

На правах рукописи

КУФТОВ
ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ

**РЕПОЗИЦИОННО-СТАБИЛИЗИРУЮЩИЙ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫЙ
ОСТЕОСИНТЕЗ В СИСТЕМЕ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ
С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ
ПОЗВОНОЧНИКА**

3.1.8. Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Санкт-Петербург – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный консультант:

доктор медицинских наук профессор **Усиков Владимир Дмитриевич**

Официальные оппоненты:

Афаунов Аскер Алиевич – доктор медицинских наук профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедра ортопедии, травматологии и ВПХ, заведующий;

Губин Александр Вадимович – доктор медицинских наук профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Медицинский институт, кафедра травматологии и ортопедии, заведующий;

Мушкин Александр Юрьевич – доктор медицинских наук профессор, ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии» Минздрава России, ведущий научный сотрудник, отдел вертебрологии, травматологии и ортопедии, руководитель

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита состоится 19 мая 2026 года в _____ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.008.02 в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России (195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России и на сайте <https://dissovet.rniito.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 99.0.008.02
доктор медицинских наук



Денисов А.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Лечение пациентов с повреждениями позвоночника продолжает оставаться одной из ключевых проблем современной вертебрологии и требует дальнейшего углубленного изучения. Актуальность обусловлена высоким удельным весом травм позвоночника среди всех повреждений опорно-двигательной системы, преобладанием пострадавших трудоспособного возраста, значительными экономическими затратами на лечение и реабилитацию, а также ростом числа инвалидов (Крылов В.В. с соавт., 2014; Khorasanizadeh M. et al., 2019; Mitchell J. et al., 2020; Quadri S.A. et al., 2020; Vadhiwala J.H. et al., 2021). Согласно данным литературы, частота травм позвоночника варьирует от 2,2% до 20,6% от всех повреждений опорно-двигательного аппарата (Морозов И.Н., Млявых С.Г., 2011; Толкачев В.С. с соавт., 2018; Kumar S. et al., 2020).

Травма спинного мозга при переломах позвоночника встречается с частотой от 3,6 до 195,4 случаев на миллион населения, существенно различаясь между странами (Дулаев А.К. с соавт., 2018; Marino R.J. et al., 2020; Rau Y. et al., 2022). Почти половина случаев позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ) сопровождается сочетанными повреждениями, что усложняет диагностику и лечение (Андреева Т.М., Огрызко Е.В., 2017; Толкачев В.С. с соавт., 2018; Лобзин С.В. с соавт., 2019).

Вызывают беспокойство растущие показатели травм, связанных с дорожно-транспортными происшествиями (22–70%), кататравмой (18–61%) и травмой на воде (7–18%) (Бажанов С.П. с соавт., 2019; Chen J. et al., 2021; Gatti M.A. et al., 2020; Johansson E. et al., 2021). До 60% всех повреждений позвоночника приходится на грудной и поясничный отделы, причем груднопоясничный переход вовлекается в 70–90% наблюдений (Liao J.C. et al., 2017; Mulcahy M.J. et al., 2021). Осложненные травмы грудного отдела позвоночника регистрируются в 35–39,2% случаев, поясничного – в 11–28,5% (Nachem L.D. et al., 2017; Marino R.J. et al., 2020). В многопрофильных

стационарах частота множественных повреждений грудного и поясничного отделов достигает 11,5% среди пациентов с повреждениями позвоночника, нуждающихся в оперативном лечении (Богданова О.Ю., 2019).

У пациентов с неврологическим дефицитом, помимо двигательных и чувствительных расстройств, отмечаются выраженные вегетативные нарушения, приводящие к дисфункции внутренних органов и увеличению риска вторичных осложнений (Fossey M.P.M. et al., 2022). Существенные экономические расходы, высокий уровень инвалидизации и летальности при сочетанных повреждениях подчеркивают значимость дальнейшего совершенствования подходов к лечению (Quadri S.A. et al., 2020).

Выбор оптимальной хирургической тактики остается предметом дискуссий, включая определение показаний к декомпрессивным вмешательствам, объем и протяженность фиксации, а также оценку рисков осложнений (Афаунов А.А. с соавт., 2018; Гринь А.А. с соавт., 2018; Лихачев С.В. с соавт., 2021; Hoffmann C. et al., 2020; Ren E.H. et al., 2019; Wang T. et al., 2022; Zhang H. et al., 2022). Эти обстоятельства определяют необходимость дальнейшего совершенствования системы хирургического лечения повреждений позвоночника.

Степень разработанности темы исследования

Основные задачи хирургического лечения пациентов с повреждениями позвоночника включают коррекцию локальной деформации, декомпрессию сосудисто-нервных структур позвоночного канала и обеспечение стабильной фиксации поврежденного сегмента (Корнилов Н.В., Усиков В.Д., 2000; Усиков В.Д., 2006; Афаунов А.А. с соавт., 2007; Томилов А.Б., Кузнецова Н.Л., 2012; Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Yuan L. et al., 2019; Kumar S. et al., 2020; Olivares O.V. et al., 2021). Достижение адекватного сагиттального и фронтального выравнивания, даже при полном повреждении спинного мозга, является важным условием биомеханической стабильности и эффективности

последующей реабилитации (Мушкин А.Ю. с соавт., 2009; Kumar S. et al., 2020).

Несмотря на значительное количество исследований, параметры, к которым следует стремиться при коррекции деформации, остаются дискуссионными из-за высокой индивидуальной variability анатомии позвоночника (Рерих В.В. с соавт., 2007; Hou G.J. et al., 2020). Разнообразие методов оценки кифотической деформации создает трудности при сопоставлении данных различных исследований (Formica M. et al., 2016; De Iure F. et al., 2018). Так, при анализе сегментарной деформации позвоночника разными авторами предлагается учитывать угол клиновидности позвонка или локальный сагиттальный угол (Vialle R. et al., 2005); сагиттальный индекс или деформацию Гарднера (Ulmar B. et al., 2010); локальный сегментарный угол или сегментарный лордоз (Park K.H. et al., 2021). Количественная оценка деформации остается ключевым инструментом для планирования хирургического вмешательства и анализа его результатов.

В остром периоде травмы оптимальной стратегией является восстановление параметров позвоночника до исходного уровня; в связи с этим на этапе планирования оперативного вмешательства необходимо проведение моделирования поврежденного отдела позвоночника. Несмотря на существующие исследования по морфометрии (Heu N.W.D. et al., 2017; Lafage R. et al., 2020; Machino M. et al., 2020), данных, оценивающих клинические исходы травм позвоночника с позиции сагиттального баланса, все еще недостаточно. Результаты хирургического лечения пациентов с оскольчатыми повреждениями позвоночника в грудопоясничном отделе свидетельствуют о том, что успех зависит от восстановления сагиттального профиля (Рерих В.В., Борzych К.О., 2015; Mayer M. et al., 2017; Yoshihara H., 2017).

Выбор хирургического доступа при повреждениях позвоночника, особенно осложненных неврологическим дефицитом или разрушением тел позвонков, остается предметом активного обсуждения (Елисеев А.С. с соавт., 2021; Lindtner R.A. et al., 2018; Wang T. et al., 2022). Задний доступ характеризуется

меньшей инвазивностью, меньшей кровопотерей и снижением частоты периоперационных осложнений (Yaman O. et al., 2021). Закрытая декомпрессия на основе distraction и лигаментотаксиса позволяет уменьшить стеноз позвоночного канала почти наполовину (Афаунов А.А., Кузьменко А.В., 2011; Nadgaonkar S. et al., 2017), однако при сохраняющейся компрессии возникает необходимость в открытой декомпрессии. Методы декомпрессионных вмешательств продолжают совершенствоваться, но требуют дальнейшего изучения (Zhang B. et al., 2019; Hoffmann C. et al., 2020; Huang Z. et al., 2020). Следовательно, хирургическая тактика при повреждениях этих отделов нуждается в уточнении показаний к использованию передних и задних доступов, их объема и последовательности, а морфологическое разнообразие травм требует совершенствования способов декомпрессии.

Поддержание стабильности оперированного сегмента является критически важным условием успешного результата. Недооценка нестабильности в остром периоде приводит к прогрессированию посттравматической деформации и необходимости более сложных реконструктивных операций (Liu F.Y. et al., 2020; Olivares O.V. et al., 2021). Потеря коррекции и ее влияние на клинический исход остаются предметом дискуссий (Дулаев А.К., Мануковский В.А. с соавт., 2018; Басанкин И.В., 2021; Payer M., 2006).

Осложнения, связанные с некорректной установкой транспедикулярных винтов, их миграцией и поломкой металлоконструкций, встречаются с частотой до 19% случаев, приводя к прогрессированию деформации в отдаленном периоде (Hirota R. et al., 2022; Zhang H. et al., 2022). Профилактика данных осложнений и совершенствование технологий их лечения остаются важными задачами (Li J. et al., 2021; Richter P.H. et al., 2022). Используемые для установки винтов навигационные шаблоны требуют значительных финансовых, технических и временных ресурсов (Коваленко Р.А. с соавт., 2020; Косулин А.В. с соавт., 2022), а дорогостоящие системы недоступны для широкого использования в клиниках, что стимулирует разработку более доступных устройств.

Дискуссионным остается вопрос протяженности транспедикулярной фиксации, а также необходимости включения поврежденного позвонка в фиксирующую конструкцию (Усиков В.Д., 2006; Spiegl U.J. et al., 2021; Yaman O. et al., 2021). Чрезмерная жесткость конструкций приводит к перегрузке смежных сегментов и ускоренному развитию их дегенерации (Усиков В.В., Усиков В.Д., 2006; Бердюгин К.А., Каренин М.С., 2010). Одним из путей решения является последующее удаление металлоконструкций (Lorente R. et al., 2021), однако потенциал полуригидной фиксации при травмах грудного и поясничного отделов позвоночника остается малоизученным.

После репозиционного транспедикулярного остеосинтеза с восстановлением высоты поврежденного позвонка и устранением передней компрессии содержимого позвоночного канала уточняются показания к выполнению переднего спондилодеза (Афаунов А.А. с соавт., 2016; Дулаев А.К., Мануковский В.А., Кутянов Д.И., 2018; Hoffmann C. et al., 2020). Разработка и внедрение новых малоинвазивных методик и имплантационных систем обуславливает необходимость корректировки существующих подходов и разработку обоснованных тактических решений (Мануковский В.А. с соавт., 2012; Аганесов А.Г. с соавт., 2018; Бывальцев В.А. с соавт., 2019; Oiu C. et al., 2024; Pishnamaz M. et al., 2020). Анализ литературы подтверждает высокую актуальность дальнейших исследований в области предоперационного планирования, усовершенствования методов декомпрессии и оптимизации фиксации при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника, что определяет необходимость постановки цели и задач настоящего исследования.

Цель исследования – научное обоснование, разработка и внедрение усовершенствованной системы лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника на основе компьютерно-математического моделирования репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза.

Задачи исследования

1. На основании анализа компьютерных томограмм неповрежденного грудного и поясничного отделов позвоночника разработать методику предоперационного планирования, основанную на расчете исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла с использованием морфометрии тел позвонков и межпозвоночных дисков.

2. Посредством ретроспективного анализа компьютерных томограмм пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника определить факторы, влияющие на восстановление вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала.

3. Разработать специальную компьютерную программу для расчета исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника, необходимых для выполнения закрытой репозиции и архивирования полученных данных.

4. Изучить в ходе стендовых испытаний прочностные характеристики продольных штанг разного диаметра из титановых сплавов и стали, используемых в транспедикулярных устройствах, и оценить посредством математического моделирования устойчивость фиксации при их применении у пациентов с нестабильными повреждениями поясничного отдела позвоночника.

5. Усовершенствовать способ репозиции поврежденного отдела позвоночника с использованием транспедикулярного устройства у пациентов изучаемого профиля и оценить его клиническую эффективность.

6. Разработать алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, основанный на компьютерно-математическом моделировании репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза.

7. Провести сравнительный анализ ближайших и отдаленных результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного

отделов позвоночника при использовании известной и усовершенствованной систем лечения.

Научная новизна

1. Впервые введено и научно обосновано понятие позвоночно-дискового комплекса (vertebral-disc complex, VDC), рассматриваемого как морфологическая структура, включающая тело позвонка и смежные межпозвоночные диски. Впервые разработаны и внедрены количественные морфометрические показатели A-VDCH и P-VDCH, характеризующие соответственно переднюю и заднюю высоту позвоночно-дискового комплекса. Введение данных параметров позволяет объективизировать количественную оценку морфологических изменений поврежденного сегмента, обеспечить сопоставимость результатов исследований и повысить уровень стандартизации морфометрических измерений в спинальной патологии.

2. На основании анализа морфометрических данных разработана и научно обоснована методика предоперационного планирования хирургического лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника, основанная на расчете индивидуальных исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла на модели позвоночника с использованием морфометрических параметров трех смежных тел позвонков и четырех межпозвоночных дисков, что обеспечивает персонализированный подход к восстановлению анатомио-биомеханических параметров поврежденного сегмента.

3. При ретроспективном анализе пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника установлены ключевые факторы, влияющие на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка: давность травмы, величина дистракции позвоночно-дискового комплекса и сегментарный угол, а на эффективность закрытой декомпрессии позвоночного канала дополнительно значимое влияние оказывают угол разворота и ширина внутриканального костного фрагмента.

4. Разработана и внедрена в клиническую практику компьютерная программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668665), предназначенная для математических расчетов и архивирования линейных и угловых параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника.

5. В экспериментальных стендовых испытаниях, выполненных по международному стандарту ASTM F1717, получены новые данные о прочностных характеристиках продольных штанг разного диаметра из титановых сплавов и стали, используемых в транспедикулярных устройствах.

6. Посредством математического моделирования методом конечных элементов определены оптимальные характеристики устойчивости различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника, способствующие сохранению достигнутой коррекции деформации и снижению риска их переломов.

7. Усовершенствован способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов (патент РФ на изобретение № 2753133), обеспечивающий точное позиционирование редуцированных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка, исключая необходимость перемонтажа системы и сокращающий продолжительность операции.

8. Разработан алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, основанный на компьютерно-математическом моделировании репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза и включающий этапы морфометрии, предоперационного планирования и интраоперационного контроля, что способствует в большинстве случаев выполнению всего объема хирургического лечения в один этап из заднего доступа.

9. Доказана клиническая эффективность усовершенствованной системы лечения, реализующей принципы восстановления исходных анатомических параметров позвоночно-дискового комплекса, заключающаяся в статистически

достоверном снижении частоты общих и механических осложнений, сокращении продолжительности операции и объема интраоперационной кровопотери, уменьшении выраженности болевого синдрома и повышении доли отличных исходов лечения по шкале R.G. Watkins.

Теоретическая и практическая значимость исследования

1. Впервые предложен количественный метод оценки сегмента позвоночника в единой вертикальной мере, включающей тело позвонка и смежные межпозвоночные диски, с использованием показателей передней (A-VDCH) и задней (P-VDCH) высоты позвоночно-дискового комплекса, позволяющий формировать новую методологическую стратегию для морфометрического анализа позвоночника.

2. Разработанная методика предоперационного планирования на основе расчета исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, а также выявленные закономерности влияния морфометрических и клинико-рентгенологических факторов на эффективность репозиции и закрытой декомпрессии позвоночного канала расширяют представления о механизмах повреждения и восстановления опорной функции позвоночника.

3. Проведенные экспериментальные стендовые исследования и математическое моделирование методом конечных элементов позволили уточнить теоретические основы обеспечения стабильности транспедикулярной фиксации и определить оптимальные параметры продольных штанг с учетом материала изготовления и диаметра, что имеет значение для совершенствования конструктивных решений в области спинальной хирургии.

4. Созданная и зарегистрированная компьютерная программа для ЭВМ (№ 2023668665) облегчает возможность расчета линейных и угловых параметров поврежденного позвоночно-дискового комплекса и архивирует полученные результаты, что повышает точность и воспроизводимость полученных данных.

5. Разработанный и запатентованный способ репозиции позвоночника (патент РФ № 2753133) обеспечивает более точное позиционирование редуционных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка, исключает необходимость перемонтажа системы и сокращает продолжительность операции.

6. На основании проведенных исследований разработан и внедрен в клиническую практику алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, основанный на компьютерно-математическом моделировании репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза, обеспечивающий системный подход к планированию и контролю результатов хирургического вмешательства.

7. Внедрение усовершенствованной системы лечения позволило повысить эффективность хирургической коррекции повреждений позвоночника, что подтверждается статистически достоверным снижением частоты общих и механических осложнений, уменьшением объема кровопотери, сокращением длительности операции и выраженности болевого синдрома, а также увеличением доли отличных клинических исходов.

8. Полученные результаты могут быть использованы в клинической практике травматолого-ортопедических и нейрохирургических отделений, при подготовке специалистов, а также при разработке новых технологий спинальной фиксации и совершенствовании методов хирургического лечения повреждений позвоночника.

Методология и методы исследования

Методология диссертационного исследования реализована в три этапа. На первом этапе проведен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника ($n = 120$), а также разработана компьютерная программа для предоперационного планирования. Второй этап включал экспериментальные

исследования, стендовые испытания элементов транспедикулярных фиксирующих конструкций и математическое моделирование с использованием метода конечных элементов, направленные на разработку способа репозиции позвоночника. На третьем этапе разработан алгоритм усовершенствованной системы лечения и выполнено проспективное клиническое исследование с оценкой ее эффективности ($n = 108$).

Медиана возраста пациентов, находившихся на лечении в ГАУЗ «Брянская городская больница № 1» в период с 2003 по 2023 г., составила 38,50 [27,00–51,75] лет (16–70 лет).

Методологическая основа исследования базировалась на комплексном клинико-рентгенологическом, морфометрическом, биомеханическом и статистическом подходах, обеспечивающих оценку характера повреждений позвоночника, эффективности хирургической коррекции деформации и динамики клинико-рентгенологических исходов.

В ходе исследования выполнены:

- разработка методики предоперационного планирования на основе данных компьютерной томографии интактных сегментов позвоночника с расчетом индивидуальных линейных и угловых параметров;
- ретроспективный анализ влияния индивидуальных морфометрических характеристик на восстановление высоты поврежденного тела позвонка и степень закрытой декомпрессии позвоночного канала;
- разработка компьютерной программы для расчета исходных параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника;
- стендовые испытания продольных штанг транспедикулярных конструкций в соответствии со стандартом ASTM F1717 с учетом материала изготовления и диаметра;
- математическое моделирование методом конечных элементов для определения оптимальных характеристик устойчивости транспедикулярных фиксирующих систем;

- разработка способа репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах;
- разработка и клиническая апробация алгоритма усовершенствованной системы лечения.

Объект исследования — взрослые пациенты с изолированной и сочетанной травмой грудного и поясничного отделов позвоночника, а также данные спондилографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии.

Предмет исследования — результаты хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, а также сравнительная оценка эффективности традиционных методов и усовершенствованной системы хирургического лечения.

Дизайн исследования сформирован на основе анализа отечественной и зарубежной литературы и включал отбор пациентов по единым диагностическим критериям, формирование основной и контрольной групп, проведение стандартизированного хирургического лечения и оценку ближайших и отдаленных клинических и рентгенологических результатов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Показатели A-VDCH и P-VDCH являются интегральными количественными характеристиками позвоночно-дискового комплекса, включающего тело позвонка и смежные межпозвоночные диски, использование которых обеспечивает стандартизацию и сопоставимость результатов исследований.

2. Планирование декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на основе математических расчетов исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника позволяет восстанавливать исходные анатомические параметры поврежденного позвонка с обоснованной декомпрессией содержимого позвоночного канала и устойчивой фиксацией транспедикулярным устройством.

3. Разработанная компьютерная программа для ЭВМ (№ 2023668665) реализует алгоритм математических расчетов и архивирования линейных и угловых параметров поврежденного позвоночно-дискового комплекса в до-, интра- и послеоперационном периодах, обеспечивая стандартизацию этапов хирургического вмешательства и объективный контроль эффективности остеосинтеза.

4. Предложенный и клинически апробированный усовершенствованный способ репозиции позвончика при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов (патент РФ № 2753133) позволяет осуществить точное позиционирование редуцированных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка и сокращение продолжительности оперативного вмешательства за счет исключения этапа перемонтажа системы.

5. Усовершенствованная система хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, основанная на компьютерно-математическом моделировании исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, позволяет в большинстве случаев выполнять реконструктивно-стабилизирующие вмешательства в один этап из заднего доступа, что приводит к достоверному улучшению ближайших и отдаленных результатов лечения.

Личный вклад автора

Диссертантом лично разработана концепция исследования, определены его цель, задачи и методологические подходы. Самостоятельно осуществлен отбор пациентов, формирование ретроспективной и проспективной групп, а также анализ клинического материала. Автор принимал непосредственное участие в обследовании больных, интерпретации данных рентгенологических, компьютерно-томографических, магнитно-резонансных и морфометрических исследований.

Автором выполнены математические расчеты исходных вертикальных и угловых параметров поврежденного позвоночно-дискового комплекса, проведена разработка методики предоперационного планирования и способа интраоперационного контроля восстановления рассчитанных параметров.

Лично осуществлено участие в разработке и патентовании способа репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах, а также в создании компьютерной программы для вычисления исходных вертикальных и угловых характеристик поврежденных сегментов позвоночника.

Автор проводил стендовые испытания прочностных характеристик продольных штанг транспедикулярных конструкций в соответствии с международными стандартами, участвовал в математическом моделировании методом конечных элементов, анализировал полученные механические характеристики и их клиническое значение.

В ходе хирургического лечения автор принимал участие в планировании и выполнении операций, включая применение разработанных методических подходов. Лично автором произведен анализ ближайших и отдаленных анатомо-функциональных результатов, а также оценка неврологической динамики и качества жизни пациентов. Автором самостоятельно проведена статистическая обработка материала, интерпретация результатов, сформулированы основные положения, выводы и практические рекомендации диссертационной работы.

Достоверность исследования

Достоверность результатов исследования основана на большом клиническом материале ($n = 228$). Анализ результатов экспериментального, морфометрического и клинического исследований, а также ближайших и отдаленных результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника проведен на основании стандартизированных методик, классификаций и общепринятых шкал.

Репрезентативность выборки подтверждается сопоставимостью основной и контрольной групп по возрасту, полу и характеру травмы. Достоверность результатов диссертационного исследования дополнительно обеспечена статистической обработкой данных с использованием программы SPSS Statistics 27.0.1 (IBM, США). Предварительно каждая из сравниваемых количественных переменных оценивалась на соответствие закону нормального распределения с применением критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. При отклонении распределения от нормального для описания и анализа использовались непараметрические методы. Критический уровень статистической значимости принят равным $p < 0,05$. Комплексность примененных методов и многоступенчатая верификация данных обеспечивают высокую достоверность и воспроизводимость полученных результатов исследования.

Апробация диссертационной работы

Основные научные положения и выводы диссертационного исследования доложены и обсуждены на различных научно-практических конференциях и симпозиумах по травматологии, нейрохирургии, вертебрологии, посвященных проблемам хирургического лечения больных с травмами позвоночника и спинного мозга: «Поленовские чтения» (Санкт-Петербург, 2006–2023); «Проблемы остеопороза в хирургии позвоночника» (Смоленск, 2007); «Нейрохирургия и травматология: современный подход и перспективы развития» (Тула, 2012); конференции по интермиттирующей катетеризации в Дании (Копенгаген, 2012); «Неотложные состояния в вертебрологии» (Санкт-Петербург, 2013); «Актуальные вопросы нейрохирургии: диагностика и лечение» (Архангельск, 2014); «Современные принципы комплексного лечения, реанимации и реабилитации больных с заболеваниями и травмой нервной системы» (Красноярск, 2015); VIII съезде ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS) «Фундаментальные и прикладные аспекты поражений и повреждений позвоночника» (Иркутск, 2017); IX съезде ассоциации хирургов-вертебрологов

«Хирургическая вертебрология: достижения и нерешенные вопросы» (Санкт-Петербург, 2018); Всероссийском форуме «InnoMed-2018» (Пенза, 2018); Всероссийском нейрохирургическом форуме (Москва, 2022); научно-практической конференции «Актуальные вопросы, достижения и нерешенные проблемы современной травматологии и ортопедии» (Смоленск, 2022); IX Национальном конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах: новое в организации и технологиях» (Санкт-Петербург, 2024); X Юбилейном национальном конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях» (Санкт-Петербург, 2025).

Публикации и реализация результатов работы

По теме диссертационного исследования опубликована 41 научная работа, включающая в себя - 11 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций результатов диссертационных исследований, получено 2 патента РФ на изобретения: «Способ остеосинтеза позвоночника при травмах и заболеваниях» (патент РФ на изобретение № 2559275), «Способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов» (патент РФ на изобретение № 2753133) и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668665 «Программа для расчета восстановления исходной анатомии позвоночника».

Основные положения диссертации внедрены в практическую работу нейрохирургических отделений ГАУЗ «Брянская городская больница № 1» (г. Брянск), ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России (г. Санкт-Петербург), СПб ГБУЗ «Городская больница № 26» (г. Санкт-Петербург), ГБУЗ «Калужская областная клиническая больница» (г. Калуга), ГАУЗ «Орловская городская больница № 1» (г. Орел), ГБУЗ «Петрозаводская клиническая больница» (г. Петрозаводск).

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 336 страницах текста и включает введение, обзор литературы, пять глав собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации, список сокращений, список литературы, а также приложения. Список литературы содержит 393 источника, в том числе 152 отечественных и 241 зарубежных публикаций. Работа иллюстрирована 110 рисунками и включает 31 таблицу, что обеспечивает наглядное представление полученных результатов и подтверждает их достоверность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, освещены его научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения о реализации и апробации работы, объеме и структуре диссертации.

В первой главе анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что хирургическое лечение повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника включает восстановление биомеханической оси позвоночника, декомпрессию структур позвоночного канала и стабилизацию поврежденного сегмента. Для планирования лечения применяются морфометрические и рентгенологические параметры, основанные на оценке размеров тела поврежденного позвонка и степени стеноза позвоночного канала, которые не отражают комплексного характера повреждений, включая смежные межпозвоночные диски, и характеризуются ограниченной воспроизводимостью. В доступных источниках отсутствуют данные исследований, посвященных количественной оценке повреждения морфологического комплекса «тело позвонка – смежные межпозвоночные диски», а восстановление биомеханической оси позвоночника нередко

осуществляется с использованием эталонных или эмпирических подходов, что сопровождается погрешностями. Большинство транспедикулярных репозиционных систем не обеспечивает непосредственного вовлечения поврежденного позвонка в процесс репозиции, что снижает ее эффективность; при этом частота осложнений после остеосинтеза остается высокой. Выявленные ограничения определяют актуальность настоящего исследования и необходимость разработки унифицированных интегральных морфометрических критериев оценки поврежденного позвоночного сегмента.

Во второй главе представлены материалы и методы диссертационного исследования. Для решения поставленных задач был разработан многоэтапный дизайн исследования, включающий шесть взаимодополняющих этапов.

Первый этап (аналитико-обзорный) включал анализ отечественных и зарубежных публикаций, посвященных морфометрии позвоночника и хирургическому лечению повреждений грудного и поясничного отделов, что позволило обосновать актуальность исследования, сформулировать цели и задачи, а также определить направления последующих этапов.

Второй этап (морфометрический) был посвящен разработке анатомо-морфометрического подхода с введением понятия «позвоночно-дисковый комплекс» (Vertebral Disc Complex – VDC), включающего тело позвонка и два смежных межпозвоночных диска. На основе данных СКТ неповрежденного грудного и поясничного отделов позвоночника 25 человек разработана методика расчета вертикальных параметров VDC и сегментарного угла. Достоверность расчетов оценивалась путем сопоставления фактических и расчетных значений.

Третий этап (клинико-морфометрический) включал ретроспективный анализ данных СКТ до и после операции у 95 пациентов с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Изучалось влияние параметров VDC, сегментарного угла, а также характеристик внутриканальных костных фрагментов на восстановление вертикальных размеров поврежденного позвонка и эффективность закрытой декомпрессии

позвоночного канала. В рамках этапа разработана методика интраоперационного восстановления расчетных параметров и специализированная компьютерная программа для пред-, интра- и послеоперационных расчетов.

Четвертый этап (экспериментально-биомеханический) включал стендовые испытания продольных штанг транспедикулярных систем по стандарту ASTM F1717 и математическое моделирование методом конечных элементов (ANSYS) с целью оценки устойчивости фиксации при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника.

Пятый этап был посвящен разработке и внедрению усовершенствованного способа репозиции позвоночника с использованием транспедикулярного устройства.

Шестой этап включал клиническую оценку усовершенствованной системы лечения пациентов с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Проведен сравнительный анализ результатов хирургического лечения у 228 пациентов, разделенных на контрольную (120) и основную (108) группы. Оценивались клинико-неврологические, рентгенологические и морфометрические показатели в ближайшие (до 6 месяцев) и отдаленные сроки (от 1 года до 19 лет), а также функциональный статус по шкале R.G. Watkins и качество жизни по опроснику SF-36.

Клинический материал исследования основан на по с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, оперированных в ГАУЗ «Брянская городская больница № 1» в 2003–2023 гг. Исследование включало ретроспективные и проспективные наблюдения. Возраст пациентов составил от 16 до 70 лет (медиана — 38,5 года); мужчин — 129 (56,6%), женщин — 99 (43,4%).

Критериями включения являлись одноуровневые травматические повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника (по классификации AOSpine A2–A4, B, C) с различным неврологическим статусом

по ASIA (A–E). Критерии невключения — нетравматические и многоуровневые повреждения, врожденные деформации позвоночника и ранее выполненные операции. Отбор пациентов осуществлялся на основании данных клинико-неврологического обследования, результатов лучевой диагностики (КТ, МРТ), а также анализа медицинской документации. Все пациенты были прооперированы с использованием репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. В зависимости от применяемой лечебной тактики больные были разделены на контрольную группу (n=120), в которой использовались традиционные методы хирургического лечения, и основную группу (n=108), где выполнялось предоперационное планирование с математическим расчетом исходных параметров позвоночно-дискового комплекса (VDC) и сегментарного угла, а также интраоперационный контроль восстановления целевых морфометрических показателей при репозиции позвоночника.

Такой подход позволил стандартизировать условия исследования и обеспечить сопоставимость результатов между группами.

Большинство пациентов обеих групп было оперировано в остром и раннем периодах травмы. Контрольная и основная группы были сопоставимы по полу, возрасту, локализации и морфологии повреждений, тяжести травмы по шкале TLICS, степени стеноза позвоночного канала и исходному неврологическому статусу ($p>0,05$), что обеспечивало корректность сравнительного анализа результатов лечения. Морфологию повреждений костно-связочных структур оценивали по классификации AOSpine (табл. 1).

Таблица 1

Распределение больных по классификации AOSpine

Тип перелома	Основная группа (n=108)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
A2	1	0,9	1	0,8
A3	20	18,5	30	25,0
A4	64	59,3	57	47,5
B1	2	1,9	3	2,5
B2	8	7,4	11	9,2
C	13	12,0	18	15,0
Всего	108	100	120	100

Наиболее часто повреждения позвоночника у пациентов как основной, так и контрольной групп локализовались на уровне ThXII-LII (рис. 1).

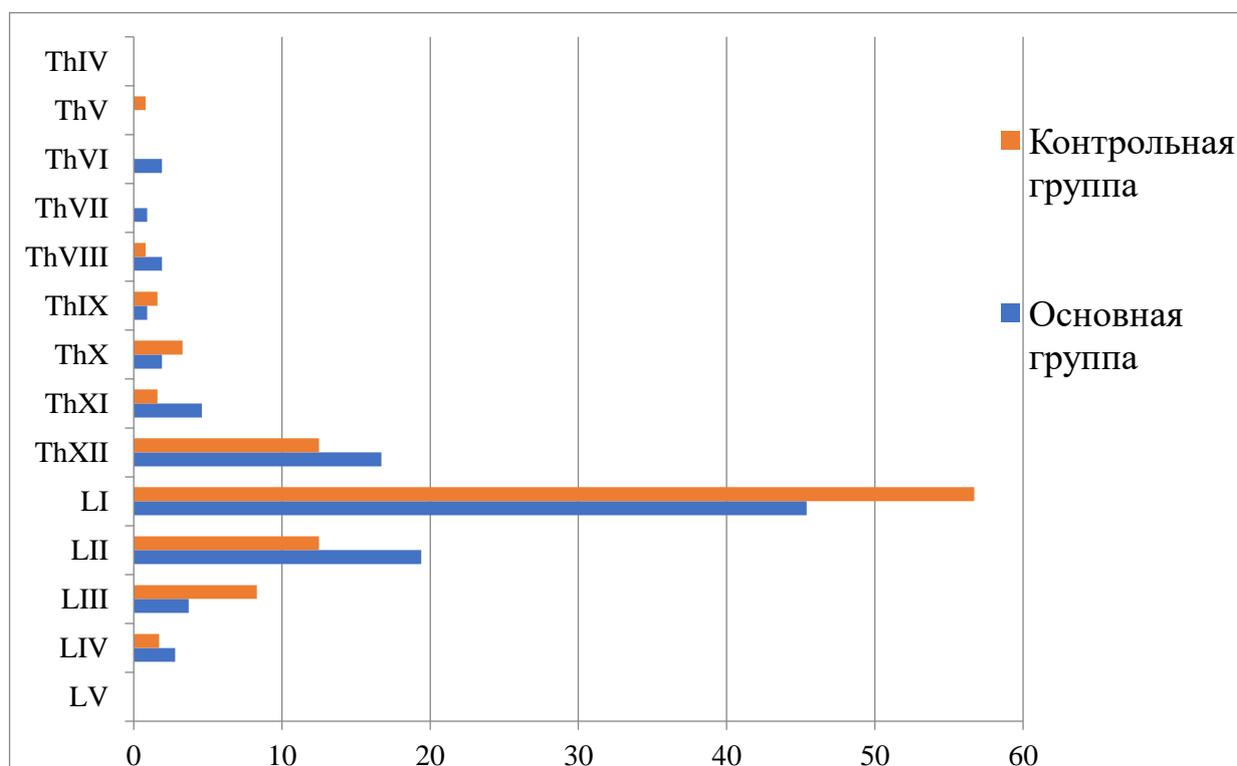


Рисунок 1. Распределение пациентов основной и контрольной групп по уровням повреждения

Неврологические нарушения в двух репрезентативных группах по ASIA представлены на рисунке 2.

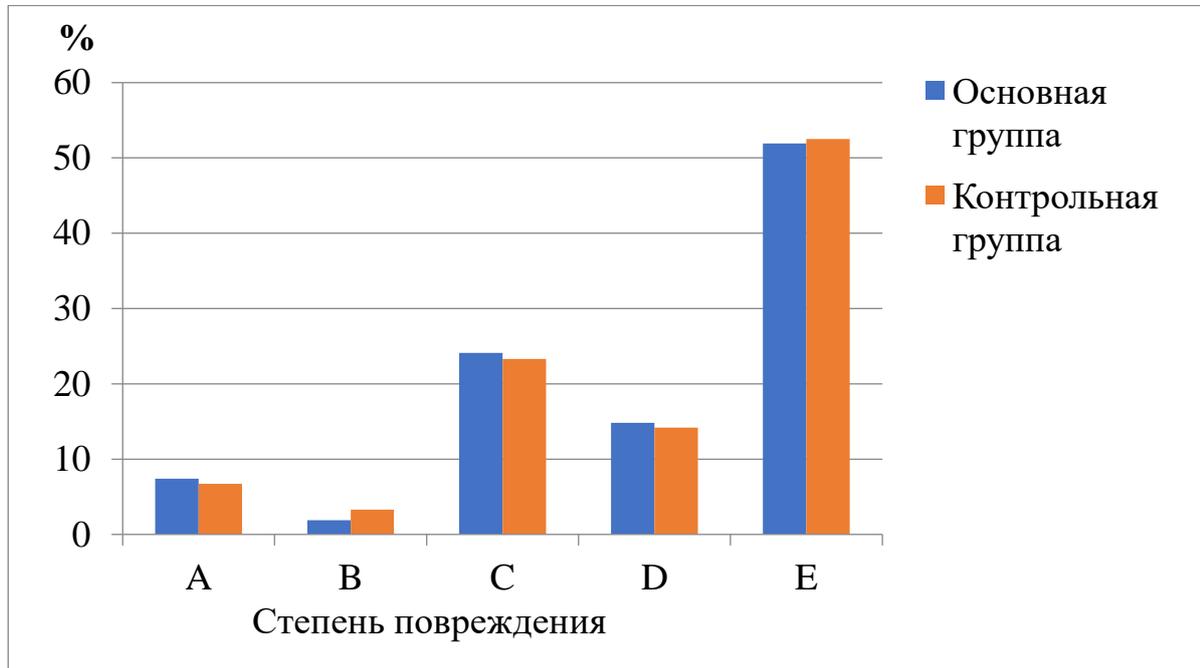


Рисунок 2. Неврологические нарушения в двух группах по ASIA в процентах

Для расширенного морфометрического анализа были сформированы сопоставимые подгруппы, по 80 пациентов в каждой группе. Исследование включало клинический, рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансный, морфометрический, экспериментально-биомеханический и статистический методы. Морфометрические измерения выполнялись по данным СКТ с расчетом вертикальных параметров тела позвонка и позвоночно-дискового комплекса, сегментарного угла, степени стеноза позвоночного канала и смещения костных фрагментов.

На всех этапах диссертационной работы использовались клинические, морфометрические, лучевые и статистические методы исследования.

В третьей главе разработана методика предоперационного планирования восстановления исходных размеров и сегментарного угла поврежденного позвоночно-дискового комплекса на основе измерений трех тел позвонков и четырех смежных дисков с расчетом передней (A-VDCH) и задней (P-VDCH) высоты по полусумме смежных сегментов. Средняя разница между

фактическими и рассчитанными размерами составила 1,3–1,4 мм, коэффициенты корреляции достигали 0,953–0,986. Сегментарный угол α рассчитывается по формуле $\alpha = \sin^{-1}((|CD|-|AB|)/|AD|)$, что позволило получить среднюю разницу $2,5 \pm 0,6^\circ$ с фактическими измерениями. Методика обеспечивает точное индивидуальное восстановление анатомии поврежденного сегмента и может использоваться при планировании хирургической коррекции деформаций позвоночника. Это позволило решить первую задачу исследования.

Для решения второй задачи были проведены ретроспективные исследования. На основании анализа СКТ 50 пациентов с повреждениями тел позвонков ThVIII–LIII изучено влияние индивидуальных анатомических параметров на восстановление высоты позвонка и декомпрессию позвоночного канала. Раннее хирургическое вмешательство (до 10 дней) обеспечивало более полное восстановление передней стенки тела позвонка, тогда как задние размеры изменялись меньше. Оптимальное восстановление достигалось при дистракции позвоночно-дискового комплекса, близкой к индивидуальным значениям, и точной коррекции сегментарного угла α . Полученные данные подтверждают необходимость учета VDC и α для эффективного восстановления анатомии и закрытой декомпрессии позвоночного канала.

Ретроспективно проанализированы данные КТ исследований 45 пациентов с переломами LI позвонка и внутриканальными костными фрагментами. Эффективность закрытой декомпрессии позвоночного канала зависела главным образом от времени до операции, ширины и угла разворота фрагмента: смещение более 50% не достигалось при ширине фрагмента более 86% поперечного диаметра канала и превышало 50% при ширине свыше 69%. Неврологический статус ASIA не коррелировал с дефицитом просвета или площади канала, длиной и количеством фрагментов.

Разработан метод интраоперационного контроля восстановления вертикальных и угловых параметров поврежденного VDC с помощью измерений на экране ЭОП и сопоставления с предоперационно рассчитанными

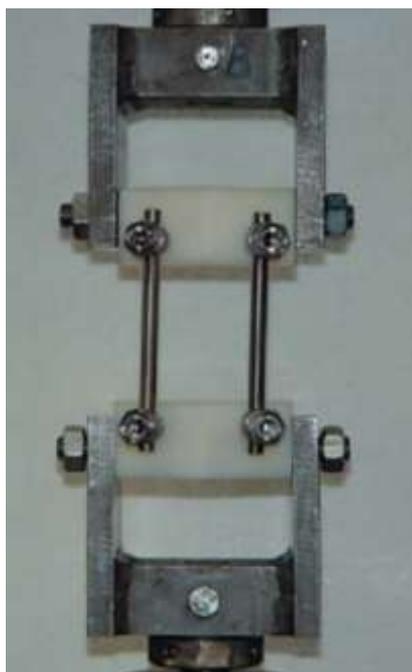
величинами. Коэффициент увеличения монитора позволяет точно переносить планируемые размеры A-VDCH, P-VDCH и сегментарный угол на интраоперационную визуализацию. Метод обеспечивает точное восстановление анатомии сегмента, что подтверждено совпадением послеоперационных СКТ-данных с расчетными параметрами.

Для облегчения трудоемких расчетов была разработана компьютерная программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668665), которая позволяет производить математические расчеты и архивирование исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах в до-, интра- и послеоперационном периодах. Разработка компьютерной программы легла в основу третьей задачи диссертационного исследования.

В четвертой главе проводилось решение четвертой задачи, связанной с оценкой механических характеристик транспедикулярных устройств (ТПУ) при фиксации поясничного отдела позвоночника. Для этого применялись стендовые испытания и математическое моделирование методом конечных элементов, что позволило комплексно изучить поведение системы под нагрузкой, максимально приближенной к физиологической. В блоки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, имитирующие тела позвонков в соответствии со спондилоэктомической моделью, вводили винты, которые соединяли фиксирующими штангами из различных сплавов (рис. 3).

Экспериментальные испытания транспедикулярных устройств показали, что их механические характеристики — жесткость, предел текучести и допустимое смещение — зависят прежде всего от материала и диаметра продольных штанг. Штанги из титана ВТ6 диаметром 7 мм обеспечивают наибольшую работоспособность среди испытанных конструкций: они выдерживают максимальные нагрузки (до 770 Н по ASTM F1717), демонстрируют высокое упругое смещение (12,6–14,0 мм) и позволяют конструкции сохранять стабильность при больших деформациях. При этом титановые штанги обладают оптимальным сочетанием модуля упругости и

предела текучести, обеспечивая эффективное перераспределение нагрузок без пластического изгиба, что делает их предпочтительными для фиксации сегментов позвоночника при высокой нагрузке и необходимости восстановления анатомических параметров. Эти данные могут быть использованы для оптимизации конструкций ТПУ и выбора наиболее рационального материала и диаметра штанг для различных клинических ситуаций.



а



б

Рисунок 3. Общий вид транспедикулярных устройств при испытаниях по стандарту ASTM F1717: а – исходное состояние; б – нагруженное состояние

Математическое моделирование методом конечных элементов поясничного отдела LI–LV показало, что фиксация титановыми штангами диаметром 7 мм обеспечивает: высокую стабильность поврежденного сегмента при флекссионных и экстензионных нагрузках; снижение напряжений в костной ткани вокруг винтов; оптимальное сочетание ригидности и пластичности конструкции, что минимизирует риск усталостного разрушения элементов фиксации.

Таким образом, транспедикулярные устройства с титановыми штангами ВТ6 диаметром 7 мм являются оптимальными для одноэтапной задней стабилизации поясничного отдела позвоночника, обеспечивая сохранение коррекции деформации и высокую долговечность фиксации, что подтверждено как экспериментально, так и при компьютерном моделировании.

Пятая глава посвящена разработке нового способа репозиции поврежденных позвонков при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов позвоночника, реализуемый с использованием внутренней транспедикулярной системы «Синтез» (патент РФ № 2753133) (рис. 4).

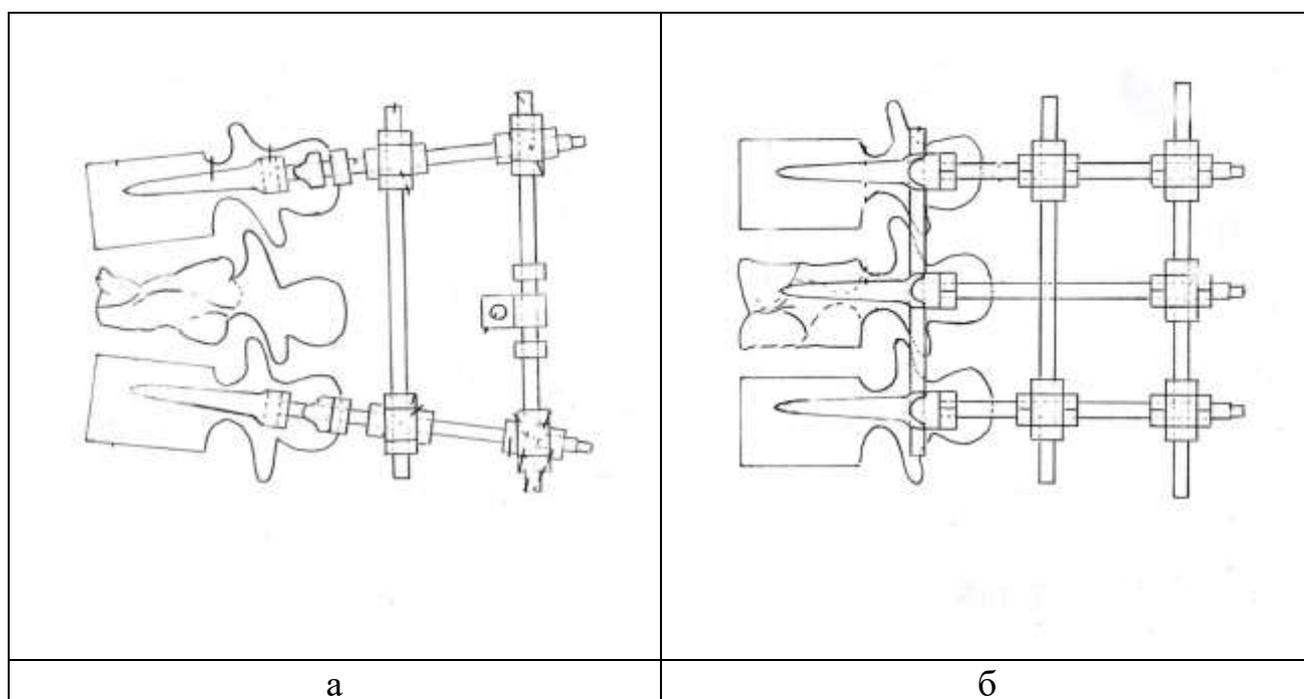


Рисунок 4. Схема репозиционного устройства в аксиальной проекции:

а – до начала репозиции; б – на завершающем этапе репозиции

Сущность способа заключается в применении навигационных муфт, устанавливаемых на наружные продольные штанги репозиционной системы. Через отверстия этих муфт выполняется разметка и последующее введение редукционных винтов в поврежденный позвонок. Муфты служат направляющими, позволяющими точно позиционировать винты и устранять угловую деформацию позвонка за счет перемещения муфт по штангам в

проксимальном или дистальном направлении. Редукционные винты обеспечивают редукцию тела позвонка в горизонтальной плоскости, восстановление передней стенки позвоночного канала и закрытую декомпрессию дурального мешка. В результате формируется стабильная опора для последующего соединения с фиксирующими штангами, что обеспечивает надежную фиксацию поврежденного сегмента.

Применение предложенного способа позволяет:

- повысить точность введения редукционных винтов, исключив смещения костных фрагментов и неврологические осложнения;
- устранить необходимость перемонтажа репозиционной системы, что сокращает операционное время и снижает травматизацию мягких тканей;
- проводить одномоментную продольную дистракцию и угловую коррекцию поврежденного сегмента с возможностью деротационного маневра;
- обеспечить безопасную закрытую декомпрессию позвоночного канала без выполнения ламинэктомии.

Таким образом, была решена пятая задача диссертационного исследования, где предложенный способ репозиции позвоночника является инновационным решением для лечения сложных нестабильных повреждений грудного и поясничного отделов. Он сочетает высокую точность манипуляций, минимальную инвазивность и надежную фиксацию, что повышает эффективность хирургического вмешательства и снижает риск послеоперационных осложнений. Результаты исследований и клиническое применение способа обосновывают его целесообразность для широкого внедрения в нейрохирургической практике при одномоментной коррекции и остеосинтезе поврежденных сегментов позвоночника.

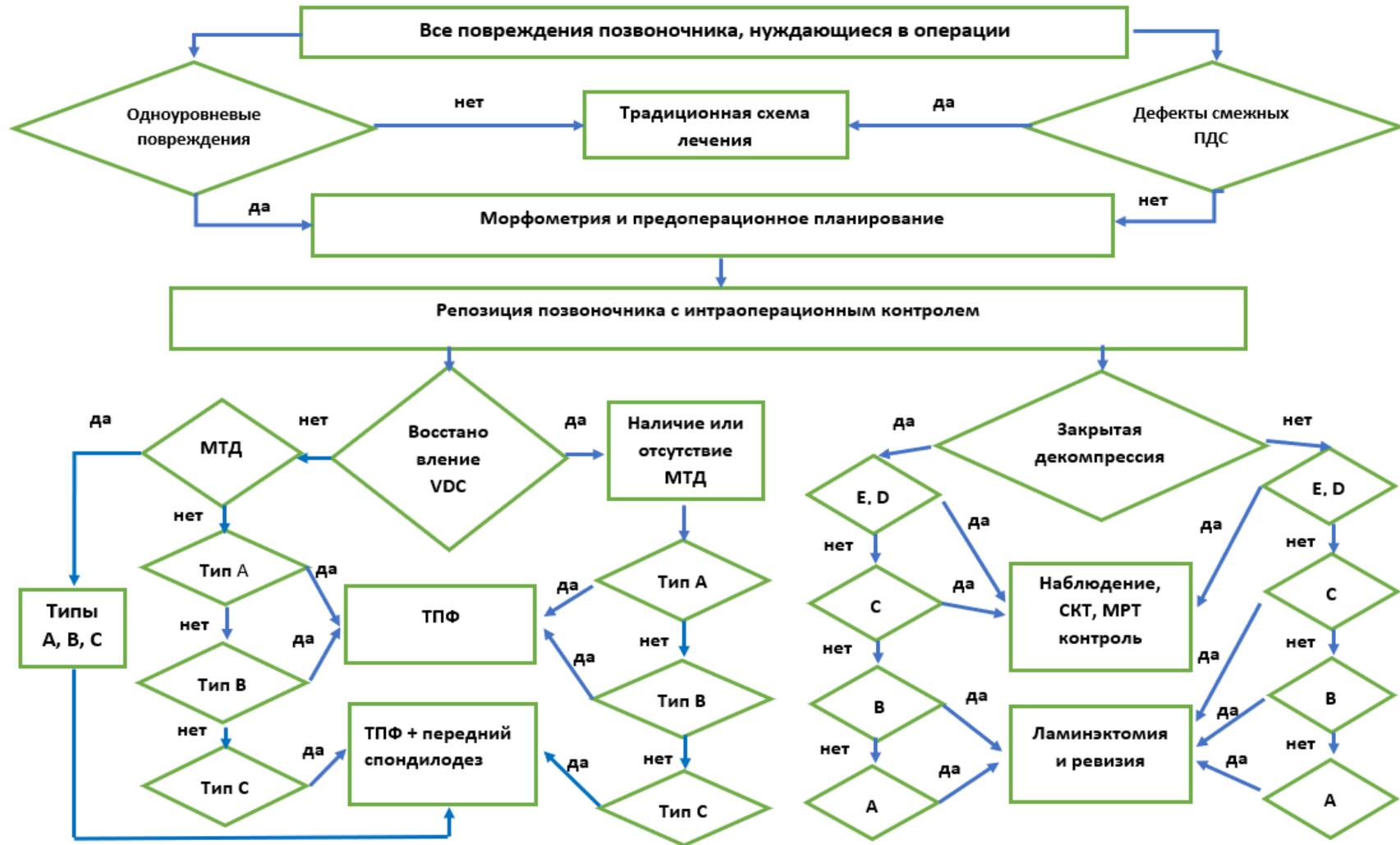
Шестая глава посвящена разработке алгоритма усовершенствованной системы лечения и непосредственно хирургическому лечению пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.

С разработкой алгоритма усовершенствованной системы лечения пациентов изучаемого профиля связана шестая задача диссертационного исследования. Усовершенствования в системе лечения были обусловлены неудовлетворительными результатами традиционных методов коррекции посттравматических деформаций и необходимостью точного восстановления анатомической структуры поврежденного сегмента. Система включает три взаимосвязанных этапа: морфометрию, предоперационное планирование и хирургическое вмешательство (рис. 5).

На этапе морфометрии определяются линейные и угловые параметры тел позвонков и межпозвоночных дисков с использованием концепции позвоночно-дискового комплекса. Предоперационное планирование позволяет рассчитать траектории педикулярных винтов, размеры имплантов и сегментарные углы, а также сформировать индивидуальный морфометрический профиль пациента. Хирургическое вмешательство выполняется с использованием усовершенствованного способа аппаратной репозиции позвоночника (патент РФ № 2753133), позволяющего поэтапно корректировать многоплоскостные деформации без демонтажа конструкции. Навигационные муфты обеспечивают точное введение редуцированных винтов, устраняют угловую деформацию позвонка и позволяют выполнить закрытую декомпрессию позвоночного канала.

Применение предложенной системы позволяет восстановить исходные размеры позвоночно-дисковых комплексов и сегментарный угол, обеспечить надежную фиксацию поврежденных сегментов, уменьшить операционную кровопотерю и снизить риск неврологических осложнений. Клиническая реализация метода показала улучшение функциональных исходов у пациентов и ускорение реабилитационного периода. Таким образом, разработанная система интегрирует современные методы морфометрии, предоперационного

планирования и аппаратной репозиции, что позволяет повысить точность хирургического восстановления позвоночника и создать предпосылки для стандартизации персонализированных методов лечения.



ПДС – позвоночно-двигательный сегмент; VDC – позвоночно-дисковый комплекс; МТД - межтеловой дефект; Типы А, В, С – повреждения по AO Spine; ТПФ - транспедикулярная фиксация; А, В, С, D, E – неврологический статус по ASIA

Рисунок 5. Алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника

Решение седьмой задачи было осуществлено в ходе клинического исследования в двух группах пациентов. Хирургические вмешательства выполнялись в максимально ранние сроки, что позволяло одновременно решать нейрохирургические и ортопедические задачи. При сочетанной травме первоочередно проводились экстренные операции на угрожающих жизни органах, вмешательства на позвоночнике выполнялись после стабилизации общего состояния.

В основной группе средняя продолжительность операции составила 165 мин [146–190] (120–400), тогда как в контрольной группе — 190 мин [160–215] (120–400) ($p < 0,01$). Объем интраоперационной кровопотери в основной группе составил 350 мл [263–400] (100–1000), в контрольной — 500 мл [400–650] (100–1000) ($p < 0,01$), что отражает снижение травматичности вмешательства на 42,9% и повышение технической эффективности.

Медиана болевого синдрома по ВАШ после операции была значительно ниже в основной группе — 2,0 [1,0–3,0] (1–4) против 3,0 [2,0–3,0] (1–5) в контрольной ($p < 0,05$), что подтверждает меньшую выраженность послеоперационной боли и более быстрое восстановление пациента.

Динамика неврологических нарушений по шкале ASIA показала положительные сдвиги: в основной группе состояние 2 пациентов со степенью А улучшилось до степени В, 6 пациентов со степенью С — до D, у 7 пациентов со степенью D полностью восстановились функции. В контрольной группе изменения были менее выражены: 2 пациента со степенью А перешли в степень В, один пациент со степенью В улучшился до степени С, еще один больной со степенью С — до D, 5 больных со степенью полностью восстановились.

Морфометрические показатели поврежденных сегментов также подтверждают преимущество усовершенствованной методики. В основной группе медиана восстановления передней высоты тела позвонка (AVH) составила 94,69% [90,12–99,44] (80,45–107,07), задней (PVH) — 97,88% [94,65–101,29] (88,12–107,66), в контрольной группе — AVH 89,97% [80,19–94,20] (69,71–103,25), PVH 96,50% [93,18–99,18] (82,10–108,82). Медиана переднего

размера позвоночно-дискового комплекса (A-VDCH) после операции — 99,11% [96,33–102,46] (87,16–117,10) в основной группе против 95,08% [90,15–99,43] (74,58–118,20) в контрольной, заднего (P-VDCH) — 100,31% [96,39–104,37] против 99,20% [94,08–99,20] соответственно.

Дефицит поперечного сечения позвоночного канала после операции составил $14,2 \pm 3,1\%$ в основной группе и $24,1 \pm 5,5\%$ в контрольной ($p=0,01$), а дефицит просвета — $14,2 \pm 3,1\%$ и $22,1 \pm 5,1\%$ соответственно ($p=0,01$). Сегментарный угол ($\Delta\alpha$) после операции в основной группе уменьшился до $2,34^\circ$ [-2,04–5,79] (-4,32–7,77), в контрольной — $5,79^\circ$ [-2,34–9,10] (-9,40–11,32) ($p=0,01$).

Прямая корреляционная связь выявлена между размером позвоночно-дискового комплекса после операции и AVH: коэффициент корреляции Пирсона составил 0,594 в контрольной и 0,485 в основной подгруппах. Обратная корреляция отмечена между величиной восстановления AVH и временем до операции (коэффициент -0,353 в основной подгруппе, -0,214 в контрольной), что подчеркивает важность раннего хирургического вмешательства.

Таким образом, применение усовершенствованной методики предоперационного планирования, дозированной репозиции и закрытой декомпрессии позволило достичь максимального восстановления вертикальных размеров поврежденного тела позвонка, уменьшить дефицит площади и просвета позвоночного канала, снизить интенсивность боли и сократить объем кровопотери. Минимальная потребность в вентральном этапе операции в основной группе подтверждает эффективность методики и ее потенциал для стандартизации хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

Отдаленные результаты изучались в период от 12 месяцев до 19 лет. Средний срок контрольного обследования составил $29,5 \pm 1,2$ месяца. В наблюдение вошли 120 пациентов (по 60 в каждой группе), а рентгенологические показатели с морфометрией оценивались у 80 пациентов

(по 40 в каждой группе). В основной группе было 32 мужчины и 28 женщин, в контрольной — 35 мужчин и 25 женщин.

Болевой синдром по ВАШ был статистически ниже в основной группе: медиана 1,00 [1,00–2,00] балла против 2,00 [2,00–3,00] в контрольной, $p < 0,01$.

Неврологический статус по шкале ASIA: в основной группе увеличилось количество пациентов со степенью E с 34 (56,6%) до 41 (68,3%), уменьшилось количество с тяжелыми дефицитами (степень A с 3 до 1, C с 10 до 4). В контрольной группе изменения были менее выраженными.

Морфометрические параметры позвоночного канала и тел позвонков показывают статистически значимые различия между группами (табл. 2).

Таблица 2

Параметры сравнения отдаленных результатов лечения

Параметры	Контрольная подгруппа (n= 40)	Основная подгруппа (n=40)	Значение p*
X, мм	3,60 [2,72-4,57] (0,00-5,60)	2,10 [1,55-3,80] (0,00-6,50)	p=0,015
AVH, %	88,92 [80,28-91,65] (72,23-98,88)	94,78 [90,07-96,90] (84,38-99,51)	p<0,001
PVH, %	93,40 [89,59-96,51] (80,67-100,18)	97,85 [93,73-97,85] (82,21-103,04)	p=0,001
A-VDCH, %	90,57 [83,41-93,02] (75,76-101,28)	98,24 [96,03-99,32] (88,33-100,47)	p<0,001
P-VDCH, %	98,55 [93,43-101,33] (78,76-105,49)	99,21 [96,68-103,53] (85,60-111,86)	p=0,216
$\Delta\alpha$, град.	6,85 [5,32-8,11] (2,8-12,00)	3,75 [2,32-4,73] (0,29-7,30)	p<0,001

* Тест Манна – Уитни.

Эти данные подтверждают более точное восстановление анатомии позвоночного сегмента в основной группе, что снижает риск вторичной деформации. В контрольной группе отмечались случаи «прорезания» винтов в губчатой кости, что приводило к снижению вертикальных размеров VDC. Дестабилизация металлоконструкции наблюдалась у 4 пациентов основной и 18 пациентов контрольной группы.

Сравнение отдаленных исходов лечения для оценки боли, экономического и функционального статуса по шкале R.G. Watkins показало, что отличных исходов лечения было получено статистически значимо больше в основной группе – 59,3% ($p=0,043$) (табл. 3).

Таблица 3

Отдаленные исходы лечения по шкале R.G. Watkins

Исход лечения	Основная группа (n=60)	Контрольная группа (n=60)	Значение χ^2	Значение p
Отличный	39 (59,3%)	27 (40,0%)	4,85	0,043
Хороший	28 (38,9%)	19 (52,7%)	2,83	0,134
Плохой	2 (1,8%)	5 (7,3%)	1,37	0,438

Статистически значимой разницы в показателях качества жизни в отдаленном периоде в основной и контрольной группах по шкале MOS SF-36 мы не выявили.

У 32 (14%) из 228 прооперированных пациентов выявлены осложнения: интраоперационные — 2 (0,9%), ранние послеоперационные — 8 (3,5%), поздние (механические) — 22 (9,7%). В основной группе осложнения встречались у 8 (7,4%) пациентов, в контрольной — у 24 (20%), различие было статистически значимым ($\chi^2=7,471$; $p=0,006$). Механические осложнения (переломы металлоконструкции, миграция штанг) чаще возникали при повреждениях грудопоясничного отдела и при фиксации 6 винтами. Кривые Каплана–Мейера показали, что риск осложнений в контрольной группе в 3,9 раза выше (OR=3,948; $p=0,014$). Многофакторная регрессия выявила:

контрольная группа увеличивала риск осложнений в 4,5 раза ($p=0,009$), а возраст снижал риск на 3,6% за каждый год ($p=0,037$). Основные факторы осложнений — технические и биомеханические ошибки: неправильная фиксация винтов и штанг, неравномерная дистракция. Все выявленные осложнения были устранены и не повлияли на конечный результат лечения, лишь удлинители сроки реабилитации.

Таким образом усовершенствованная методика лечения обеспечивает в долгосрочном периоде более точное восстановление анатомии позвонков, меньшую выраженность боли, улучшение неврологического статуса, уменьшению количества осложнений и более высокую частоту отличных функциональных исходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой комплексное морфометрическое, экспериментальное и клиническое исследование, направленное на улучшение результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

Впервые предложен количественный метод оценки сегмента позвоночника на основе концепции «позвоночно-дискового комплекса» (VDC), включающего тело позвонка и смежные межпозвоночные диски. Разработанные показатели передней и задней высоты комплекса (A-VDCH и P-VDCH), а также их соотношение, позволяют объективно оценивать вертикальные размеры сегмента и степень его угловой деформации, расширяя диагностические и клинические возможности при травматических повреждениях позвоночника.

Разработана математическая модель расчёта индивидуальных исходных параметров повреждённого сегмента позвоночника по данным СКТ смежных интактных структур. Показано, что применение модели обеспечивает высокую точность восстановления вертикальных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла при одноуровневых повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника. Средняя погрешность расчётов не

превышала $1,4\pm 0,4$ мм для передних и $1,3\pm 0,5$ мм для задних размеров VDC, а для сегментарного угла — $2,5\pm 0,6^\circ$.

Ретроспективный анализ данных СКТ установил, что ключевыми факторами восстановления анатомических параметров повреждённого сегмента и эффективности закрытой декомпрессии позвоночного канала являются давность травмы, исходные размеры VDC и величина сегментарного угла, а также характеристики внутриканальных костных фрагментов. Использование индивидуально рассчитанных параметров позволило достичь восстановления физиологических размеров повреждённого сегмента с максимальной декомпрессией содержимого позвоночного канала.

С целью оптимизации предоперационного планирования и динамического контроля разработана компьютерная программа для расчёта и архивирования индивидуальных морфометрических параметров позвоночника (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668665), обеспечивающая удобство применения в клинической практике.

Экспериментальные стендовые испытания и моделирование методом конечных элементов показали, что применение транспедикулярных систем с продольными штангами из титанового сплава ВТ6 диаметром 7,0 мм повышает стабильность фиксированного сегмента позвоночника, что подтверждено клиническими результатами.

Разработан и внедрён способ интраоперационного контроля восстановления параметров VDC и сегментарного угла под ЭОП-контролем, обеспечивающий коррекцию деформации в реальном времени. Усовершенствована методика репозиции позвоночника и закрытой передней декомпрессии позвоночного канала с использованием транспедикулярной системы (патент РФ № 2753133), что позволило в большинстве случаев выполнять хирургическое лечение за один этап из заднего доступа и снизить необходимость вентральных вмешательств.

Клиническое исследование показало, что применение усовершенствованного алгоритма лечения сопровождается статистически

значимым снижением болевого синдрома, уменьшением продолжительности операции и интраоперационной кровопотери, более точным восстановлением вертикальных размеров повреждённого позвонка и сегментарного угла, а также меньшей остаточной дислокацией костных фрагментов. В отдалённые сроки наблюдения отмечена более высокая доля отличных результатов по шкале R.G. Watkins.

Частота механических осложнений в контрольной группе была в 3,9 раза выше, чем в основной, что подтверждает клиническую эффективность и безопасность предложенного алгоритма хирургического лечения.

Таким образом, внедрение комплексного предоперационного планирования, индивидуализированной морфометрической оценки и интраоперационного контроля репозиции позволяет повысить предсказуемость хирургического лечения, снизить частоту осложнений и улучшить результаты у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Поставленная цель исследования достигнута, все задачи диссертационной работы решены.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа компьютерных томограмм неповрежденного грудного и поясничного отделов позвоночника разработана методика предоперационного планирования, предусматривающая расчет исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла с использованием морфометрии тел смежных позвонков и межпозвоночных дисков с разницей между фактическими и рассчитанными передними размерами позвоночно-дискового комплекса всего на $1,4 \pm 0,4$ мм, задними – на $1,3 \pm 0,5$ мм, а сегментарного угла – на $2,5 \pm 0,6^\circ$.

2. При ретроспективном анализе компьютерных томограмм пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника установлено, что факторами, влияющими на восстановление вертикальных размеров тела поврежденного позвонка, являются давность травмы, величина distraction

позвоночно-дискового комплекса и сегментарный угол на уровне повреждения, а на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала – дополнительно ширина и угол разворота внутриканального костного фрагмента.

3. Для математических расчетов исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения в грудном и поясничном отделах позвоночника разработана и зарегистрирована компьютерная программа для ЭВМ (№ 2023668665), обеспечивающая удобство расчетов и архивирование данных в до-, интра- и послеоперационном периодах.

4. В ходе стендовых испытаний определены прочностные характеристики продольных штанг разного диаметра из титановых сплавов и стали, используемых в транспедикулярных устройствах, среди которых максимальную нагрузку (770 Н) и упругое смещение (12,6 мм) без нарушения своей целостности выдерживают штанги из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм. Результаты математического моделирования показали, что использование данных штанг при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника способствует снижению риска их переломов и сохранению достигнутой коррекции деформации позвоночника.

5. Усовершенствованный способ репозиции позвоночника транспедикулярным устройством (патент РФ на изобретение № 2753133) обеспечивает точное проведение редуцированных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка, исключает этап перемонтажа системы и сокращает продолжительность операции.

6. Разработан алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника, основанный на компьютерно-математическом моделировании репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза, включающий этапы морфометрии, предоперационного планирования и интраоперационного контроля, позволяющий в большинстве случаев выполнить весь объем хирургического лечения одним этапом из заднего доступа.

7. Использование усовершенствованной системы лечения при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника, направленной на восстановление исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, обеспечило статистически значимое снижение общей частоты осложнений ($\chi^2=5,938$, $p=0,015$) и в 3,9 раза уменьшило риск развития механических осложнений (HR = 3,948; 95% ДИ 1,326–11,757; $p=0,014$) по сравнению с применением известной тактики.

8. Сравнительный анализ лечения профильных пациентов показал, что применение усовершенствованной системы позволило статистически значимо сократить продолжительность операции на 15,2% ($p<0,01$), объем интраоперационной кровопотери на 42,9% ($p<0,01$) и выраженность болевого синдрома ($p<0,01$), а также повысить долю отличных исходов лечения ($p=0,043$) по шкале R.G. Watkins при сохранении сопоставимых функциональных результатов по шкале MOS SF-36 в обеих клинических группах.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Рекомендуется применять понятие «позвоночно-дисковый комплекс» и соответствующие морфометрические показатели A-VDCH и P-VDCH в учебных курсах по анатомии, лучевой диагностике, травматологии и нейрохирургии для формирования системного подхода к анализу структур позвоночного сегмента.

2. Рекомендуется использовать термин «сегментарный угол позвоночно-дискового комплекса» для обозначения сегментарного угла, ограниченного структурами позвоночно-дискового комплекса.

3. Для предоперационного планирования при одноуровневых повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника рекомендуется использовать морфометрию компьютерных томограмм на предложенной модели позвоночника, состоящей из тел трех позвонков и четырех смежных дисков с расчетом размеров A-VDCH, P-VDCH и сегментарного угла позвоночно-дискового комплекса, что позволяет рассчитать исходные

анатомические параметры поврежденного уровня и спрогнозировать требуемую степень коррекции.

4. Для расчета величины исходного сегментарного угла позвоночно-дискового комплекса при одноуровневых повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника рекомендуется использовать передние и задние размеры позвоночно-дискового комплекса и верхней замыкательной пластинки тела нижележащего от поврежденного позвонка.

5. При планировании и выполнении оперативных вмешательств у пациентов с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов рекомендуется использовать зарегистрированную компьютерную программу для ЭВМ (№ 2023668665), обеспечивающую точные математические расчеты линейных и угловых параметров на уровне повреждения и архивирование данных в до-, интра- и послеоперационном периодах.

6. В клинической практике при оскольчатых переломах и переломовывихах позвоночника рекомендуется применять усовершенствованный способ репозиции (патент РФ № 2753133), обеспечивающий точное проведение редуцированных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка, исключающий необходимость перемонтажа системы и сокращающий продолжительность оперативного вмешательства.

7. Для контроля за восстановлением размеров и сегментарного угла позвоночно-дискового комплекса во время оперативного вмешательства у пациентов с одноуровневыми повреждениями в грудном и поясничном отделах рекомендуется учитывать коэффициент увеличения, рассчитываемый по размерам верхней замыкательной пластинки тела, нижележащего от поврежденного позвонка с экрана монитора ЭОПа и КТ.

8. Для оценки деформации позвоночника при одноуровневых повреждениях грудного и поясничного отделов рекомендуется использовать сегментарный угол позвоночно-дискового комплекса, исходные значения которого могут быть рассчитаны заранее.

9. Пациентам с нестабильными повреждениями поясничного отдела позвоночника для транспедикулярной фиксации рекомендуется использовать конструкции из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм, исходя из результатов стендовых испытаний и математического моделирования.

10. У пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника типов А3 и А4 по классификации AOSpine при восстановлении рассчитанных вертикальных размеров тела позвонка и устранении передней компрессии содержимого позвоночного канала из дорсального доступа использование вентрального доступа является необязательным.

11. Применение усовершенствованной системы лечения, основанной на восстановлении исходных анатомических параметров позвоночно-дискового комплекса, рекомендуется как стандарт хирургической коррекции одноуровневых нестабильных повреждений грудного и поясничного отделов, поскольку эта система статистически значимо снижает частоту осложнений и улучшает клинические результаты.

ОСНОВНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ершов Н.И., Усиков В.Д., Куфтов В.С. / Хирургическое лечение больных с повреждениями позвоночника и спинного мозга по данным МУЗ “Брянская городская больница №1” // Травматология и ортопедия России. – 2007. №1. – С. 12-15.

2. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Ершов Н.И. / Тактика хирургического лечения при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов позвоночника // Травматология и ортопедия России. – 2013. №3. – С. 103-112.

3. Усиков В.Д., Воронцов К.Е., Куфтов В.С., Ершов Н.И. / Ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов // Травматология и ортопедия России. – 2014. №2. – С. 37-44.

4. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е., Монашенко Д.Н. / Обоснование применения транспедикулярных устройств с балками из нитинола и титановых сплавов при лечении больных с травмой позвоночника // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2018. №4. – С. 62-79.

5. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Монашенко Д.Н. / Измерение деформации поврежденных сегментов в грудном и поясничном отделах позвоночника по данным спиральной компьютерной томографии для расчета необходимой коррекции // Гений ортопедии. – 2022. Т. 28. № 3. – С. 400-408.

6. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Монашенко Д.Н. / Ретроспективный анализ восстановления анатомии поврежденного позвоночно-двигательного сегмента в грудном и поясничном отделах транспедикулярным репозиционным устройством // Хирургия позвоночника. – 2022. Т. 19. № 3. С. – 38–48.

7. Усиков В.Д., Куфтов В.С. / Эффективность транспедикулярной репозиции интраканальных костных фрагментов при оскольчатых переломах тела L1 позвонка // Гений ортопедии. – 2023. Т. 29. № 1. – С. 35-42.

8. Усиков В.Д., Куфтов В.С. / Развитие транспедикулярного репозиционно-стабилизирующего остеосинтеза при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника // Современные проблемы науки и образования. - 2025. № 4. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=34173>.

9. Усиков В. Д., Куфтов В. С. / Возможности транспедикулярной репозиции позвоночника. Клинический случай // Медицинский Альянс. – 2025. Т. 13. №3. – С. 61-68.

10. Куфтов В.С., Усиков В.Д. / Планирование репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза при повреждениях

грудного и поясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2025. Т. 22. № 4. – С. 19-29.

11. Куфтов В.С., Усиков В.Д. / Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений // Травматология и ортопедия России. – 2025. Т. 31. №4. – С. 53-65.

12. Патент № 2559275 Российской Федерации, МПК А61В 17/56 (2006.01). Способ остеосинтеза позвоночника при травмах и заболеваниях : № 2014131547/14: заявлено 29.07.2014: опубликовано 10.08.2015 / Монашенко Д.Н., Усиков В.Д., Куфтов В.С., Иванова О.Ф.; патентообладатель: ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России. – 10 с.

13. Патент № 2753133 Российской Федерации, МПК А61В 17/70 (2006.01). Способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов : №2020135135: заявлено 26.10.2020: опубликовано 11.08.2021 / Куфтов В.С., Усиков В.Д., Монашенко Д.Н., Еремеев М.А.; патентообладатели Куфтов Владимир Сергеевич, Усиков Владимир Дмитриевич, Монашенко Дмитрий Николаевич, Еремеев Михаил Александрович. – 12 с.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668665 Российская Федерация. Программа для расчёта восстановления исходной анатомии позвоночника : № 2023668665: заявлено 21.06.2023: опубликовано 30.08.2023 / Куфтов, В.С., Усиков В.Д.; патентообладатели: Куфтов Владимир Сергеевич. – 1 с.