесс постобработки, включающий двукратную промывку в изопропиловом спирте и дозасветку

ультрафиолетом в аппарате Anycubic Wash and Cure 2.0, занимал в сумме около 35-40 минут. Полный цикл стерилизации шаблона в автоклаве (при температуре +120°C, давлении 1,1 атм) составлял 1,5 часа.

Суммарное «пассивное» время (печать и стерилизация) составляет около 3,5 часов. Суммарное «активное» время работы оператора не превышает 2 часов. Таким образом, общее время подготовки ИХШ, от момента получения данных МСКТ до получения стерильного шаблона, готового к применению в операционной, в среднем укладывалось в 5 – 5,5 часов.

Данный временной интервал является клинически приемлемым и вписывается в регламент оказания экстренной хирургической помощи при переломах нижней челюсти. Процесс планирования и изготовления шаблона может быть запущен сразу после поступления пациента, выполнения первичной МСКТ и принятия решения об оперативном лечении. К моменту выполнения операции (в течение первых 24 часов с момента госпитализации) ИХШ оказывается полностью готов, что не приводит к задержкам оказания медицинской помощи.

#### **Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенное комплексное исследование, объединяющее ретроспективный эпидемиологический анализ, проспективную оценку осложнений остеосинтеза и разработку цифрового протокола, позволило получить ряд значимых результатов, требующих детального обсуждения в контексте современных научных данных и клинической практики.

Результаты архивного исследования, охватившего 3843 случая переломов костей лицевого скелета, выявили, что в Кемеровской области доминирующей причиной травм челюстно-лицевой области является криминальная травма (57,8%), что существенно отличается от данных, представленных в большинстве отечественных и зарубежных исследований. Так, в работах, проведенных в других регионах России, а также в международных исследованиях, в качестве ведущих причин традиционно фигурируют дорожно-транспортные происшествия [50, 53, 104, 128, 153] или бытовая травма [7, 47]. Выявленная специфика, по всей видимости, является прямым отражением сложной социально-экономической обстановки в регионе, характеризующейся, согласно официальной статистике, подтвержденным высоким уровнем преступности [13]. Это обуславливает необходимость разработки не только медицинских, но и целевых социально-профилактических программ, направленных на снижение уровня насилия в Кузбассе.

Абсолютное преобладание переломов нижней челюсти (78,8% от всех повреждений лицевого скелета), подтверждает статус данной нозологии как центральной проблемы челюстно-лицевой травматологии. Выраженная половая диспропорция с преобладанием мужчин (соотношение 7,2:1) в основном трудоспособном возрасте (18-44 года) также является ожидаемой и хорошо описана в литературе. Полученные результаты по возрасту и половой принадлежности сопоставимы с данными отечественных исследователей [7, 17, 23, 37]. Выявленное преобладание переломов костей лица у мужчин, преимущественно трудоспособного возраста, может быть объяснено комплексом соци-

альных и поведенческих факторов. К ним относятся более высокая занятость мужчин в потенциально опасных отраслях промышленности (горнодобывающая, металлургическая), склонность к злоупотреблению алкоголем и, как следствие, большая вовлеченность в криминальные инциденты [28].

Сравнительный анализ доли пациентов с травмами ЧЛО среди всех госпитализированных в профильные отделения (28,3%) показал, что данный показатель варьирует в достаточно широких пределах — от 18,5% до 38%, что отражает региональные особенности организации травматологической помощи и учета. Относительно низкая доля детского травматизма (4,7%) согласуется с общемировой тенденцией, однако структура повреждений у детей (с абсолютным преобладанием переломов нижней челюсти — 72,5%) подчеркивает необходимость разработки специализированных протоколов лечения, учитывающих особенности растущего организма.

Ключевым элементом настоящего исследования явился проспективный анализ осложнений на костного остеосинтеза, который выявил клинически и статистически значимую проблему повреждения внутрикостных структур в процессе остеосинтеза. В группе стандартного остеосинтеза (I группа) частота повреждения КНЧ фиксирующими винтами достигла 39,4%, а повреждения корней зубов — 8,5%. Эти данные находятся в верхней границе диапазона, указанного в литературе, и свидетельствуют о высокой технической сложности и субъективной составляющей традиционной методики.

Центральным результатом, определяющим клиническую значимость работы, стало установление строгой зависимости между фактом ятрогенного повреждения КНЧ и восстановлением функции НАН. Регрессионный анализ Кокса показал, что вероятность восстановления чувствительности у пациентов без повреждения КНЧ в 3,6 раза выше ( $p < 0,001$ ), чем в группе, где фиксирующие винты располагались в просвете канала. Медиана времени восстановления функции НАН составила 3 месяца против 12 месяцев соответственно. Эти данные имеют фундаментальное значение, так как впервые на репрезентативной выборке и с применением объективных методов диагностики дока-

зано, что позиционирование винта в КНЧ является не просто рентгенологическим артефактом, а ключевым негативным прогностическим фактором, определяющим длительность и полноту реабилитации пациента.

Полученные результаты не противоречат данным зарубежных исследований. В работе Тау А.В. и соавт. 2015 г. было проведено исследование 80 пациентов с переломами нижней челюсти с явлениями нейропатии НАН. В данной научной работе одним из аспектов исследования являлось сравнение распространённости нейропатии НАН до оперативного лечения и после него. Авторы обнаружили, что частота возникновения нейропатии НАН после проведения операции выше, чем до нее - 56,2% до операции и 72,9% после. В исследовании не было проанализировано влияние расположения фиксирующих винтов на развитие нейропатии, а также не проводился анализ послеоперационного восстановления функции нерва [144], что ограничивает его ценность для прогнозирования исходов.

Изучение вопроса о влиянии расположения титановых винтов относительно КНЧ на протекании нейропатии НАН было рассмотрено Sinha и соавт. 2015 г. Объектом исследования являлись 118 пациенты с III классом скелетной аномалии прикуса, которым проводилась остеотомия по Obwegeser–Dal Pont. Пациенты были разделены на две группы: первая группа — фиксации костных фрагментов проводилась титановыми винтами монокортикально, вторая группа — бикортикально. В данном исследовании авторы отмечают более высокую частоту повреждения КНЧ фиксирующим винтом при бикортикальной фиксации костных фрагментов. У 58,8% пациентов с бикортикальной фиксацией (40 из 68) наблюдалось повреждение КНЧ, в то время как у 6% пациентов с монокортикальной фиксацией (3 из 50) такое повреждение не было обнаружено. В исследовании не было проведено анализа регрессии нейропатии НАН в послеоперационном периоде [136]. Таким образом, наше исследование восполняет существующий пробел, предоставляя количественную оценку влияния этого ятрогенного фактора на динамику восстановления нерва.

Важным методологическим достижением настоящей работы является внедрение комплексного подхода к диагностике нейросенсорных нарушений, сочетающего валидированный опросник DN4 и объективный метод измерения электровозбудимости кожи (ЭВК). Такой подход позволил минимизировать субъективизм в оценке и получить достоверные данные. В отличие от многих исследований, где оценка функции НАН основывалась лишь на субъективных жалобах пациента, применение инструментального метода (ЭВК) предоставило объективный количественный маркер, что является несомненным преимуществом и повышает достоверность выводов.

Разработанный и внедренный в клиническую практику цифровой протокол остеосинтеза с использованием индивидуальных хирургических шаблонов (ИХШ) продемонстрировал выдающуюся эффективность. Сравнительный анализ показал статистически значимое ( $p < 0,001$ ) снижение частоты ключевых осложнений: повреждения КНЧ — с 39,4% до 4,5% (в 8,74 раз), повреждения корней зубов — с 8,5% до 1,5% (в 5,62 раз). Суммарная доля пациентов с осложнениями сократилась с 41,5% до 5,3%. Эти цифры свидетельствуют о том, что предоперационное виртуальное планирование и использование навигационных шаблонов позволяет перевести остеосинтез нижней челюсти из манипуляции, в значительной степени зависящего от опыта и мануальных навыков хирурга, в категорию управляемых и воспроизводимых технологических процессов с предсказуемым результатом.

Сокращение среднего времени операции на 32,4% является значимым организационным преимуществом. Это достигается за счет исключения наиболее длительных и вариабельных этапов стандартной операции: интраоперационного подбора и контурирования пластин, многократных пробных позиционирований и поиска «безопасных» направлений для сверления. В условиях экстренной хирургии и высокой загруженности стационара такое сокращение времени вмешательства позволяет повысить пропускную способность операционной и снизить общую анестезиологическую и хирургическую нагрузку на пациента.

Полученные результаты находятся в русле общемировых тенденций развития навигационной и персонализированной хирургии. Похожая работа применения цифрового протокола при двухстороннем переломе была представлена в исследовании Huang Y и соавт. (2019). В данной работе описывается применение модифицированного цифрового хирургического руководства, окклюзионного шаблона и предварительно сформированной титановой пластины при остеосинтезе двустороннего перелома нижней челюсти. Авторы отмечают, представленная методика значительно повысило точность сопоставления костных фрагментов, уменьшило время оперативного вмешательства и сократило количество послеоперационных осложнений [87]. Однако, в отличие от указанной работы, представленный в этом диссертационном исследовании протокол является более универсальным, предназначенным для наиболее распространенных линейных переломов в области угла и тела челюсти, и использует более доступное программное обеспечение.

Сравнительный анализ методов лечения пациентов с переломами нижней челюсти было проведено Zhao L и соавт. (2021г). Пациенты с переломами нижней челюсти были разделены на три группы: первая группа проходила виртуальное репозиционирование фрагментов челюсти, проектирование и изготовление хирургических шаблонов для позиционирования титановых пластин, а также предоперационное моделирование; во второй группе проводилось только виртуальное репозиционирование и моделирование титановых пластин; третья группа получала лишь виртуальную репозицию. Оценка результатов лечения осуществлялась через месяц после операции при помощи повторного МСКТ для анализа симметричности лицевого отдела черепа и стояния костных фрагментов, степени открывания рта и субъективных ощущений пациентов. Наилучшие результаты по симметрии лицевого отдела черепа и расположению костных фрагментов показала первая группа, в которой проводилось полный цифровой протокол [159].

Критически важным аспектом для широкого внедрения любой новой технологии является ее экономическая обоснованность и организационная

реализуемость. Предложенный цифровой протокол обладает рядом преимуществ в этом плане. Во-первых, он базируется на использовании бесплатного программного обеспечения с открытым исходным кодом (InVesalius, Meshmixer), что устраняет необходимость значительных капиталовложений в дорогостоящие лицензионные пакеты. Во-вторых, себестоимость одного ИХШ, учитывая затраты на фотополимер и электроэнергию, является крайне низкой. В-третьих, общее время подготовки шаблона (5-5,5 часов) укладывается в клинически приемлемые сроки оказания экстренной помощи, что делает метод применимым в условиях реального стационара.

Автоматизированный этап 3D-печати не требует постоянного присутствия оператора, что позволяет рационально использовать рабочее время среднего медицинского персонала или лаборанта. Таким образом, основным ресурсом для внедрения методики является не финансовый, а интеллектуальный — наличие специалиста (врача-хирурга), мотивированного к освоению цифровых технологий и способного выполнять виртуальное планирование.

Проведенное исследование открывает перспективное направление для дальнейших научных и практических разработок, а именно разработку собственного программного обеспечения для планирования остеосинтеза в челюстно-лицевой хирургии с набором специализированных функций:

- Автоматизированная сегментация костных структур с алгоритмами ИИ для точного выделения фрагментов перелома.
- Модуль виртуальной репозиции с возможностью автоматического сопоставления отломков по анатомическим ориентирам.
- Биомеханический симулятор для прогнозирования распределения нагрузок на конструкцию.
- База данных титановых имплантатов или моделирование индивидуальных имплантов с возможностью виртуального позиционирования.
- Автоматизированное проектирование ИХШ с оптимизацией конструкции под конкретный 3D-принтер.

Разработка ПО позволит не только оптимизировать рабочий процесс, но и создать конкурентоспособный отечественный продукт в области медицинских цифровых технологий.

Совершенствование разработанного цифрового протокола позволит в будущем применять его для лечения оскольчатых переломов нижней челюсти, а последующая адаптация возможна для остеосинтеза переломов верхней челюсти и скуло-орбитального комплекса.

Настоящее диссертационное исследование представляет собой комплексную работу, направленную на решение актуальной проблемы современной челюстно-лицевой хирургии - снижение частоты послеоперационных осложнений при остеосинтезе переломов нижней челюсти. Проведенные исследования объединило фундаментальные и прикладные аспекты, включая эпидемиологический анализ, разработку инновационной методики и оценку ее клинической эффективности. Исследование, основанное на анализе 3843 медицинских карт за период 2015-2020 гг., позволило выявить ключевые закономерности травматизма челюстно-лицевой области в Кемеровской области. Установлено, что переломы нижней челюсти составляют 78,8% всех повреждений лицевого скелета, что превышает среднероссийские показатели. Особого внимания заслуживает выявленная зависимость структуры травм от этиологического фактора: в отличие от большинства регионов России, где преобладает бытовая травма и ДТП, в Кузбассе ведущей причиной (57,8%) являются криминальные повреждения. Это требует особого подхода к организации травматологической помощи и разработке профилактических программ.

Проведя анализ выполненной архивной работы, было начато клиническое и лабораторное исследование с участием 275 пациентов стационара с переломами нижней челюсти.

Исследования включала проспективное когортное исследование 275 пациентов, разделенных на две группы: традиционный остеосинтез (n=142) и остеосинтез с применением цифрового протокола (n=133). Полученные данные убедительно доказали, что стандартный метод остеосинтеза без навигации сопровождается высоким риском осложнений: повреждение нижнего альвеолярного нерва (39,4%), травма корней зубов (8,5%), несращение переломов (4,2%). Особую тревогу вызывает факт сохранения нейросенсорных нарушений у 72,9% пациентов через 12 месяцев при повреждении канала нижней челюсти фиксирующими винтами.

Разработанный цифровой протокол остеосинтеза с применением индивидуальных хирургических шаблонов продемонстрировал преимущество над традиционными методами. Ключевые преимущества методики:

- Использование открытого программного обеспечения - делает метод доступным для большинства медицинских учреждений

- Время изготовления шаблона позволяет применять методику в экстренной хирургии

Особого внимания заслуживает методология оценки нейросенсорных нарушений, включающая комплексный подход с использованием опросника DN4 и инструментального измерения электровозбудимости кожи. Это позволило объективизировать оценку результатов лечения и доказать преимущества цифрового протокола в восстановлении функции нижнего альвеолярного нерва.

Внедрение методики в клиническую практику ГАУЗ «Кузбасская областная клиническая больница им. С.В. Беляева» и МБЛПУ «Городская клиническая больница №1» г. Новокузнецка подтвердило ее воспроизводимость и эффективность в реальных клинических условиях. Полученные результаты согласуются с мировыми тенденциями развития навигационной хирургии, что подчеркивает перспективность дальнейшего совершенствования метода.

## КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР №1

Пациент К., 34 года - поступил в отделение ЧЛХ РПХ Кузбасской областной клинической больницы им. С. В. Беляева с жалобами на боль в области угла нижней челюсти справа, болезненное и ограниченное открывание рта, нарушение смыкания зубов, онемение кожи нижней губы и подбородка справа. Анамнез заболевания – криминальная травма.

Данные объективного осмотра: при внешнем осмотре определялось нарушение конфигурации лица за счет отека правой околоушно-жевательной области. Открывание рта до 1,5 см, болезненное в области угла нижней челюсти справа. Симптом нагрузки на нижнюю челюсть положительный в области угла справа. При осмотре полости рта определялось нарушение прикуса за счет дизокклюзии в области жевательных зубов справа. Зуб 4.8 не прорезался. В ретромололярной области справа определялся разрыв слизистой оболочки до 0,5см. При пальпации нижней челюсти определялась костная ступенька до 4мм и подвижность костных фрагментов указанной области. Пациенту выполнено рентгенография нижней челюсти в прямой и правой боковой проекции, по результатам которой определялась линия перелома на уровне непрорезавшегося зуба 4.8 со смещением малого фрагмента на 4мм. По результатам клинического осмотра и данных рентгенологического исследования установлен диагноз – перелом нижней челюсти по углу справа со смещением. Пациенту было выполнено шинирование по Тигерштедту, после которого при пальпации смещение костных фрагментов не устранялось. С целью рентгенологического контроля стояния костных фрагментов выполнено МСКТ, по результату которого сохранялось смещение малого фрагмента кверху на 5мм (рис 27). Пациенту планировалась оперативное вмешательство под общим обезболиванием (ЭТН с назотрахеальной интубацией) в объеме репозиции и остеосинтеза нижней челюсти титановыми пластинами с использованием ИХШ.

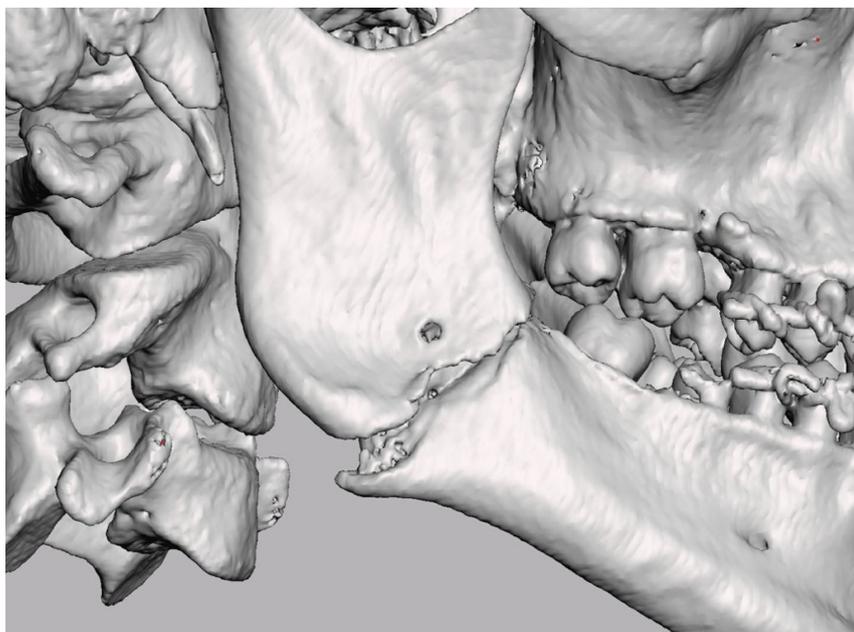


Рисунок 27. 3D рендеринг МСКТ пациента К. после шинирования по Тигершtedту.

На этапе планирования данные МСКТ из формата DICOM программе Invensalius® 3.1 были конвертированы в формат STL. Далее с помощью программы AUTODESK Meshmixer® выполнено сегментирование модели нижней челюсти и выполнена виртуальная репозиция (рис. 28).

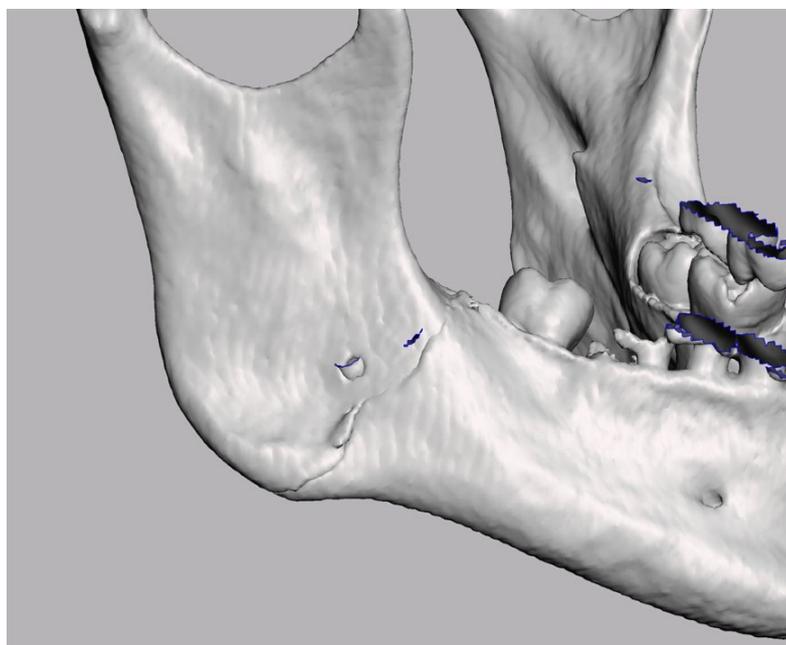


Рисунок 28. Выполнена виртуальная репозиция моделей костных фрагментов.

Далее спозиционированы модели титановых пластин. Позиционирование выполнено с учетом расположения КНЧ, корней зубов и принципов стабильного остеосинтеза (рис. 29).

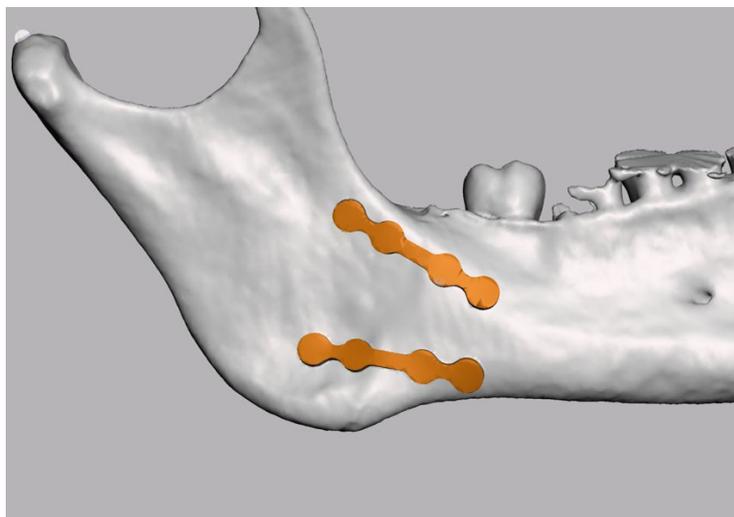


Рисунок 29. Спозиционированы модели титановых пластин.

Далее спроектирован ИХШ. Угол наклон направляющих шахт также рассчитаны так, чтобы исключить повреждение внутрикостных структур (рис. 30).

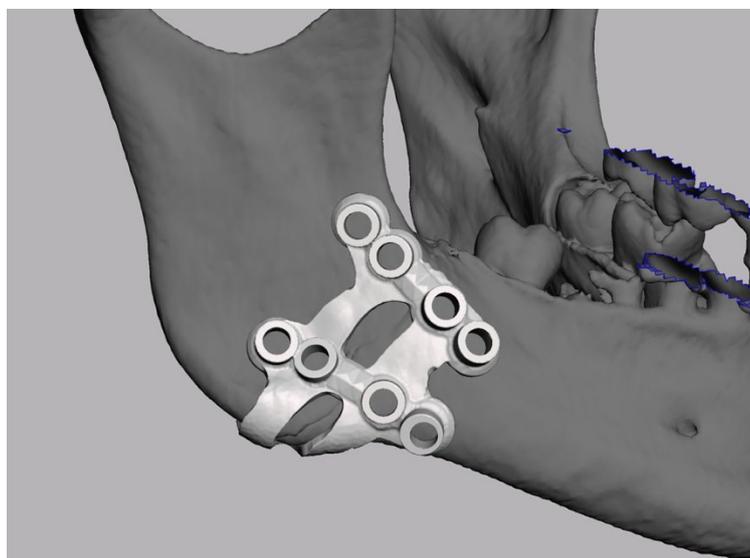


Рисунок 30. Спроектирован хирургический шаблон.

Спроектированный шаблон изготовлен на 3D принтере Phrozen Sonic 8k mini (рис. 31). Стерилизация шаблона выполнена путем автоклавирования.



Рисунок 31. Хирургический шаблон изготовлен на 3D принтере.

Оперативное лечение выполнено под эндотрахеальным наркозом. В полости рта выполнена фиксация прикуса лигатурной проволокой. В асептических условиях выполнен разрез в правой подчелюстной области до 7см. Ткани послойно рассечены. Скелетирована наружная поверхность угла нижней челюсти, визуализирована линия перелома (рис. 32).

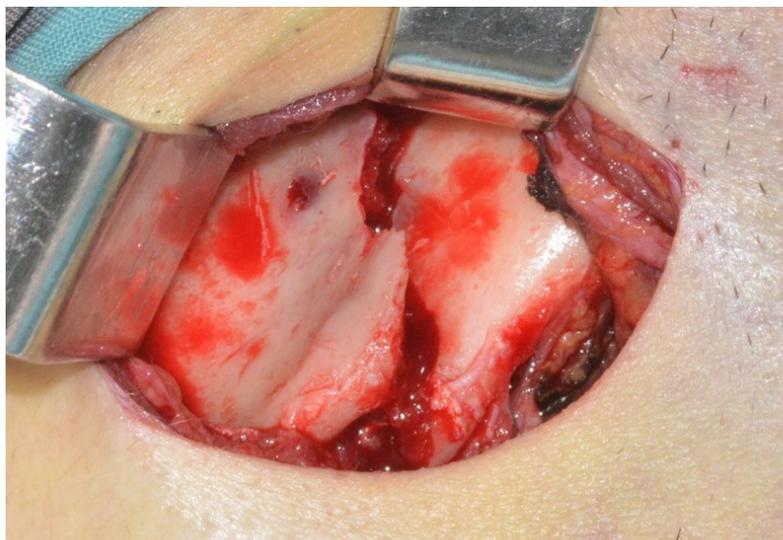


Рисунок 32. Вид операционной раны после скелетирования нижней челюсти.

В стерильный ИХШ установлены и адаптированы согласно заданному рельефу титановые пластины (рис 33).

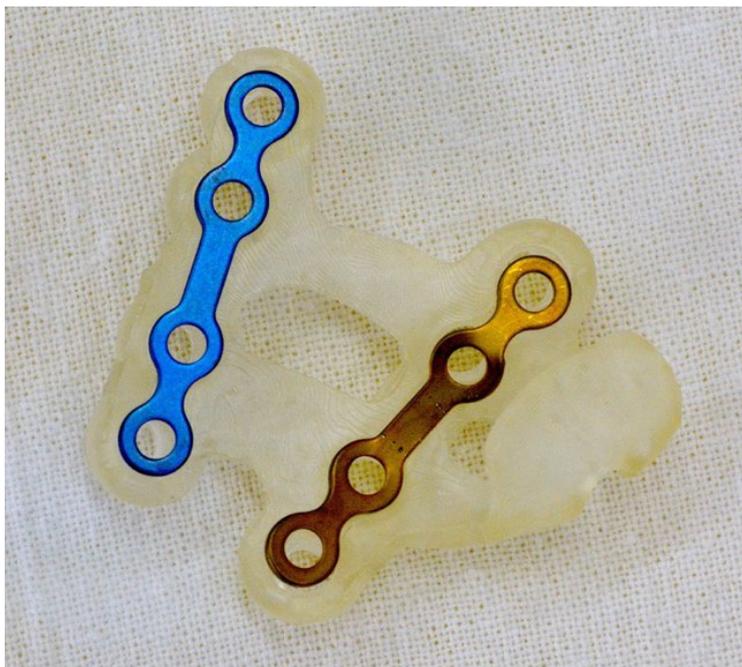


Рисунок 33. В хирургический шаблон установлены титановые пластины.

Далее после репонирования костных фрагментов, шаблон помещен в операционную рану и позиционирован относительно щели перелома. Засверливание и установка титановых винтов происходила через направитель сверла, которой в свою очередь устанавливается в шахты шаблона (рис. 34).

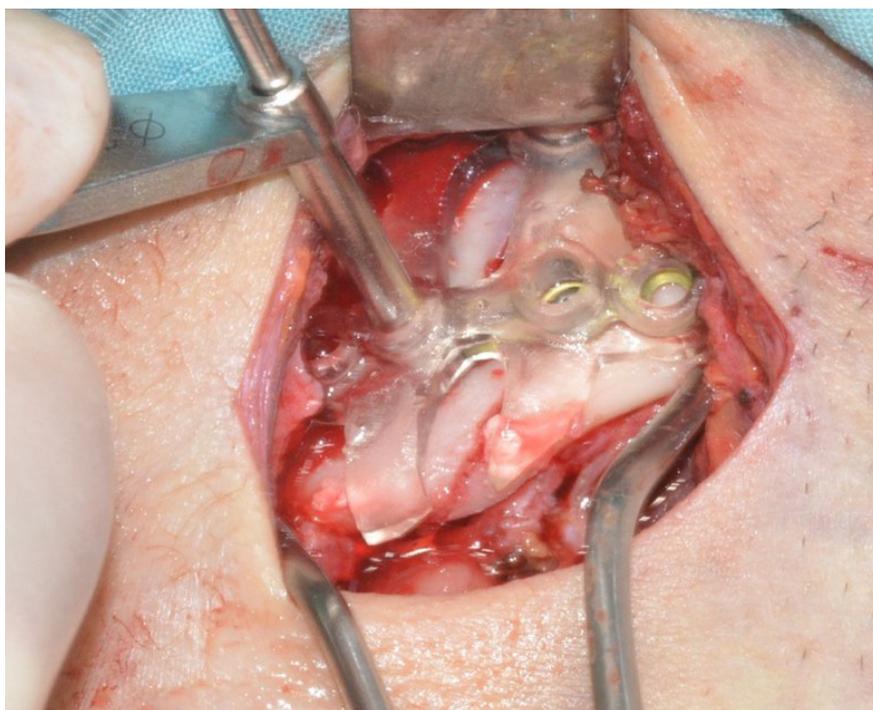


Рисунок 34. Вид шаблона в операционной ране.

После фиксации титановых пластин винтами, ИХШ удаляется, проводится визуальный контроль стояние костных фрагментов (рис. 35).

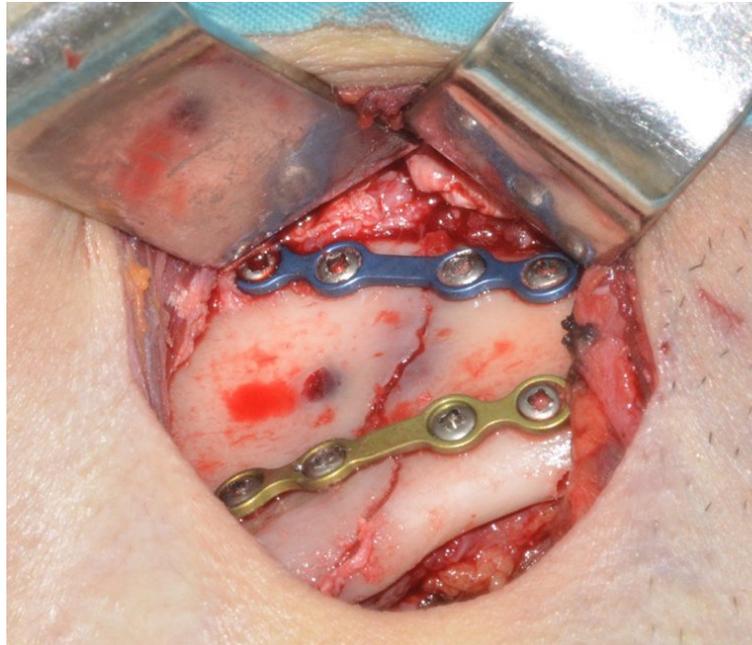


Рисунок 35. Вид операционной раны. Выполнен остеосинтез, удален хирургический шаблон.

После выполнения остеосинтеза, рана ушита послойно, дренирована. Наложена асептическая повязка. Дренаж был удален на вторые сутки. На седьмые сутки сняты швы, выполнено контрольное МСКТ. На контрольном рентгенологическом исследовании смещение костных фрагментов устранено, фиксирующие винты располагаются вне канала нижней челюсти и лунки удаленного зуба (рис. 36). Шины сняты на четырнадцатые сутки после остеосинтеза.

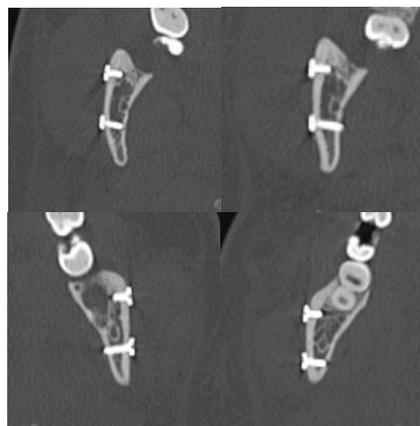


Рисунок 36. Срезы во фронтальной плоскости МСКТ после остеосинтеза.

## КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР №2

Пациент В., 25 лет - поступил в отделение ЧЛХ РПХ Кузбасской областной клинической больницы им. С. В. Беляева с жалобами на боль в области угла нижней челюсти справа, болезненное и ограниченное открывание рта, нарушение смыкания зубов, онемение кожи нижней губы и подбородка справа. Анамнез заболевания – бытовая травма в результате падения.

Данные объективного осмотра: при внешнем осмотре определялось нарушение конфигурации лица за счет отека правой околоушно-жевательной области. Открывание рта до 2 см, болезненное в области угла нижней челюсти справа. Симптом нагрузки на нижнюю челюсть положительный в области угла справа. При осмотре полости рта определялось нарушение прикуса за счет дисокклюзии в области жевательных зубов справа. Зуб 4.8 не прорезался. В ретмолярной области справа определялся разрыв слизистой оболочки до 0,5см. При пальпации нижней челюсти определялась костная ступенька до 4мм и подвижность костных фрагментов указанной области. Пациенту выполнено рентгенография нижней челюсти в прямой и правой боковой проекции, по результатам которой определялась линия перелома на уровне непрорезавшегося зуба 4.8 со смещением малого фрагмента на 4мм. По результатам клинического осмотра и данных рентгенологического исследования установлен диагноз – перелом нижней челюсти по углу справа со смещением. Пациенту было выполнено шинирование по Тигерштедту, после которого при пальпации смещение костных фрагментов не устранялось. С целью рентгенологического контроля стояния костных фрагментов выполнено МСКТ, по результату которого сохранялось смещение малого фрагмента кверху на 5мм (рис 37). Пациенту планировалась оперативное вмешательство под общим обезболиванием (ЭТН с назотрахеальной интубацией) в объеме репозиции и остеосинтеза нижней челюсти титановыми пластинами с использованием ИХШ.

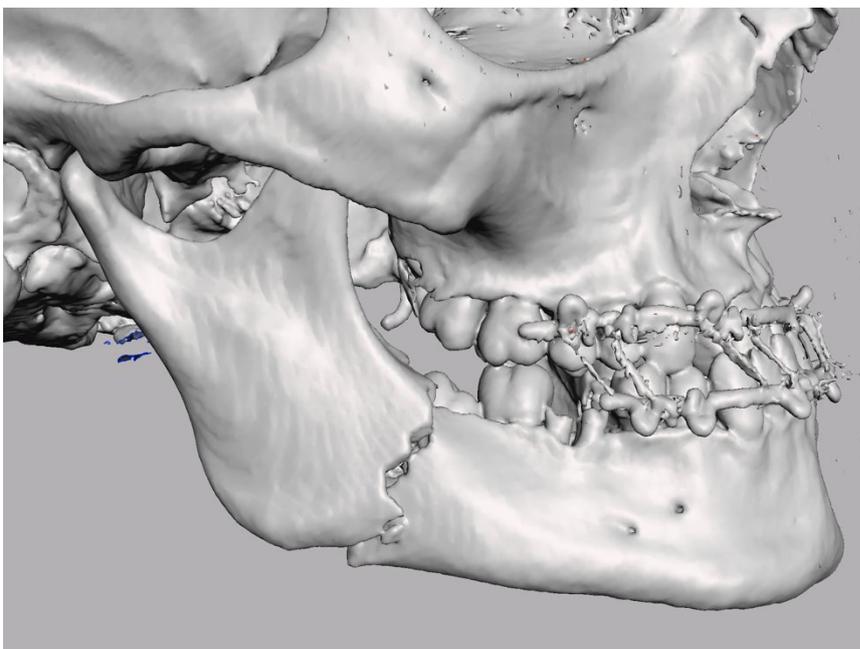


Рисунок 37. 3D рендеринг МСКТ пациента К. после шинирования по Тигерштедту.

На основе данных предоперационной МСКТ в программах InVesalius® 3.1 и Autodesk Meshmixer® выполнена сегментация нижней челюсти, создана 3D-модель и осуществлена виртуальная репозиция костных фрагментов в анатомически правильное положение (рис. 38).

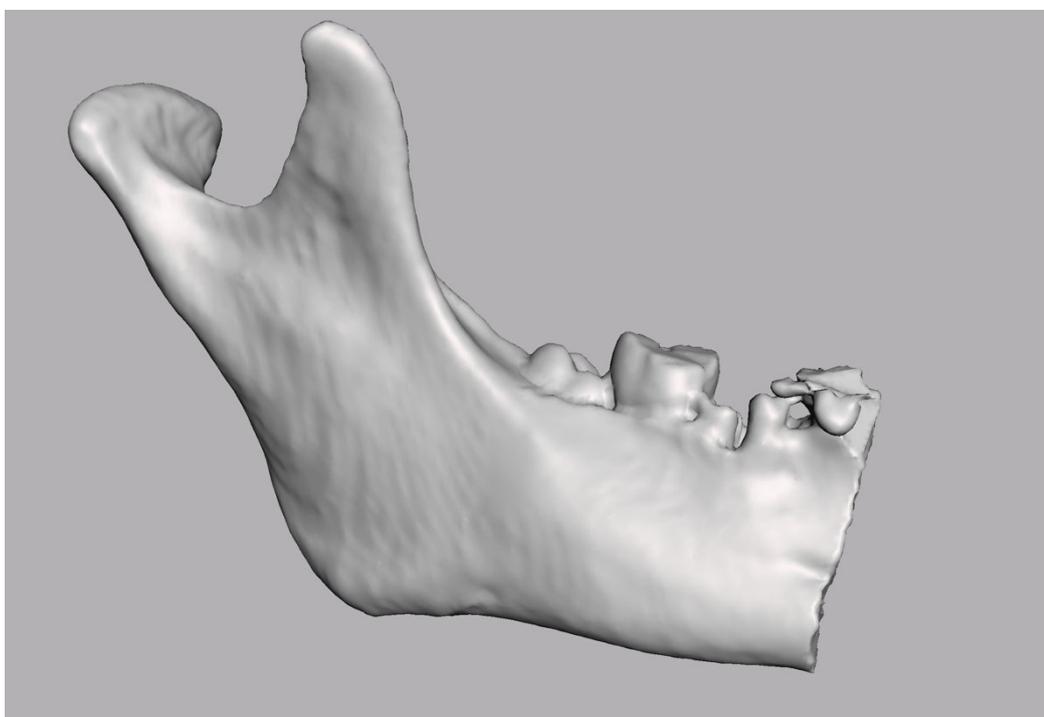


Рисунок 38. Выполнена виртуальная репозиция моделей костных фрагментов.

Далее на цифровой модели выполнено позиционирование виртуальных аналогов титановых мини-пластин с учетом топографии нижнечелюстного канала, корней зубов и принципов стабильной фиксации (рис. 39).

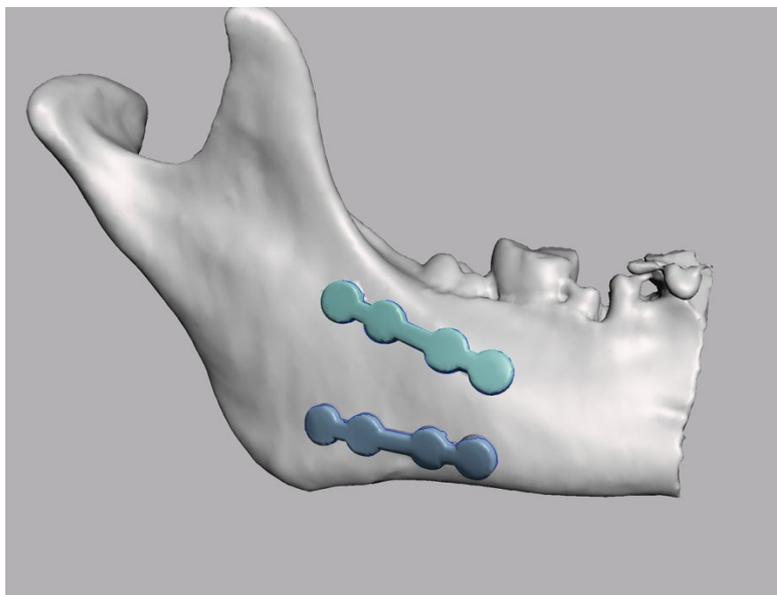


Рисунок 39. Спозиционированы модели титановых пластин.

На основании полученной виртуальной конструкции спроектирован ИХШ с направляющими каналами для сверления. Расчет угла наклона каналов был выполнен для исключения повреждения корней зубов и сосудисто-нервных пучков (рис. 40). Шаблон изготовлен методом 3D-печати на принтере Phrozen Sonic Mini 8K из биосовместимого фотополимера с последующей стерилизацией автоклавированием (рис.41).

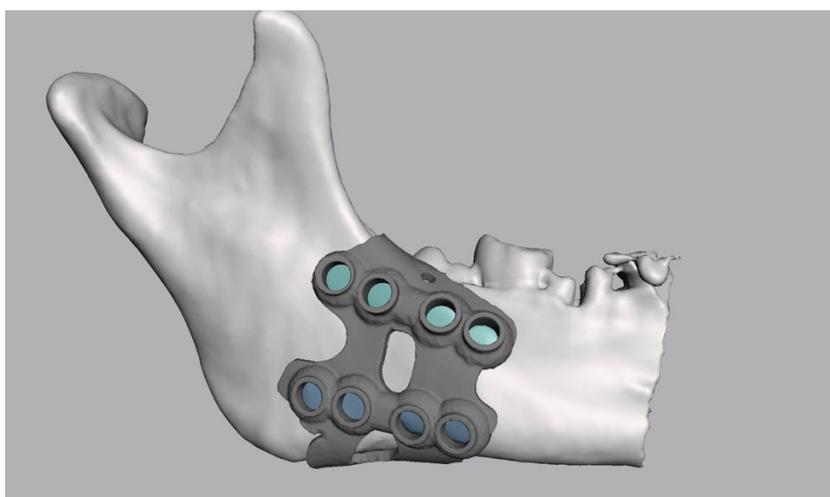


Рисунок 40. Спроектирован хирургический шаблон.



Рисунок 41. Хирургический шаблон изготовлен на 3D принтере.

Операция проводилась под эндотрахеальным наркозом. После предварительной межчелюстной фиксации осуществлен внутриротовой доступ к месту перелома и проведена репозиция костных фрагментов (рис. 42).



Рисунок 42. Вид операционной раны после скелетирования нижней челюсти и репонирования костных фрагментов.

После визуализации линии излома в ИХШ установлены титановые пластины (рис. 43). После чего шаблон позиционирован в ране (рис. 44).



Рисунок 43. В хирургический шаблон установлены титановые пластины.

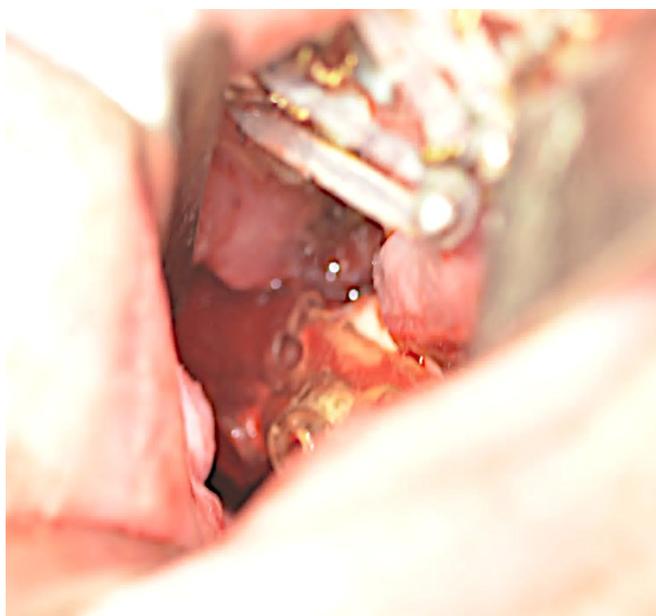


Рисунок 44. Вид шаблона в операционной ране.

С помощью трансбуккального проводника через направляющие каналы выполнено сверление и установка фиксирующих винтов.

После фиксации пластин и удаления шаблона произведен контроль репозиции отломков (рис. 45). Операционная рана ушита послойно с установкой дренажа.

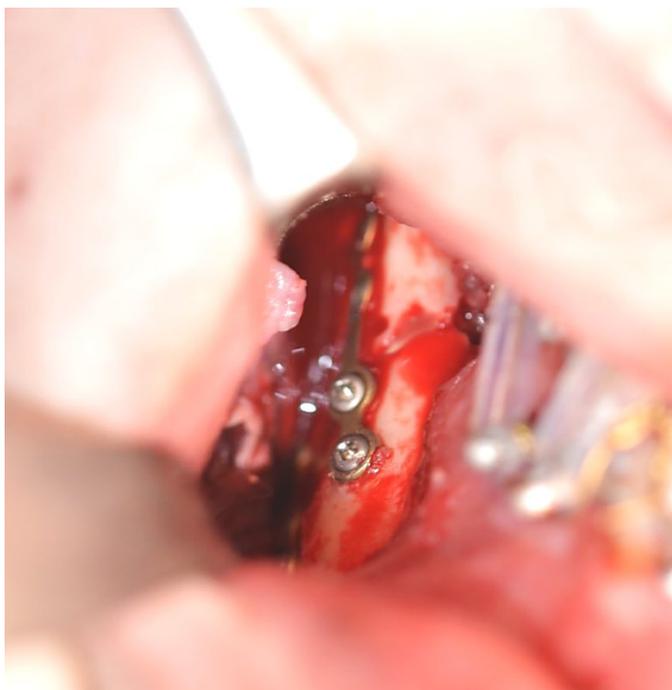


Рисунок 45. Вид операционной раны. Выполнен остеосинтез, удален хирургический шаблон.

Контрольное МСКТ-исследование (рис. 46, 47) подтвердило точную репозицию костных фрагментов и корректное положение фиксирующих элементов вне критических анатомических структур. Межчелюстная фиксация снята на 14-е сутки. Осложнений в послеоперационном периоде не отмечалось.

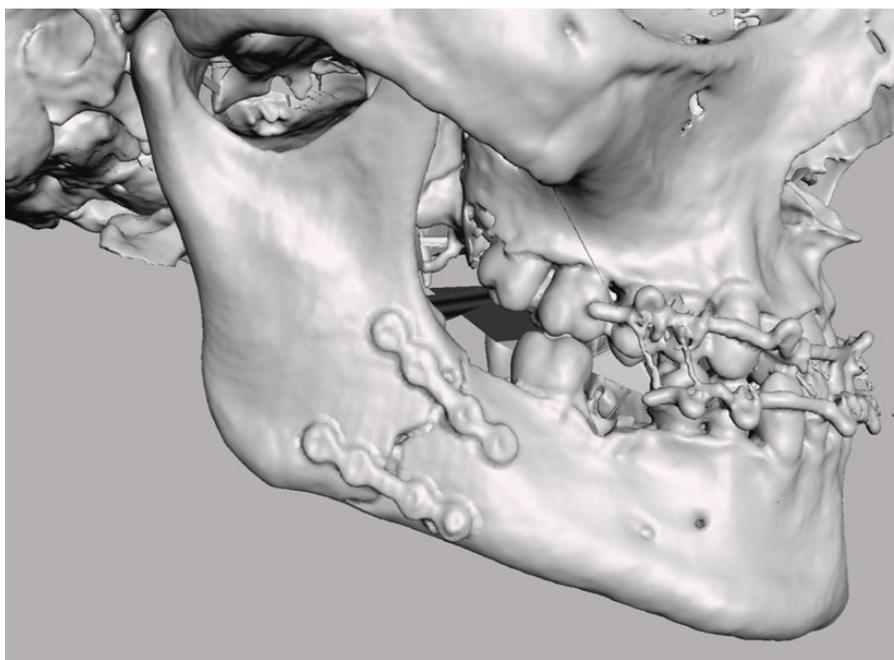


Рисунок 46. 3D рендеринг МСКТ пациента К. после остеосинтеза.

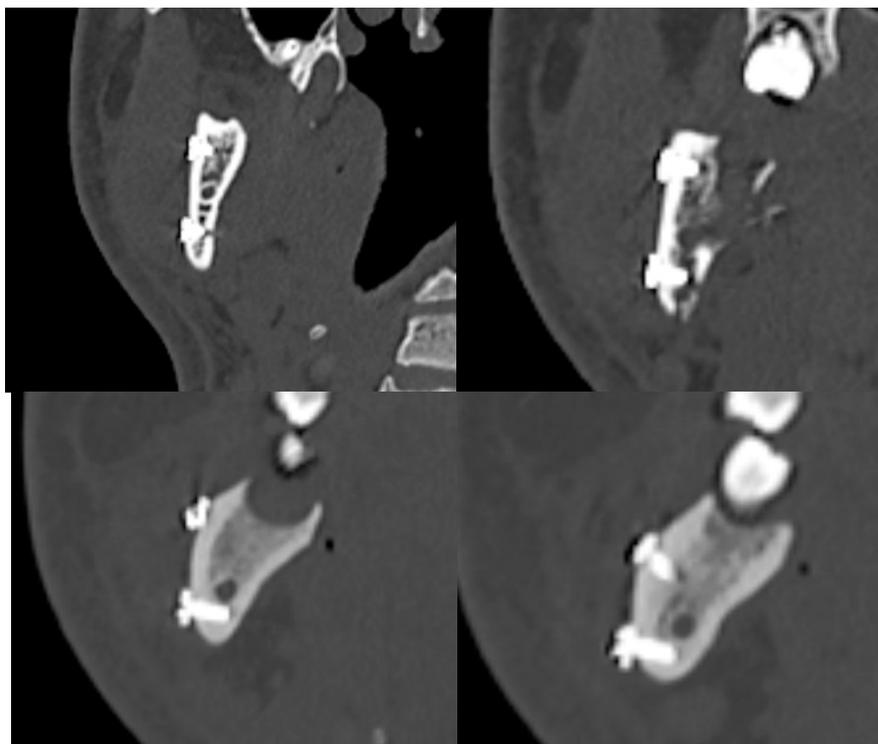


Рисунок 47. Срезы в фронтальной плоскости МСКТ после остеосинтеза.

## ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ установил высокую распространенность переломов нижней челюсти (78.8% от всех травм ЧЛЮ) в Кемеровской области с преобладанием криминального генеза (57.8%).

2. Наибольшее количество изучаемых осложнений без применения цифрового протокола является повреждение фиксирующими винтами КНЧ (39.4%). Реже встречались повреждения корней зубов (8.5%) и нарушение консолидации (4%).

3. Выявлена зависимость восстановления функции НАН от расположения фиксирующего винта. Вероятность восстановления функции нижнего альвеолярного нерва в 3,6 раза выше у пациентов без повреждения канала нижней челюсти по сравнению с группой пациентов, где отмечалось повреждение.

4. Разработанный и внедренный в клиническую практику цифровой протокол остеосинтеза нижней челюсти сокращает количество повреждений внутрикостных структур фиксирующими элементами в 7.9 раза. Дополнительными преимуществами метода являются снижение времени операции на 32,4%.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. С целью диагностики нейросенсорных нарушений нижнего альвеолярного нерва целесообразно использовать комбинацию опросника DN4 и измерение электровозбудимости кожи в области нижней губы и кожи подбородочной области.
2. Для виртуального планирования операций и проектирования ИХШ рекомендуется применять программное обеспечение с открытым исходным кодом (такое как InVesalius и Autodesk Meshmixer), что делает методику финансово доступной и не требует значительных капиталовложений в лицензионное программное обеспечение.
3. Рекомендуется внедрить разработанный цифровой протокол остеосинтеза нижней челюсти с использованием индивидуальных хирургических шаблонов в качестве лечения при переломах нижней челюсти с целью снижения послеоперационных осложнений.
4. Для обеспечения доступности технологии виртуального планирования челюстно-лицевым стационарам рекомендуется использовать программное обеспечение с открытым исходным кодом, такое как InVesalius (для построения 3D-моделей на основе данных КТ) и Autodesk Meshmixer (для виртуальной репозиции отломков, позиционирования пластин и проектирования шаблонов). Это позволяет внедрить методику без значительных капиталовложений в дорогостоящее лицензионное ПО.
5. С целью повышения практических навыков хирургов рекомендуется включить в программы повышения квалификации и циклы профессиональной переподготовки по челюстно-лицевой хирургии модули, посвященные основам виртуального 3D-планирования операций, работе с ПО для медицинского моделирования и принципам применения аддитивных технологий в клинической практике.

**Список сокращений**

**ИХШ** – индивидуальный хирургический шаблон.

**КЛКТ** – конусно-лучевая компьютерная томография.

**КНЧ** – канал нижней челюсти.

**МСКТ** – мультиспиральная компьютерная томография.

**НАН** – нижний альвеолярный нерв.

**НСН** – нейросенсорные нарушения.

**ПО** – программное обеспечение.

**ЦП** – цифровой протокол.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрашитова, А. Б. Временная нетрудоспособность пациентов при травмах челюстно-лицевой области / А. Б. Абдрашитова, Р. А. Салеев // Российский стоматологический журнал. – 2019. – Т. 23, № 3-4. – С. 133–139.
2. Александрова, Г.А. Социально значимые заболевания населения России в 2018 году (Статистические материалы) / Г.А. Александрова, Н.А. Голубев, Е.М. Тюрина [и др.].– Текст: непосредственный / Сборник статистических материалов Минздрава РФ.– Москва, 2019.– С. 59–63.
3. Артюшкевич, А. С. Биомеханическое обоснование остеосинтеза нижней челюсти в области ее альвеолярной части / А. С. Артюшкевич // Стоматология. – 1993. – № 1. – С. 18–19.
4. Артюшкевич, А. С. Первый опыт остеосинтеза нижней челюсти внутриротовым доступом минипластинами из титана / А. С. Артюшкевич // Актуальные вопросы челюстно-лицевой хирургии и стоматологии: тезисы докладов на конференции, посвященной 100-летию Д. А. Энтина. – Л., 1988. – С. 10–11.
5. Гавловская, Г. В. Проблемы и тенденции в социальной сфере России в условиях устойчивого развития / Г. В. Гавловская, Н. О. Пушкарева // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 4-1. – С. 19–28.
6. Георгиева, К. Внутриротовой остеосинтез при переломах нижней челюсти / К. Георгиева // Стоматология. – 1962. – № 5. – С. 58–60.
7. Глухова, Ю. М. Эпидемиологические аспекты травм челюстно-лицевой области среди населения города Хабаровска / Ю. М. Глухова, В. П. Синяков, А. Н. Синякова // Институт стоматологии. – 2018. – № 1 (78). – С. 28–29.
8. Головский, П. И. Индивидуальный хирургический шаблон для проведения остеосинтеза при переломе мышцелкового отростка нижней челюсти : патент RU 213082 U1: дейст. с 23.08.2022 / П. И. Головский, Ж. Е. Городков, А. И. Пылков, С. А. Батищев.

9. Головский, П. И. Способ остеосинтеза при переломе мышцелкового отростка нижней челюсти с применением индивидуального хирургического шаблона: патент RU 2786796 С1: дейст. с 26.12.2022 / П. И. Головский, Ж. Е. Городков, А. И. Пылков, С. А. Батищев.

10. Городков, Ж. Е. Индивидуальный хирургический шаблон для проведения остеосинтеза при переломах угла и тела нижней челюсти : патент RU 208411 U1: дейст. с 22.06.2021 / Ж. Е. Городков, А. И. Пылков, П. И. Головский, С. А. Батищев.

11. Городков, Ж. Е. Способ остеосинтеза при переломах угла и тела нижней челюсти с применением индивидуального хирургического шаблона : патент RU 2786317 С1 : дейст. с 20.12.2022 / Ж. Е. Городков, А. И. Пылков, П. И. Головский, С. А. Батищев.

12. Гусев, Э. П. Внутриротовой остеосинтез П-образными скобками при переломах нижней челюсти / Э. П. Гусев // Актуальные вопросы стоматологии. – Таллин, 1979. – С. 211–213.

13. Егоренко, С. Н. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : статистический сборник / С. Н. Егоренко, Н. С. Бугакова, Л. М. Гохберг [и др.] – М. : Росстат, 2018. – С. 427–428.

14. Замятин, К. К. Металлическая пластинка для фиксации отломков при переломах нижней челюсти / К. К. Замятин // Стоматология. – 1979. – № 5. – С. 77.

15. Захаров, Ю. С. Устройство для дозированной компрессии отломков при накостных методах остеосинтеза нижней челюсти / Ю. С. Захаров, Р. Г. П. // Стоматология. – 1976. – № 2. – С. 83–85.

16. Кабаков, Б. В. Некоторые современные вопросы лечения неогнестрельных переломов и огнестрельных повреждений челюстно-лицевой области / Б. В. Кабаков // Сборник научных работ по стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. – М., 1966. – С. 5–14.

17. Карпов, С. М. Эпидемиологические аспекты челюстно-лицевой травмы на примере г. Ставрополя / С. М. Карпов, Д. Ю. Христофорандо, П. П.

Шевченко. [и др.] // Российский стоматологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 50–51.

18. Копецкий, И. С. Тяжелая краниофациальная травма / И. С. Копецкий, А. М. Насибуллин // Наука Красноярья. – 2012. – Т. 3, № 3. – С. 89–101.

19. Кулаков, А. А. Челюстно-лицевая хирургия / А. А. Кулаков ; под ред. А. А. Кулакова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 64 с.

20. Лазарович, Л. В. Остеосинтез нижней челюсти металлическими пластинками / Л. В. Лазарович, Ю. М. Ясельский, П. Д. Кищук // Стоматология. – 1989. – № 6. – С. 25–26.

21. Ластовецкий, А. Г. Частота и структура травматических повреждений мозгового и лицевого отделов черепа у пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях / А. Г. Ластовецкий, М. В. Лебедева, Д. А. Аверьянова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2014. – № 3 (31). – С. 105–116.

22. Левенец, А. А. Челюстно-лицевой травматизм как социальная, экономическая и медицинская проблема / А. А. Левенец, Н. А. Горбач, Н. Н. Фокас // Сибирское медицинское обозрение. – 2013. – № 2 (80). – С. 13–18.

23. Лепилин, А. В. Клинико-статистический анализ травматических повреждений челюстно-лицевой области и их осложнений по материалам работы отделения челюстно-лицевой хирургии за 2008-2012 годы / А. В. Лепилин, Г. Р. Бахтеева, В. Г. Ноздрачев [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 3. – С. 425–428.

24. Лукьяненко, В. И. Внутрикостный остеосинтез при лечении переломов нижней челюсти / В. И. Лукьяненко // Тезисы докладов 1-й городской научной стоматологической конференции. – Л., 1955. – С. 17–18.

25. Лукьяненко, В. И. Клинические наблюдения над применением внутрикостного остеосинтеза при лечении переломов нижней челюсти / В. И. Лукьяненко // Стоматология. – 1957. – № 3. – С. 31–33.

26. Лукьяненко, В. И. О применении остеосинтеза при лечении переломов суставного отростка нижней челюсти / В. И. Лукьяненко // Травматология и восстановительная хирургия челюстно-лицевой области. – Л., 1959.

27. Лукьяненко, В. И. Оперативное лечение переломов нижней челюсти : автореферат диссертации доктора медицинских наук / В. И. Лукьяненко. – Л., 1956.

28. Малков, П. В. Россия в цифрах. 2020 : краткий статистический сборник / П. В. Малков, Э. Ф. Баранов, Т. С. Безбородова [и др.] — М. : Росстат, 2020. — С. 180–181.

29. Миргазизов, М. З. Сверхэластичные имплантаты и конструкции из сплавов с памятью формы в стоматологии / М. З. Миргазизов, В. Э. Гюнтер, В. И. Итин [и др.] // 1993 by Quintessenz Verlags-GMBH. – С. 117–123.

30. Павлов, Б. Л. Способ оперативного лечения переломов нижней челюсти, осложненных травматическим остеомиелитом / Б. Л. Павлов, Р. И. Иманкулов // Новые методы в теории и практике медицины. – Пермь, 1983. – С. 84–85.

31. Павлов, Б. Л. Накостный остеосинтез при экспериментальном травматическом остеомиелите нижней челюсти / Б. Л. Павлов, Р. И. Иманкулов // Стоматология. – 1981. – № 6. – С. 57–59.

32. Павлов, Б. Л. Современные направления в на костном остеосинтезе при переломах нижней челюсти / Б. Л. Павлов, С. В. Мозговая // Актуальные вопросы клинической хирургии. – Пермь, 1993. – С. 117–119.

33. Поленичкин, В. К. Остеосинтез проволочными устройствами с заранее заданными свойствами при лечении больных с переломами костей лицевого скелета: диссертация ... доктора медицинских наук / В. К. Поленичкин. – Новокузнецк, 1987. – 228 с.

34. Поленичкин, В. К. Оперативное лечение переломов костей лицевого скелета проволочными устройствами из никелида титана / В. К. Поленичкин, В. Э. Гюнтер – М., 1989. – С. 3–19.

35. Поленичкин, В. К. Применение проволочных фиксаторов с термомеханической памятью при лечении больных с переломами костей лицевого скелета / В. К. Поленичкин, В. П. Ипполитов, В. Э. Гюнтер // Стоматология. – 1988. – № 4. – С. 39–41.
36. Рауэр, А. Э. Переломы челюстей и мягких тканей лица / А. Э. Рауэр. – М.: Медгиз, 1947. – 300 с.
37. Сипкин, А. М. Характеристика острых травматических повреждений челюстно-лицевой области / А. М. Сипкин, Н. Е. Ахтямова, Д. В. Ахтямов // РМЖ. – 2016. – № 14. – С. 932–935.
38. Соломенный, С. М. Оперативное лечение переломов нижней челюсти с иммобилизацией отломков проволочным швом и полиамидной нитью: автореферат диссертации кандидата медицинских наук / С. М. Соломенный. – Львов, 1967. – 22 с.
39. Сысолятин, П. Г. Внутриротовой остеосинтез устройствами из сплавов с эффектом памяти формы при переломах нижней челюсти / П. Г. Сысолятин, А. В. Мешков, В. Е. Толмачев [и др.] // Материалы с эффектом памяти формы и их применение: материалы семинара. – Новгород-Ленинград, 1989. – С. 177–178.
40. Сысолятин, П. Г. Внутриротовой остеосинтез устройствами из NiTi при свежих и осложненных переломах нижней челюсти / П. Г. Сысолятин, И. Д. Тазин, В. И. Мальников [и др.] // Имплантаты с памятью формы. – 1991. – № 4. – С. 8–14.
41. Тазин, И. Д. Внутриротовой остеосинтез при лечении осложненных переломов нижней челюсти / И. Д. Тазин, Л. А. Панов, А. В. Титаренко [и др.] // Имплантаты с памятью формы. – 1992. – № 2. – С. 27–29.
42. Танашян, М. М. Невропатия тройничного нерва после оперативных вмешательств в челюстно-лицевой области / М. М. Танашян, М. Ю. Максимова, П. А. Федин [и др.] // Нервные болезни. – 2018. – № 3. – С. 22–26.
43. Тигерштедт, С. С. Зубоврачебный вестник / С. С. Тигерштедт // Зубоврачебный вестник. – 1916. – № 2. – С. 47–53.

44. Титаренко, А. В. Внутриротовой стабильный остеосинтез устройствами из сплавов с эффектом памяти формы при переломах нижней челюсти и их осложнениях: диссертация кандидата медицинских наук / А. В. Титаренко. – Омск, 1995. – 142 с.

45. Титаренко, А. В. Внутриротовой остеосинтез переломов нижней челюсти устройствами из никелида титана / А. В. Титаренко, М. М. Оленникова, Н. А. Ищенко // Имплантаты с памятью формы: материалы международного конгресса ассоциации SME. – Новосибирск, 15-17 сентября 1993.

46. Ульяновченко, М. И. Анализ дорожно-транспортного травматизма у жителей г. Ставрополя / М. И. Ульяновченко, А. Б. Ходжаян, А. Э. Апагуни [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 5-2. – С. 427–430.

47. Ургуналиев, Б. К. Клинико-эпидемиологические особенности и медико-социальная характеристика пострадавших с повреждениями челюстно-лицевых костей по данным отделения челюстно-лицевой реконструктивной пластической хирургии Национального госпиталя Минздрава Кыргызской Республики в 2010–2018 гг. / Б. К. Ургуналиев, И. М. Юлдашев, А. Т. Рахманов [и др.] // Российский стоматологический журнал. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 109–113.

48. Христофорандо, Д. Ю. Черепно-лицевая травма, структура, диагностика, лечение / Д. Ю. Христофорандо, С. М. Карпов, Е. М. Шарипов // Кубанский научный медицинский вестник. – 2011. – № 5 (128). – С. 171–173.

49. Швырков, М. Б. Костный шов капроновой нитью / М. Б. Швырков // Стоматология. – 1961. – № 3. – С. 58–61.

50. Abhinav, R. P. The Patterns and Etiology of Maxillofacial Trauma in South India / R. P. Abhinav, K. Selvarasu, G.U. Maheswari [et al.] // Annals of Maxillofacial Surgery. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – P. 114–117.

51. Abo Sharkh, H. In-House Surgeon-Led Virtual Surgical Planning for Maxillofacial Reconstruction / H. Abo Sharkh, N. Makhoul // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2020. – Vol. 78, No. 4. – P. 651–660.

52. Aladelusi, T. Analysis of Road Traffic Crashes-Related Maxillofacial Injuries Severity and Concomitant Injuries in 201 Patients Seen at the UCH, Ibadan / T. Aladelusi, V. Akinmolodun, A. Olusanya [et al.] // *Cranio-maxillofacial Trauma & Reconstruction*. – 2014. – Vol. 7, No. 4. – P. 284–289.

53. Almasri, M. Severity and causality of maxillofacial trauma in the Southern region of Saudi Arabia / M. Almasri // *The Saudi Dental Journal*. – 2013. – Vol. 25, No. 3. – P. 107–110.

54. Alves, L. S. Pattern of maxillofacial fractures in severe multiple trauma patients: a 7-year prospective study / L. S. Alves, I. Aragao, M. J. Sousa [et al.] // *Brazilian Dental Journal*. – 2014. – Vol. 25, No. 6. – P. 561–564.

55. Amundson, M. Three-Dimensional Computer-Assisted Surgical Planning, Manufacturing, Intraoperative Navigation, and Computed Tomography in Maxillofacial Trauma / M. Amundson, M. Newman, A. Cheng [et al.] // *Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2020. – Vol. 28, No. 2. – P. 119–127.

56. Ardary, W. Plate and screw fixation in management of mandible fractures / W. Ardary // *Clinics in Plastic Surgery*. – 1989. – Vol. 16, No. 1. – P. 61–67.

57. Balaji, P. Open reduction and internal fixation: Screw injury - Retrospective study / P. Balaji, S. M. Balaji // *Indian Journal of Dental Research*. – 2017. – Vol. 28, No. 3. – P. 304–308.

58. Balasundram, S. A 4-Year Multicentre Audit of Complications Following ORIF Treatment of Mandibular Fractures / S. Balasundram, F.J.Kovilpillai, S.J. Royan [et al.] // *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. – 2020. – Vol. 19, No. 2. – P. 289–297.

59. Battersby, T. G. Plating of mandibular fractures / T. G. Battersby // *British Journal of Oral Surgery*. – 1967. – Vol. 4, No. 3. – P. 194–198.

60. Boffano, P. European Maxillofacial Trauma (EURMAT) project: a multicentre and prospective study / P. Boffano, F. Roccia, E. Zavattono [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2015. – Vol. 43, No. 1. – P. 62–70.

61. Bouhassira, D. Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4) / D. Bouhassira, N. Attal, H. Alchaar [et al.] // *Pain*. – 2005. – Vol. 114, No. 1-2. – P. 29–36.
62. Brown, J. S. Delayed miniplate osteosynthesis for mandibular fractures [letter; comment] / J. S. Brown // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 1991. – Vol. 29, No. 4. – P. 286.
63. Buzayan, M. M. Digital workflow for articulating maxillary and mandibular 3D arch models using an open source 3D modeling software program / M. M. Buzayan, L. Seong, A. Elkezza [et al.] // *Quintessence International*. – 2020. – Vol. 51, No. 9. – P. 776–779.
64. Case, J. Metacarpal plates and screws in edentulous fractured mandibles / J. Case // *Ref. International Dental Congress*. – 1959. – Vol. 8, No. 7. – P. 105–109.
65. Cawood, J. I. Small plate osteosynthesis of mandibular fractures / J.I. Cawood // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 1985. – Vol. 23, No. 2. – P. 77–91.
66. Champy, M. Osteosyntheses mandibulaires selon la technique de michelet. i. bases biomecaniques / M. Champy, J. P. Lodde, J. H. Jaeger [et al.] // *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-Faciale*. – 1976. – Vol. 77, No. 3.
67. Champy, M. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach / M. Champy, J. P. Lodde, H. D. Prein // *Journal of Maxillofacial Surgery*. – 1978. – No. 6. – P. 14–21.
68. Champy, M. Les osteosyntheses par plaques vissees miniaturisees en chirurgie faciale et cranienne. Indications. Resultats a propos de 400 cas / M. Champy, J. P. Lodde, E. D. Muster [et al.] // *Annales de Chirurgie Plastique*. – 1977. – Vol. 22, No. 4. – P. 261–264.
69. Champy, M. Mandibular fractures. The Strasbourg miniplate osteosynthesis / M. Champy, H. D. Prein, K. L. Gerlach, J. P. Lodde // *International Journal of Oral and Maxillofacial Traumatology*. – 1986. – Vol. 1, No. 2. – P. 19–44.

70. Chen, C. L. Complications and Reoperations in Mandibular Angle Fractures / C. L. Chen, J. Z., P. R. Bradley, B. G. // JAMA Facial Plastic Surgery. – 2018. – Vol. 20, No. 3. – P. 238–243.

71. Christiansen, G. W. Open operation and tantalum plate insertion for fracture of the mandible / G. W. Christiansen // Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. – 1945. – Vol. 3. – P. 194–203.

72. Chuong, R. Open reduction of condylar fractures of the mandible in conjunction with repair of discal injury: a preliminary report / R. Chuong, P. M. // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 1988. – Vol. 46, No. 4. – P. 257–263.

73. Danis, R. Theorie et pratique de l'osteosynthese / R. Danis. – Paris : Masson, 1949.

74. Dong, Z. Application of 3-Dimensional Printing Technology to Kirschner Wire Fixation of Adolescent Condyle Fracture / Z. Dong, Q. Li, S. Bai [et al.] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2015. – Vol. 73, No. 10. – P. 1970–1976.

75. Driemel, O. Zahnverletzungen bei Miniplattenosteosynthese. Einteilung, Therapiemanagement, Komplikationen und Prognose / O. Driemel, R. Schipper, S. Buller [et al.] // Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. – 2005. – Vol. 9, No. 5. – P. 330–335.

76. El-beblawy, Y. M. Accuracy of formula-based volume and image segmentation-based volume in calculation of preoperative cystic jaw lesions' volume / Y. M. El-beblawy, A. M. Bakry, M. E. A. Mohamed // Oral Radiology. – 2024. – Vol. 40, No. 2. – P. 259–268.

77. Ellis, E. Treatment methods for fractures of the mandibular angle / E. Ellis // International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 1999. – Vol. 28, No. 4. – P. 243–252.

78. Eufinger, H. Individual prostheses and resection templates for mandibular resection and reconstruction / H. Eufinger, M. Wehmöller, E. Machtens // The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery. – 1997. – Vol. 35, No. 6. – P. 413–418.

79. Gary-Bobo, A. Fractures of the lateral third of the craniofacial region. Proposal for a therapeutic tactic / A. Gary-Bobo // *Annales de Chirurgie Plastique et Esthétique*. – 1984. – Vol. 29, No. 3. – P. 247–252.
80. Ghizoni, E. 3D-Printed Craniosynostosis Model: New Simulation Surgical Tool / E. Ghizoni, J.P.S.A.S. de Souza, C.E. Raposo-Amaral [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 109. – P. 356–361.
81. Goodacre, B. J. A 3D-printed guide for lateral approach sinus grafting: A dental technique / B. J. Goodacre, R. S. Swamidass, J. Lozada [et al.] // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2018. – Vol. 119, No. 6. – P. 897–901.
82. Greenberg, A. M. Digital technologies for dental implant treatment planning and guided surgery / A. M. Greenberg // *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2015. – Vol. 27, No. 2. – P. 319–340.
83. Halpern, L. R. Perioperative Neurosensory Changes Associated with Treatment of Mandibular Fractures / L. R. Halpern, L. B. Kaban, T. B. Dodson // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2004. – Vol. 62, No. 5. – P. 576–581.
84. Heufelder, M. Clinical accuracy of waferless maxillary positioning using customized surgical guides and patient specific osteosynthesis in bimaxillary orthognathic surgery / M. Heufelder, F. Wilde, S. Pietzka [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2017. – Vol. 45, No. 9. – P. 1578–1585.
85. Heydarian, F. Die Verletzung des Nervus alveolaris inferior, hervorgerufen durch Osteosyntheseschrauben / F. Heydarian, R. Ewers, A. Zimmermann // *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. – 1980. – Vol. 35, No. 1. – P. 42–44.
86. Huang, C. Y. Novel airway-cartilage combined model for medialization laryngoplasty and laryngotracheal reconstruction surgery planning / C. Y. Huang, T.S. Chang, L. Alice Hwang [et al.] // *Journal of the Chinese Medical Association*. – 2022. – Vol. 85, No. 11. – P. 1076–1082.
87. Huang, Y. Combined Use of Specially-Designed Digital Surgical Guides and Pre-Formed Reconstruction Plate to Treat Bilateral Mandibular Fracture / Y. Huang, Z. Xia, X. Zhang [et al.] // *The Journal of Craniofacial Surgery*. – 2019. – Vol. 30, No. 7. – P. 2253–2256.

88. Juncar, M. An epidemiological analysis of maxillofacial fractures: a 10-year cross-sectional cohort retrospective study of 1007 patients / M. Juncar, P. A. Tent, R. I. Juncar [et al.] // *BMC Oral Health*. – 2021. – Vol. 21, No. 1.
89. Kahnberg, K. E. Bone plate fixation of mandibular fractures / K. E. Kahnberg, A. Ridell // *International Journal of Oral Surgery*. – 1980. – Vol. 9, No. 4. – P. 267–273.
90. Kattadiyil, M. T. CAD/CAM guided surgery in implant dentistry: a brief review / M. T. Kattadiyil, E. Parciak, S. Puri // *Alpha Omegan*. – 2014. – Vol. 107, No. 1. – P. 26–31.
91. Kernen, F. A review of virtual planning software for guided implant surgery - data import and visualization, drill guide design and manufacturing / F. Kernen, J. Kramer, L. Wanner [et al.] // *BMC Oral Health*. – 2020. – Vol. 20, No. 1.
92. King, B. J. On-Site 3-Dimensional Printing and Preoperative Adaptation Decrease Operative Time for Mandibular Fracture Repair / B. J. King, E.P. Park, B.J. Christensen [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2018. – Vol. 76, No. 9. – P. 1950.e1-1950.e8.
93. Kobe, T. Retentive design of a small surgical guide for implant surgery: An in-vitro study / T. Kobe, A. Fidler, M. Kuralt [et al.] // *Journal of Dentistry*. – 2023. – Vol. 128.
94. Kokosis, G. The Use of Computer-Aided Design and Manufacturing in Acute Mandibular Trauma Reconstruction / G. Kokosis, E. H. Davidson, R. Pedreira [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2018. – Vol. 76, No. 5. – P. 1036–1043.
95. Lane, W. A. Some remarks on the treatment of fractures / W. A. Lane // *British Medical Journal*. – 1895. – Vol. 1, No. 1790. – P. 861–863.
96. Lebeau, J. Traditional bone graft in the reconstruction of loss substance of the mandible / J. Lebeau, P. Antoine, B. Raphaël // *Annales de Chirurgie Plastique et Esthétique*. – 1986. – Vol. 31, No. 1. – P. 18–23.

97. Lee, J. Impact strength of 3D printed and conventional heat-cured and cold-cured denture base acrylics / J. Lee, D. Belles, M. Gonzalez [et al.] // *The International Journal of Prosthodontics*. – 2022. – Vol. 35, No. 2. – P. 240–244.

98. Levignac, J. Surgical treatment of fractures of the mandible / J. Levignac // *Revue Française d'Odonto-Stomatologie*. – 1956. – Vol. 3. – P. 209–216.

99. Liokatis, P. Digital planning and individual implants for secondary reconstruction of midfacial deformities: A pilot study / P. Liokatis, Y. Malenova, F. N. Fegg [et al.] // *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*. – 2022. – Vol. 7, No. 2. – P. 369–379.

100. Lopez, J. Absorbable Fixation Devices for Pediatric Craniomaxillofacial Trauma: A Systematic Review of the Literature / J. Lopez, N. Siegel, A. Reategui [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2019. – Vol. 144, No. 3. – P. 685–692.

101. Luhr, H. G. Compression Plate Osteosynthesis through the Luhr System / H. G. Luhr // *Oral and Maxillofacial Traumatology*. – 1982. – Vol. 1. – P. 330–338.

102. Ma, J. The use of 3D-printed titanium mesh tray in treating complex comminuted mandibular fractures: A case report / J. Ma, L. Ma, Z. Wang [et al.] // *Medicine*. – 2017. – Vol. 96, No. 27. – P. e7250.

103. Mahe, G. Essai critique sur le traitement des fractures du maxillaire inférieur / G. Mahe. – Paris : G. Steinheil, 1900. – 139 p.

104. Manodh, P. Incidence and patterns of maxillofacial trauma—a retrospective analysis of 3611 patients—an update / P. Manodh, D. Prabhu Shankar, D. Pradeep [et al.] // *Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2016. – Vol. 20, No. 4. – P. 377–383.

105. Marschall, J. S. In-House Digital Workflow for the Management of Acute Mandible Fractures / J. S. Marschall, V. Dutra, R. L. Flint [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2019. – Vol. 77, No. 10. – P. 2084.e1-2084.e9.

106. McAllister, P. A Cost-Effective, In-House, Positioning and Cutting Guide System for Orthognathic Surgery / P. McAllister, M. Watson, E. Burke // *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. – 2018. – Vol. 17, No. 1. – P. 112–114.

107. Michelet, F. X. Traitement chirurgical des fractures du corpus mandibulaire sans blocage par plaques vissées miniatures insérées par voie endobuccale / F. X. Michelet, A. Moll // *Revue d'Odonto-Stomatologie du Midi de la France*. – 1971. – Vol. 29, No. 3. – P. 87–92.

108. Montaruli, G. Maxillary Transverse Deficit: A Retrospective Study of Two Biologically Oriented Devices through a Digital Workflow / G. Montaruli, S. Virgilio, M. Laurenziello [et al.] // *Bioengineering*. – 2022. – Vol. 9, No. 1.

109. Monteiro Carneiro, N. C. A new model of customized maxillary guide for orthognathic surgery: Precision analysis / N. C. Monteiro Carneiro, D. V. Oliveira, F. H. Real [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2020. – Vol. 48, No. 12. – P. 1119–1125.

110. Moore, E. J. Mandibular alveolar reconstruction using three-dimensional planning / E. J. Moore, M. L. Hinni, K. Arce [et al.] // *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*. – 2013. – Vol. 21, No. 4. – P. 328–334.

111. Mørup, S. D. Design of a 3D printed coronary artery model for CT optimization / S. D. Mørup, J. Stowe, H. Precht [et al.] // *Radiography*. – 2022. – Vol. 28, No. 2. – P. 426–432.

112. Mouraux, A. Short trains of intra-epidermal electrical stimulation to elicit reliable behavioral and electrophysiological responses to the selective activation of nociceptors in humans / A. Mouraux, E. Marot, V. Legrain // *Neuroscience Letters*. – 2014. – Vol. 561. – P. 69–73.

113. Munante-Cardenas, J. L. Etiology, treatment, and complications of mandibular fractures / J. L. Munante-Cardenas, P. H. Facchina Nunes, L. A. Passeri // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2015. – Vol. 26, No. 3. – P. 611–615.

114. Niderdellmann, H. Funktionsstabile Osteosynthese im Unterkiefer / H. Niderdellmann, W. S. // *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. – 1972. – Vol. 27. – P. 138–141.

115. Odom, E. B. Mandible Fracture Complications and Infection: The Influence of Demographics and Modifiable Factors / E. B. Odom, A. K. Snyder-Warwick // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2016. – Vol. 138, No. 2. – P. 282e–289e.

116. Pabst, A. M. The risk of tooth root injuries using cortical screws for intermaxillary fixation and osteosynthesis plates - A retrospective analysis / A. M. Pabst, S. Blatt, P. Epperlein [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2019. – Vol. 47, No. 11. – P. 1767–1778.

117. Palfer-Sollier, M. Osteosynthesis with Duralumin screw splints in mandibular fractures with or without loss of hard tissue / M. Palfer-Sollier // *Revue Française d'Odonto-Stomatologie*. – 1956. – Vol. 3. – P. 587–593.

118. Petrescu, S. M. S. Modeling and Simulating an Orthodontic System Using Virtual Methods / S. M. S. Petrescu, M. J. Țuculină, D. L. Popa [et al.] // *Diagnostics*. – 2022. – Vol. 12, No. 5.

119. Pini, C. E. Le osteosintesi mediante placchette metalliche nelle fratture della mandibola / C. E. Pini // *Minerva Stomatologica*. – 1959. – Vol. 8, No. 7. – P. 105–109.

120. Ramanathan, M. 3D planning in mandibular fractures using CAD/CAM surgical splints - A prospective randomized controlled clinical trial / M. Ramanathan, E. Panneerselvam, V. B. Krishna Kumar Raja // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2020. – Vol. 48, No. 4. – P. 405–412.

121. Reichenbach, E. Zur Frage der operativen Knochenbruchbehandlung im Bereich des Gesichtschädels / E. Reichenbach // *Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. – 1953. – Vol. 17. – P. 376–378.

122. Robinson, M. New onlay-inlay metal splint for immobilization of mandibular subcondylar fractures / M. Robinson // *American Journal of Surgery*. – 1960. – Vol. 100. – P. 845–848.

123. Rodríguez-Arias, J. P. In-House 3D Printed Positioning and Cutting Guide System for Mandibular Reconstruction. Protocol and case report / J. P. Ro-

dríguez-Arias, Á. D. Moreiras-Sánchez, A. Gutiérrez-Venturini [et al.] // *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. – 2024. – Vol. 16, No. 2. – P. e229.

124. Romandini, M. Minimal invasiveness at dental implant placement: A systematic review with meta-analyses on flapless fully guided surgery / M. Romandini, E. Ruales-Carrera, S. Sadilina [et al.] // *Periodontology 2000*. – 2023. – Vol. 91, No. 1. – P. 89–112.

125. Ronsivalle, V. Accuracy Of Imaging Software for 3d Rendering of Tooth Structures, Usable in Clinical Settings / V. Ronsivalle, P. Venezia, M. Migliorati [et al.] // *International Journal of Computerized Dentistry*. – 2023.

126. Ruedi, T. P. AO Principles of Fracture Management / T. P. Ruedi, R. B., M. C. G. – 2nd ed. – Stuttgart ; New York : Thieme Verlag, 2007. – Vol. 1.

127. Saleh, H. O. Assessment of CAD/CAM Customized V Pattern Plate Versus Standard Miniplates Fixation in Mandibular Angle Fracture (Randomized Clinical Trial) / H. O. Saleh, B. G. Moussa, K. A. Salah Eddin [et al.] // *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. – 2023. – Vol. 22, No. 4. – P. 995–1005.

128. Samieirad, S. Maxillofacial fracture epidemiology and treatment plans in the Northeast of Iran: A retrospective study / S. Samieirad, M. R. Aboutorabzade, E. Tohidi [et al.] // *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*. – 2017. – Vol. 22, No. 5. – P. e616–e624.

129. Sarai, R. K. Impact of patient-related factors on complications when treating mandibular fractures by load-sharing and load-bearing osteosynthesis / R. K. Sarai, E. Wu, A. Ahmed [et al.] // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2023. – Vol. 61, No. 4. – P. 284–288.

130. Serindere, G. Volumetric and morphological analysis of condyle and glenoid fossa on computed tomography / G. Serindere, C. Aktuna Belgin, M. Serindere // *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. – 2020. – Vol. 277, No. 9. – P. 2581–2587.

131. Shah, A. Infection Rates of an Intraoral Versus Extraoral Approach to Mandibular Fracture Repairs are Equal: A Systematic Review and Meta-Analysis /

A. Shah, S. Perez-Otero, D. Tran [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2024. – Vol. 82, No. 4. – P. 449–460.

132. Shahim, F. N. Maxillofacial trauma in major trauma patients / F. N. Shahim, P. Cameron, J. J. McNeil // *Australian Dental Journal*. – 2006. – Vol. 51, No. 3. – P. 225–230.

133. Shilli, W. Compression plate osteosynthesis / W. Shilli // *Journal of Oral Surgery*. – 1977. – Vol. 35, No. 10. – P. 802–808.

134. Shilli, W. Rigid Internal fixation by means of Compression Plates / W. Shilli // *Oral and Maxillofacial Traumatology*. – 1982. – Vol. 1. – P. 308–318.

135. Shira, R. B. Open reduction of mandibular fractures / R. B. Shira // *Journal of Oral Surgery*. – 1954. – Vol. 12. – P. 95–102.

136. Sinha, S. P. Penetration of inferior alveolar nerve canal increased by bicortical fixation after bilateral sagittal split osteotomy in mandibular prognathism / S. P. Sinha, T. D. H. Duong, T. T. Duy [et al.] // *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2022. – Vol. 51, No. 2. – P. 200–205.

137. Smith, A. E. Individually constructed stainless steel bone onlay splint for immobilization of proximal fragment in fractures of the angle of the mandible / A. E. Smith, M. Robinson // *Journal of Oral Surgery*. – 1956. – Vol. 3. – P. 209–213.

138. Song, Q. Inferior alveolar and mental nerve injuries associated with open reduction and internal fixation of mandibular fractures: a Seven Year retrospective study / Q. Song, S. Li, P. M. Patil // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2014. – Vol. 42, No. 7. – P. 1378–1381.

139. Soriano, E. Fractures of the mandibular angle: factors predictive of infectious complications / E. Soriano, V. Kankou, B. Morand [et al.] // *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-Faciale*. – 2005. – Vol. 106, No. 3. – P. 146–148.

140. Souza, V. H. Development and characterization of the InVesalius Navigator software for navigated transcranial magnetic stimulation / V. H. Souza, R. H. Matsuda, A. S. C. Peres [et al.] // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2018. – Vol. 309. – P. 109–120.

141. Spiessl, B. Die stabile Osteosynthese bei Fracturen des unbezahnten Kiefers / B. Spiessl, G. Schargus, K. Schroll // Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde. – 1971. – Vol. 81. – P. 39–50.

142. Stamm, T. The University Münster model surgery system for orthognathic surgery - The digital update / T. Stamm, D. Böttcher, J. Kleinheinz // Head & Face Medicine. – 2021. – Vol. 17, No. 1.

143. Szabo, G. Champy plates in mandibular surgery / G. Szabo, A. Kovács, G. Pulay // International Journal of Oral Surgery. – 1984. – Vol. 13, No. 4. – P. 290–293.

144. Tay, A. B. G. Inferior Alveolar Nerve Injury in Trauma-Induced Mandible Fractures / A. B. G. Tay, J. B. Lai, K. W. Lye [et al.] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2015. – Vol. 73, No. 7. – P. 1327–1332.

145. Tepper, O. M. Use of virtual 3-dimensional surgery in post-traumatic craniomaxillofacial reconstruction / O. M. Tepper, S. Sorice, G. N. Hershman [et al.] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2011. – Vol. 69, No. 3. – P. 733–741.

146. Toschka, A. Molybdenum as a Potential Biocompatible and Resorbable Material for Osteosynthesis in Craniomaxillofacial Surgery-An In Vitro Study / A. Toschka, G. Pöhle, P. Quadbeck [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23, No. 24.

147. Vercruysse, M. Indications and complications regarding titanium osteosynthesis in pediatric maxillofacial trauma: A scoping review and critical appraisal / M. Vercruysse, R. Willaert, F. Goormans [et al.] // Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery. – 2023. – Vol. 124, No. 1S.

148. Voss, J. O. Computed tomography-based virtual fracture reduction techniques in bimaxillary fractures / J. O. Voss, V. Varjas, J. D. Raguse [et al.] // Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery. – 2016. – Vol. 44, No. 2. – P. 177–185.

149. Wagner, J. D. Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: A technical note / J. D. Wagner, B. Baack, G. A. Brown [et

al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2004. – Vol. 62, No. 7. – P. 898–901.

150. Wang, H. Personal Guide Assisted Orthognathic Surgery: Application of a T-shaped Tooth Bone Combined Supporting Osteotomy Guide Plate and Positioning Guide Plate / H. Wang, Q. L. Guan, Y. H. Yang [et al.] // *The Journal of Craniofacial Surgery*. – 2022. – Vol. 33, No. 7. – P. e736–e738.

151. Weijs, W. L. J. Accuracy of virtually 3D planned resection templates in mandibular reconstruction / W. L. J. Weijs, C. Coppen, R. Schreurs [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2016. – Vol. 44, No. 11. – P. 1828–1832.

152. Werlinger, F. Trends of maxillofacial trauma: An update from the prospective register of a multicenter study in emergency services of Chile / F. Werlinger, M. Villalón, V. Duarte [et al.] // *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*. – 2019. – Vol. 24, No. 5. – P. e588–e594.

153. Xiao-Dong, L. Epidemiological pattern of maxillofacial fractures in northern China: A retrospective study of 829 cases / L. Xiao-Dong, W. Qiu-Xu, L. Wei-Xian // *Medicine*. – 2020. – Vol. 99, No. 9. – P. e19299.

154. Xin, X. Treatment of Sagittal Fracture of the Mandibular Condyle Using Resorbable-Screw Osteosynthesis / X. Xin, Y. Zhao, G. Cheng [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2022. – Vol. 80, No. 7. – P. 1207–1214.

155. Yamamoto, M. K. Evaluation of surgical retreatment of mandibular fractures / M. K. Yamamoto, R. P. D'Avila, J. G. Cerqueira Luz // *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. – 2013. – Vol. 41, No. 1. – P. 42–46.

156. Yang, C. Three-Dimensional Printed Customized Surgical Guides for the Precise Correction of Complex Midfacial Post-Traumatic Deformities / C. Yang, C. Zhang, J. Wu [et al.] // *The Journal of Craniofacial Surgery*. – 2022. – Vol. 33, No. 4. – P. 1150–1153.

157. Yap Abdullah, J. Three-dimensional analysis of reconstructed skulls using three different open-source software versus commercial software / J. Yap Abdullah, A. Manaf Abdullah, S. Zaim [et al.] // *Proceedings of the Institution of Me-*

chanical Engineers. Part H, Journal of Engineering in Medicine. – 2024. – Vol. 238, No. 1. – P. 55–62.

158. Yong, C. W. Surgical cutting guide for orthognathic anterior segmental subapical surgery / C. W. Yong, T. S. Tan, R. S. K. Lim [et al.] // The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery. – 2021. – Vol. 59, No. 1. – P. 125–126.

159. Zhao, L. Use of modified 3D digital surgical guides in the treatment of complex mandibular fractures / L. Zhao, X. Zhang, Z. Guo [et al.] // Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery. – 2021. – Vol. 49, No. 4. – P. 282–291.