

ШИШКИН Василий Борисович

**ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ
РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ЛЕЧЕНИИ
ПЕРЕЛОМОВ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ
И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

14.01.15 – травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор

Голубев Валерий Григорьевич

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, доцент

Минасов Тимур Булатович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра травматологии и ортопедии, доцент кафедры

доктор медицинских наук

Серета Андрей Петрович

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р.Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заместитель директора

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Защита состоится «_____» _____ 2021 года в _____ на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.223.02 на базе ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И.Пирогова Минздрава России, ГБУЗ города Москвы «НИИСП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ» по адресу: 117997, г.Москва, ул. Островитянова, д.1

С диссертацией можно ознакомиться в ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И.Пирогова Минздрава России по адресу: 117997, г.Москва, ул. Островитянова, д.1 и на сайте организации www.rsmu.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат медицинских наук, доцент



Сиротин Иван Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Планирование оперативного вмешательства является важным и неотъемлемым этапом в травматологии и ортопедии, который позволяет акцентировать внимание на особенностях каждого клинического случая, выявить возможные проблемы во время проведения операции. На этом этапе возможно проведение оценки имеющихся изменений костной системы, определение этапов оперативного вмешательства, выбор необходимого имплантата. Изменения костной системы, возникающие в результате переломов костей конечностей, нередко представляют сложности в диагностике ввиду трудности правильной их оценки, из-за отсутствия необходимого представления о величине необходимой коррекции. Сросшиеся со смещением костные отломки зачастую имеют мало общего по своим анатомо-морфологическим характеристикам с нормальной анатомией скелета человека, что может поставить хирурга в затруднительное положение при выборе тактики лечения. Не имея полноценного представления о величине и локализации костных изменений, невозможно выработать правильный план дальнейшего лечения.

Основным инструментом диагностики в данных сложных клинических ситуациях остается рентгенография. При возникновении вопросов о характере изменений костной структуры, выполняются сравнительные снимки идентичных областей поврежденной и здоровой конечностей (Sanada S., 2017; Шейх Ж. В. и др., 2016; Михайлов А. Н., 2000; Егоров М. Ф., Тетерин О. Г., 1998). Хотя методика сравнительной рентгенографии проста и доступна, добиться точного соответствия проекций на снимках при наличии выраженных деформаций костной системы достаточно сложно, что может повлечь за собой неточности в оценке и трактовке полученных результатов. Рентгенограмма не способна дать полную информацию о пространственном строении той или иной зоны исследования (Compson J. P., 1994). Полученные данные представляют собой два отдельных снимка, оценка которых производится путем визуального сравнения

изображений рентгенологом, что напрямую ставит данную методику в зависимость от опыта и квалификации специалиста.

Большим прогрессом в диагностике костно-травматической патологии стало внедрение в клиническую практику компьютерной томографии (КТ) (Глаголев Н. А., 2009), а особенно – трёхмерной реконструкции компьютерных томограмм (Мошнегуц С. В., 2006). Однако и в данном случае, применяя принцип сравнительной оценки костных деформаций, также возникают проблемы: невозможность полного совпадения проекций и разрозненность полученных изображений пострадавшей и контрольной, здоровой конечности, может сказываться на точности трактовки и интерпретации полученных данных. При классической методике трёхмерной реконструкции срезов КТ, изображение представлено в виде статичного снимка и его обработка, редактирование невозможны. Неточности в диагностике могут отрицательно сказываться на формировании предоперационного плана и явиться причиной выбора субоптимальной тактики лечения.

Таким образом, необходимо дальнейшее, более детальное изучение методов предоперационного планирования при переломах костей конечностей и их последствиях с целью повышения точности проведения оперативного вмешательства и сокращения времени его проведения, что является основой индивидуализации хирургической стратегии. С учетом большой частоты использования компьютерной томографии в практике травматологов-ортопедов, тема представляется несомненно актуальной и требует новых решений, оптимизирующих процесс планирования хирургического вмешательства.

Степень разработанности проблемы

Высокий уровень травматизма в России требует разработки современных методов планирования хирургического вмешательства в сложных клинических случаях для выработки оптимальной тактики лечения пациентов. Зарубежными авторами высказывается мнение о том, что необходимо использование более глубокого подхода к планированию операции, не ограничиваясь лишь стандартной рентгенографией для улучшения результатов лечения (Heinzelmann A.

D., Archer G., Bindra R. R., 2007). На сегодняшний день имеются ограниченные данные о способах предоперационного планирования с применением трёхмерного компьютерного моделирования на основе данных томографии.

Вопрос о том, как повысить точность проведения операции и сократить время ее выполнения, уменьшив при этом восстановительный период, до сих пор остается открытым. Исследования в области предоперационного планирования в травматологии и ортопедии немногочисленны, но демонстрируют обнадеживающие результаты.

Для того чтобы приблизиться к решению этой проблемы, необходимо персонифицировать подход к предоперационному планированию и максимально использовать современные диагностические возможности. Именно это в дальнейшем поможет определить индивидуальную тактику оперативного лечения, а также выбрать подходящий имплантат для проведения операции, и в конечном итоге подобрать оптимальную схему лечения для конкретного пациента, повысив точность проведения операции и снизив временные затраты. Внедрение подобного подхода к лечению в клиническую практику российских травматологов-ортопедов является, бесспорно, актуальным, учитывая широкое применение компьютерной томографии с целью уточнения диагноза в сложных клинических случаях лечения переломов костей конечностей и их последствий. Однако в отечественной травматологии и ортопедии метод предоперационного планирования с применением трёхмерной компьютерной реконструкции данных компьютерной томографии и моделирования операции в настоящее время еще не разработан.

Цель исследования: разработка методики проведения предоперационного планирования с применением трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования при переломах костей конечностей и их последствиях для улучшения результатов хирургического лечения.

Задачи исследования

1. Изучить и проанализировать современные методы диагностики изменений костной системы у пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями, применительно к проблеме предоперационного планирования.
2. Уточнить показания и противопоказания к проведению предоперационного планирования на основе трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии у пациентов переломами костей конечностей и их последствиями и прецизионным определением этапов операции.
3. Разработать новые методы предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии и компьютерного моделирования оперативного вмешательства у пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями.
4. Создать программу ЭВМ для проведения предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии и компьютерного моделирования оперативного вмешательства.
5. Провести сравнительный анализ стандартного рентгенологического предоперационного обследования и планирования с предлагаемой методикой: оценить точность позиционирования имплантатов на основе контрольных послеоперационных рентгенограмм, провести сравнение длительности проведения операции и времени интраоперационного использования электронно-оптического преобразователя.

Научная новизна

Сформирован индивидуальный подход к проведению предоперационного планирования у пациентов, имеющих переломы костей конечностей или их последствия на основе трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии с возможностью компьютерного моделирования этапов операции с изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов-направителей.

Полученные в ходе исследования данные повышают точность проведения оперативных вмешательств у пациентов с переломами костей конечностей и их

последствиями, способствуют более точному интраоперационному расположению имплантатов с учетом индивидуальных особенностей каждого клинического случая, что снижает время проведения операции, уменьшает сроки стационарного лечения и тем самым повышает эффективность лечения.

Создана программа ЭВМ «МАРШ» для проведения предоперационного планирования в травматологии и ортопедии с применением трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661269 от 22.10.2015. Программа позволяет оптимизировать процесс подготовки к операции, создавая четкий предоперационный план с конкретными параметрами хирургического имплантата и оптимальном местом его расположения на кости, также имеется возможность смоделировать индивидуальный хирургический шаблон-направитель для изготовления на трёхмерном принтере с целью последующего применения в процессе выполнения оперативного вмешательства.

Проведена адаптация специализированного программного обеспечения медицинской визуализации InVesalius для русскоязычных пользователей совместно с разработчиками программы. Проведена государственная регистрация русскоязычной версии программы для ЭВМ, свидетельство о регистрации № 2020612504 от 25.02.2020.

Методика легко воспроизводима в любом хирургическом стационаре, не требует дорогостоящего оборудования.

Практическая значимость

Применение предложенного подхода к предоперационному планированию позволяет снизить длительность оперативного вмешательства, повысить точность репозиции отломков, позиционирования имплантата, существенно уменьшить время интраоперационного использования электронно-оптического преобразователя. Планирование операции с использованием разработанной программы для ЭВМ не требует наличия подключения к сети интернет или установки на персональный компьютер: запуск приложения возможен с порта-

тивного накопителя данных (USB флэш-накопитель) на любом современном персональном компьютере.

Предлагаемый подход дает возможность добиваться у большинства пациентов отличных клинико-функциональных результатов и уменьшает общее время лечения.

Практические рекомендации, разработанные на основании данной работы, могут быть использованы врачами – травматологами-ортопедами для выработки оптимальной тактики лечения пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями.

Внедрение результатов исследования.

Результаты исследования, разработанные методики предоперационного планирования используются в отделении травматологии и ортопедии Центральной клинической больницы Российской академии наук, травматолого-ортопедическом отделении Многопрофильного медицинского центра Банка России.

Публикация результатов исследования.

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 2 – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Проведена государственная регистрация разработанной программы для ЭВМ «МАРШ», свидетельство о регистрации № 2015661269 от 22.10.2015. В ходе исследования была произведена адаптация программы медицинской визуализации «InVesalius» (Бразилия), разработана русскоязычная модификация программы, свидетельство о регистрации № 2020612504 от 25.02.2020.

Апробация

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Приоровские чтения» (Москва, 2013); X юбилейном Всероссийском съезде травматологов-

ортопедов (Москва, 2014); VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Цивьяновские чтения» (г. Новосибирск, 2015); Ежегодной научно-практической конференции молодых ученых ГБОУ ДПО РМАПО (Москва, 2015); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные принципы и технологии остеосинтеза костей конечностей, таза и позвоночника» (Санкт-Петербург, 2015); Московском международном форуме по костно-суставной патологии (Москва, 2016); I Всероссийской научно-практической конференции «3D инновации в медицине и фармакологии» (Нижний Новгород, 2016); VI Всероссийском съезде общества кистевых хирургов, (Нижний Новгород, 2016); Крымском форуме травматологов-ортопедов (г. Ялта, 2016); XXII Конгрессе Федерации европейских обществ кистевой хирургии (FESSH) "Evidence Based Data in Hand Surgery and Therapy" (г. Будапешт, Венгрия, 2017); Форуме травматологов-ортопедов Северного Кавказа (г. Владикавказ, 2017); Первом съезде травматологов-ортопедов Центрального федерального округа (г. Смоленск, 2017); Международной конференции "Blender conference" (г. Амстердам, Нидерланды, 2015, 2017 гг.); Научно-практической конференции «Возможности прототипирования и аддитивных технологий в травматологии и ортопедии. Осмысление первых результатов» (Санкт-Петербург, 2017); XI Всероссийском съезде травматологов-ортопедов (Санкт-Петербург, 2018); XVIII ежегодном съезде Международного общества компьютер-ассистированной ортопедической хирургии (International Society for Computer Assisted Orthopedic Surgery) (г. Пекин, Китай, 2018); Научно-практической конференции с международным участием «Прототипирование и аддитивные технологии в травматологии и ортопедии, нейрохирургии и челюстно-лицевой хирургии» (Санкт-Петербург, 2018); IV Всероссийской научно-практической конференции «3D технологии в медицине» (Нижний Новгород, 2019), Международном конгрессе «Весенние дни ортопедии» (Москва, 2019), I международном конгрессе по ортобиологии «Технологии регенеративной медицины в травматологии и ортопедии» (Москва, 2020); научно-практической конференции с международным участии-

ем «Аддитивные технологии в медицине: от 3D-планирования до биопечати» (Санкт-Петербург, 2020).

Тема диссертации, предмет, материалы и методы исследования обсуждены на заседании Комиссии по этике научного исследования хирургического факультета ГБОУ ДПО РМАНПО 14.03.2017, протокол № 4.

Соответствие паспорту специальности.

Диссертация соответствует паспорту специальности 14.01.15 – травматология и ортопедия (медицинские науки) и областям исследования: пункт №3 “Разработка и усовершенствование методов диагностики и профилактики заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы” и пункт №4 “Экспериментальная и клиническая разработка методов лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы и внедрение их в клиническую практику”.

Личный вклад автора.

Автор непосредственно участвовал в разработке дизайна исследования, формировании групп исследования, принимал участие в операциях, оценивал ближайшие и отдаленные результаты. Производил систематизацию и анализ полученных данных, разработал программу для ЭВМ, выполнил русскоязычную адаптацию имеющегося зарубежного компьютерного приложения, создал систему предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции и моделирования при лечении переломов костей конечностей и их последствий.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 120 страницах печатного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы, который включает 139 источников, из них – 18 отечественных и 121 зарубежных авторов. Текст иллюстрирован 40 рисунками, содержит 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

В ходе исследования было пролечено 100 пациентов, имеющих переломы и посттравматические деформации костей конечностей и нуждавшихся в оперативном лечении. Была сформирована основная группа из 50 пациентов, которым было проведено оперативное лечение в соответствии с выработанным на основе проведенной компьютерной реконструкции и моделирования планом. Группу сравнения составили 50 пациентов, перенесших переломы костей конечностей аналогичные первой группе по локализации, которым в качестве предоперационного планирования проводилась стандартная рентгенография поврежденной зоны конечности в двух проекциях.

Пациенты проходили лечение в травматологическом отделении ФГБУЗ ЦКБ РАН в период с 2013 по 2019 гг.

Характеристика контингента – совершеннолетние пациенты, имеющие переломы или посттравматические деформации костей одной из конечностей при наличии здоровой костной анатомии контралатеральной конечности. Возраст пациентов от 18 до 80 лет.

Среди пациентов основной группы было 18 мужчин и 32 женщины. Средний возраст больных составил 40,3 года, минимальный – 20 лет, максимальный – 73 года.

В контрольной группе было 24 мужчины и 26 женщин. Средний возраст больных составил 38,6 лет, минимальный – 22 года, максимальный – 76 лет.

Распределение пациентов по локализации изменений костной системы представлено в Таблице 1.

Таблица 1 – Распределение пациентов основной и контрольной групп по локализации изменений костной системы

<i>Локализация переломов и посттравматических деформаций</i>	<i>Количество пациентов</i>	
	Основная группа	Контрольная группа
Кости кисти	14	16
Кости предплечья	10	9
Большеберцовая кость	7	5
Кости стопы	9	10
Бедренная кость	6	5
Плечевая кость	4	5

Основным условием применения методики являлось отсутствие деформаций костей противоположной конечности, а также технические возможности для проведения компьютерной томографии в сравнительном режиме.

Методики обследования

Клинические: сбор анамнеза, данные физикального обследования. Методы объективного клинического обследования: гониометрия (измерялась амплитуда движений в смежных суставах поврежденного сегмента конечности).

Инструментальные: Пациентам основной группы до проведения операции проводилась компьютерная томография заинтересованной и контралатеральной здоровой конечности. Пациентам контрольной группы проводилось стандартное рентгенологическое исследование зоны интереса в 2 проекциях.

Для получения оптимального результата трехмерной реконструкции, был разработан особый протокол выполнения КТ-исследования, который строго соблюдался. Отклонения от данного протокола повышали риск получения непригодных снимков для дальнейшей трехмерной реконструкции и моделирования.

Основой протокола было точное определение зоны исследования и захват сегментов обеих конечностей на всём протяжении.

На основе полученных данных томографии у пациентов основной группы, с использованием разработанной компьютерной программы «МАРШ», создавались трёхмерные модели, которые подвергались дальнейшей обработке в указанной программе для ЭВМ. Таким образом, обеспечивалась непрерывность рабочего процесса в пределах одного программного продукта. Проведённая трёхмерная реконструкция с формированием поверхностных моделей не зависела от наличия двухмерных срезов томограмм в настоящий момент времени. Конверсия двухмерных снимков в трёхмерную структуру производилась с использованием алгоритма «марширующих кубов», который является стандартным методом поверхностной КТ-реконструкции. Преимуществом данного метода является то, что выполнив построение модели один раз, структуру объекта возможно сохранить и впоследствии подвергать дальнейшей обработке и передаче в неизменном виде (Рисунок 1).

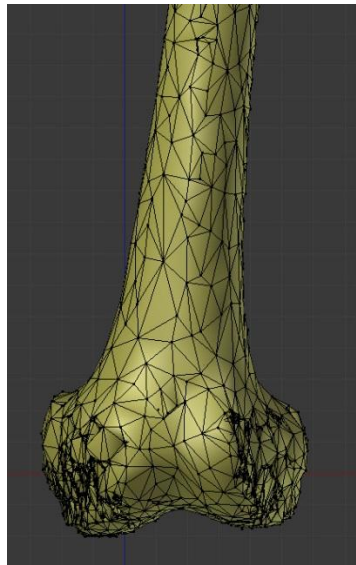


Рисунок 1 – Трёхмерная поверхностная модель дистального отдела бедренной кости, фронтальный вид

Используя принцип сравнительной оценки, выполнив реконструкцию заинтересованной зоны и аналогичного участка противоположной конечности по вышеописанной методике, создавали две независимые трёхмерные модели схожих анатомических зон.

Принимая во внимание несвязанность моделей костей конечностей, проводилась их прецизионная обработка: зеркально отображали трехмерную модель здоровой костной структуры и, таким образом, получали модель, максимально идентичную деформированной до произошедших изменений (Рисунок 2).

Программа для ЭВМ «МАРШ»

В результате настоящего исследования создана компьютерная программа «МАРШ» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ номер 2015661269 от 22.10.2015). Программа включает в себя определенные командные функции, последовательность выполнения которых приводит к облегчению проведения сравнительной оценки костных деформаций, а также упрощает работу с трехмерными моделями и позволяет создавать индивидуальные хирургические шаблоны-направители.

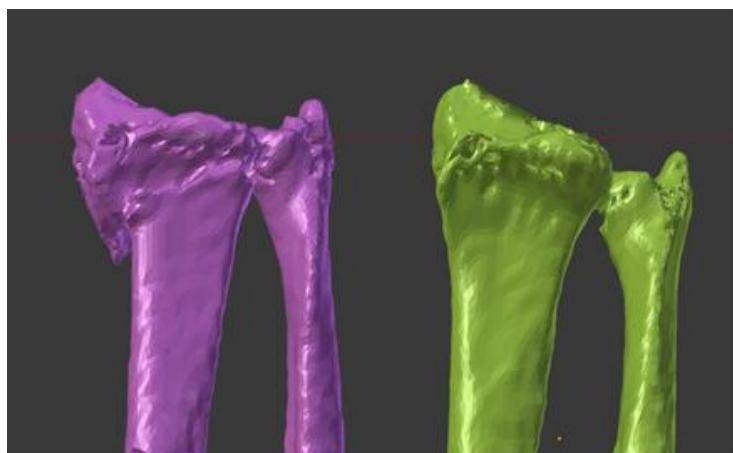


Рисунок 2 – Трехмерные модели лучевых костей контралатеральных конечностей. Слева – сломанный со смещением перелом дистального метаэпифиза лучевой кости, справа – отраженная модель костей интактного предплечья.

Программа предназначена для проведения предоперационного планирования в травматологии и ортопедии при переломах и посттравматических деформациях костей конечностей. Имеется возможность производить манипуля-

ции с трехмерными моделями костей конечностей, позволяя более четко определить различия в строении моделей пострадавшей и контралатеральной (здоровой) сторон при подготовке к оперативному вмешательству и составить полноценный предоперационный план.

Сопоставляя идентичные, не затронутые деформацией зоны обеих костей путем наложения, ротации и смещения моделей, определяли уровень и величину деформации. Разница структур отображалась относительной девиацией структуры. Модель здоровой кости накладывали на модель пострадавшей костной структуры таким образом, чтобы обеспечить максимальное совпадение точек моделей, не затронутых деформацией, начиная от неповрежденного суставного конца.

Следует обратить внимание на необходимость точного сопоставления элементов моделей по длине, ширине и устранения ротационных смещений, что достаточно трудно осуществить при манипуляции моделями в ручном режиме ввиду сложности анатомического строения костей.

Для повышения точности и скорости совмещения трёхмерных моделей, был разработан способ автоматического поиска программой схожих по строению зон после проведения первичного ручного сопоставления моделей с устранением остаточных смещений программными средствами.

Сопоставление выполнялось с применением специализированной функции итеративного алгоритма ближайших точек (Besl P., McKay N. D., 1992; Chen Y., Medioni G., 1992).

По итогам проведенного процесса сопоставления проводили дополнительную графическую оценку полученных результатов путем построения гистограмм выявленных отклонений для более детального и полного анализа деформации. Гистограмма представляла собой переходную цветовую спектральную шкалу, где каждый из цветов характеризует определенное значение. Цветовой схемой отображается расстояние внешней поверхности структуры одного трехмерного объекта до другого (Рисунок 3).

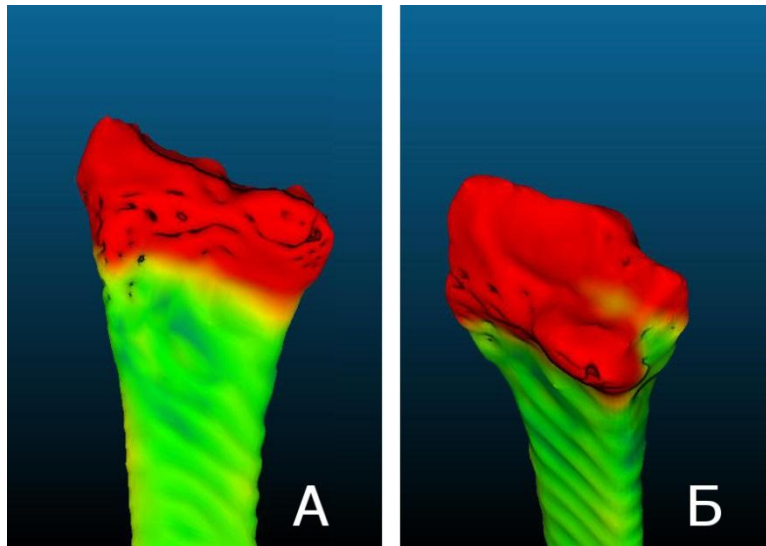


Рисунок 3 – Гистограмма зоны деформации дистального метаэпифиза лучевой кости (показана красным). Тыльный вид (А), вид суставной поверхности (Б)

После сопоставления моделей по незатронутым деформацией участкам, проводили виртуальные манипуляции: репозицию отломков, при необходимости – остеотомию кости. В качестве шаблона для репозиции выступала трёхмерная модель здоровой контралатеральной конечности.

На полученное таким образом трехмерное изображение травмированной кости после проведенной коррекции накладывали виртуальную модель имплантата, производили корректное его расположение, выявляли правильное направление и углы введения винтов, измеряли их длины, или же, производили абсолютные геометрические расчеты размеров необходимого имплантата с определением абсолютных величин линейных или угловых отклонений. Полученные в результате вышеописанных действий данные записывали в виде графического протокола, который размещали в операционной (Рисунок 4).

Расположение винтов в пластине Synthes VA Distal Radius

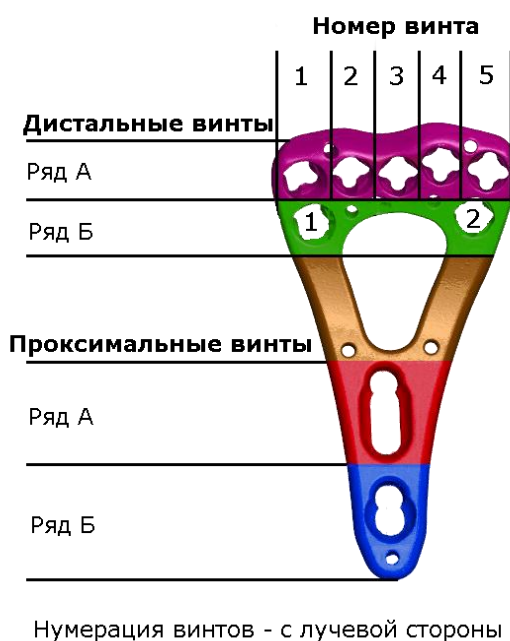


Рисунок 4 – Шаблон протокола операции остеосинтеза лучевой кости на основе данных КТ

Дополнительно на основе полученной информации создавали модель индивидуального хирургического шаблона-направителя, который изготавливался методом послойной трёхмерной печати. Шаблон представлял из себя трёхмерную модель, повторяющую с одной из своих сторон «негатив» поверхности кости, что давало возможность точного его позиционирования на заинтересованном участке в процессе выполнения операции, и имел отверстия для предварительного рассверливания каналов под винты в определённых ранее направлениях. В ряде случаев, при необходимости выполнения остеотомии, в направителе имелась прорезь для полотна пилы. Шаблон изготавливался на трёхмерном принтере и подвергался плазменной стерилизации для применения в процессе хирургического вмешательства.

Использование разработанной методики позволило достичь хорошие и отличные результаты лечения у пациентов основной группы. На контрольных рентгенограммах размер и расположение имплантатов соответствовали запла-

нированному, изменения выбора тактики хирургического лечения, замены имплантата в процессе операции не потребовалось ни в одном случае. В то же время, в контрольной группе выбор размера фиксатора осуществлялся непосредственно в процессе оперативного вмешательства и требовал больших временных затрат для оптимального позиционирования, а в ряде случаев, и моделирования формы имплантата.

Отмечалось снижение времени операции: средняя длительность операции в основной группе составила $79,1 \pm 1,7$ минут, в группе сравнения – $109,5 \pm 2,7$ минут.

Существенно разнилась длительность интраоперационного использования электронно-оптического преобразователя в обеих группах. В основной группе среднее время облучения составило $3,7 \pm 0,8$ минут, тогда как в контрольной группе – $12,4 \pm 1,2$ минут.

Сравнивая результаты лечения пациентов, наблюдавшихся в отдаленном послеоперационном периоде в основной и контрольной группах (6 месяцев после операции), было отмечено, что отличные результаты в основной группе были зафиксированы у 72% пациентов, хорошие результаты наблюдались у 20% больных; удовлетворительные результаты в основной группе составили 8% больных; неудовлетворительных результатов отмечено не было. В группе контроля отличные результаты отмечены у 60% больных; хорошие результаты у 24% больных; удовлетворительные результаты у 14% больных, неудовлетворительные результаты зарегистрированы у 2% больных.

ВЫВОДЫ

1. Современные методы диагностики изменений костной системы у пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями предоставляют возможности для получения полной картины повреждения сегментов конечностей и не должны ограничиваться стандартной рентгенографией: в сложных клинических случаях необходимо проведение компьютерной томографии с целью повышения качества предоперационного планирования.

2. Показаниями к проведению предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии у пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями с целью прецизионного определения этапов операции являются наличие трудностей в интерпретации изменений костной системы на этапе рентгенологического обследования, наличие здоровой контралатеральной конечности. Противопоказаниями для применения предлагаемой методики являются наличие деформации костей контралатеральной конечности или ее полное отсутствие.

3. Разработанный метод предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии и компьютерного моделирования оперативного вмешательства у пациентов с переломами костей конечностей и их последствиями позволяет сократить время проведения операции, повышая точность хирургической манипуляции.

4. Создана специализированная программа ЭВМ для проведения предоперационного планирования с применением трехмерной реконструкции данных компьютерной томографии и компьютерного моделирования оперативного вмешательства.

5. Проведенный сравнительный анализ стандартного рентгенологического предоперационного обследования пациентов с предлагаемой методикой на основе контрольных послеоперационных рентгенограмм показал увеличение точности репозиции отломков и позиционирования имплантатов, сокращение длительности проведения операции и времени интраоперационного облучения у пациентов, пролеченных с применением предлагаемой методики.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При наличии сложностей в интерпретации рентгенологической картины перелома или посттравматической деформации кости конечности целесообразно выполнять МСКТ зоны интереса с захватом контралатеральной конечности.

2. МСКТ следует выполнять с захватом смежных суставов поврежденного сегмента конечности с шагом среза не менее одного миллиметра.

3. Выполнение сегментации снимков необходимо производить в программе МАРШ с использованием алгоритма «марширующие кубы» с выведением зоны интереса путём выбора интервала единиц Хаунсфилда.

4. Зону интереса следует выявлять посредством исполнения алгоритма «ближайших точек» путём наложения друг на друга незатронутых деформацией сегментов трёхмерных моделей костей.

5. Подбор фиксатора следует производить, учитывая индивидуальные особенности каждого клинического случая, принимая во внимание основные принципы накостного остеосинтеза.

6. Для создаваемого в программе МАРШ индивидуального хирургического шаблона-направителя обязательным условием должно быть наличие на одной из его сторон негатива поверхности вычисленной зоны расположения на кости.

7. Индивидуальный хирургический шаблон-направитель должен иметь оптимальные размеры для размещения в операционной ране.

8. После применения индивидуальный хирургический шаблон-направитель следует утилизировать.

9. Применяемые в процессе операции техники остеотомии и остеосинтеза должны опираться на основные хирургические принципы в соответствии с опытом хирурга, рекомендациями производителя металлофиксаторов.

10. В послеоперационном ведении пациентов необходимо учитывать выявленную интраоперационную картину, стабильность фиксации, индивидуальные особенности каждого клинического случая.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шишкин, В.Б. Предоперационное планирование с использованием трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования /В.Б. Шишкин, Д.П. Шишка // Настоящее и будущее ортопедии: материалы научно-практической конференции – Москва, 2013 – С. 227-229.
2. Шишкин, В.Б. Применение технологии трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования в планировании хирургических операций / В.Б. Шишкин // X юбилейный Всероссийский съезд травматологов-ортопедов: материалы съезда – Москва, 2014 – С. 279-280.
3. Шишкин, В.Б. Предоперационное планирование в травматологии и ортопедии с использованием технологии трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования [Электронный ресурс] / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // **Современные проблемы науки и образования.** – 2015 – № 5. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=21636> (дата обращения 10.01.2020).
4. Шишкин, В.Б. Компьютерная ассистенция в планировании оперативных вмешательств в травматологии и ортопедии / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // Современные принципы и технологии остеосинтеза костей конечностей, таза и позвоночника: материалы научно-практической конференции – Санкт-Петербург, 2015 – С. 102.
5. Шишкин, В.Б. Применение современных компьютерных технологий трехмерной визуализации при планировании оперативных вмешательств в травматологии и ортопедии / В.Б. Шишкин // Современная медицина: традиции и инновации: материалы научно-практической конференции – Москва, 2015 – С. 363-365.
6. Шишкин, В.Б. Возможности артроскопической хирургии кисти с применением трехмерных компьютерных технологий / В.Б. Шишкин // Цивьяновские чтения: материалы научно-практической конференции – Новосибирск, 2015 – С.334-339.

7. Шишкин, В.Б. Трехмерная компьютерная диагностика костных деформаций / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // **Медицинский вестник Башкортостана** - 2016 - №6 - С.81-85.
8. Шишкин, В.Б. Применение трехмерных компьютерных технологий в хирургии верхней конечности / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // VI Всероссийский съезд общества кистевых хирургов: материалы съезда – Нижний Новгород, 2016 – С. 124-125.
9. Шишкин, В.Б. Планирование оперативного вмешательства в травматологии и ортопедии с применением трехмерных компьютерных технологий / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // Основные направления отечественной травматологии и ортопедии: материалы конференции – Ялта, 2016 – С. 606-608.
10. Шишкин, В.Б. Применение компьютерного моделирования и трехмерной печати в травматологии и ортопедии / В.Б. Шишкин, В.Г. Голубев // 3D инновации в медицине и фармакологии: материалы научно-практической конференции – Нижний Новгород, 2016 – С. 23-24.
11. Shishkin, V. 3D Computer-assisted distal radius osteotomies with patient-specific surgical guides / V. Shishkin, V. Golubev // J Hand Surg – 2017 – Vol 42, №1, P. S81 - S82.
12. Shishkin, V. Computer-assisted extra-articular distal radius osteotomies using patient-specific surgical guides / V. Shishkin, V. Golubev // EPiC Series in Health Sciences Vol. 2 – 2018 – P.187–189.
13. Шишкин, В.Б. Опыт применения васкуляризированных костных трансплантатов для лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей. / А.В. Неведров, Е.Ю. Шибяев, В.О. Каленский, Н.Н. Заднепровский, В.Б. Шишкин, Ф.А. Шарифуллин, О.А. Цой, М.П. Лазарев, П.А. Иванов, А.Л. Рыбинская // Трансплантология. – 2019 –11(1) – С. 9-20.
14. Шишкин, В.Б. МАРИШ: компьютерная программа для коррекции костных деформаций: от планирования до 3D-печати / В.Б. Шишкин // IV Всероссийская научно-практическая конференция "3D-технологии в медицине": материалы конференции – Нижний Новгород, 2019 – С. 39-40.

15. Шишкин, В.Б. Система предоперационного планирования в травматологии и ортопедии с применением трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования «МАРШ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661269 – Заявка № 2015618221, дата поступления 03.09.2015, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 22.10.2015.

16. Шишкин, В.Б. Программа медицинской визуализации, сегментации и навигации InVesalius. Русскоязычная версия: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612504 – Заявка № 2020611648, дата поступления 17.02.2020, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 25.02.2020.