

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМ. Р.Р. ВРЕДЕНА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
доктора медицинских наук

Научный консультант:
доктор медицинских наук, профессор
Усиков Владимир Дмитриевич

Санкт-Петербург – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	22
1.1 Актуальность, структура и частота повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника	22
1.2 Основные классификации повреждений позвоночника и спинного мозга	24
1.3 Морфометрические параметры позвоночника при планировании хирургического лечения посттравматических деформаций	30
1.4 Влияние характера повреждения позвоночника и спинного мозга, степени компрессии спинного мозга и развития неврологических расстройств на тактику хирургического лечения	37
1.5 Закрытая и открытая декомпрессия содержимого позвоночного канала при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника	45
1.6 Современные подходы к изучению транспедикулярной фиксации при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника	55
1.7 Резюме	64
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	66
2.1 Общая характеристика диссертационного исследования	66
2.2 Общая характеристика пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника	73
2.3 Методы исследования	90
2.3.1 Клинический метод исследования	90
2.3.2 Рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансно-томографический методы исследования	91
2.3.3 Морфометрический метод исследования	92

2.3.4 Экспериментальный метод исследования	93
2.3.5 Неврологический метод исследования	95
2.3.6 Лабораторный метод исследования	97
2.3.7 Статистический метод исследования	98
2.4 Оценка анатомо-функциональных исходов	99
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВРЕЖДЕННОГО ПОЗВОНОЧНО-ДИСКОВОГО КОМПЛЕКСА ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА	102
3.1 Разработка методики предоперационного планирования для расчетов исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного позвоночно-дискового комплекса.....	102
3.2 Факторы, влияющих на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала	115
3.3 Влияние размеров и положения внутриканальных костных фрагментов на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала.....	127
3.4 Способ интраоперационного контроля восстановления исходных вертикальных и угловых параметров позвоночно-дискового комплекса....	136
3.5 Разработка компьютерной программы для расчёта необходимых линейных и угловых параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника.....	141
ГЛАВА 4. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНЫХ ШТАНГ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ В ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ УСТРОЙСТВАХ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ФИКСАЦИИ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	149

4.1 Изучение влияния материала изготовления и диаметра продольных штанг в транспедикулярных устройствах на их прочностные характеристики.....	149
4.2 Оценка устойчивости фиксации при использовании различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах посредством математического моделирования методом конечных элементов.....	155
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СПОСОБА РЕПОЗИЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ОСКОЛЬЧАТЫХ ПЕРЕЛОМАХ И ПЕРЕЛОМОВЫВИХАХ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА	164
ГЛАВА 6. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА.....	171
6.1 Усовершенствованная система лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника	171
6.2 Особенности лечения пациентов основной группы с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника	179
6.3 Особенности лечения пациентов контрольной группы с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника	213
6.4. Сравнительный анализ ближайших результатов лечения пациентов основной и контрольной групп	236
6.5 Сравнительный анализ отдаленных результатов лечения пациентов основной и контрольной групп	242
6.6 Анализ ошибок и осложнений при лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника и определение мер по их профилактике и лечению	247
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	258
ВЫВОДЫ	269
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	271
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	273

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	275
ПРИЛОЖЕНИЯ	322
Приложение А	322
Приложение Б	327
Приложение В	328
Приложение Г	329
Приложение Д	330
Приложение Е	331
Приложение Ж	332

ВВЕДЕНИЕ

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; Badhiwala 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 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 подчёркивают значимость дальнейшего совершенствования подходов к лечению (Quadri S.A. et al., 2020).

Выбор оптимальной хирургической тактики остаётся предметом дискуссий, включая определение показаний к декомпрессивным вмешательствам, объёму и протяженности фиксации, а также оценки 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 вариабельности 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 остаётся 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 повреждённого отдела позвоночника. Несмотря на существующие исследования по морфометрии (Hey 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, всё ещё недостаточно. Результаты хирургического лечения пациентов с оскольчатыми повреждениями позвоночника в груднопоясничном отделе свидетельствуют о том, что успех зависит от восстановления сагиттального профиля (Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Mayer M. et al., 2017; Yoshihara H., 2017).

Выбор хирургического доступа при повреждениях позвоночника, особенно осложнённых неврологическим дефицитом или разрушением тел позвонков, остаётся 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; Hadgaonkar 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 её 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 отдалённом 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 остаётся вопрос протяжённости транспедикулярной фиксации (Spiegl U.J. et al., 2021), а также необходимости включения повреждённого позвонка в фиксирующую конструкцию (Spiegl U.J. et al., 2021; Усиков В.Д., 2006; Yaman O. et al., 2021). Чрезмерная жёсткость 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 рассматривается последующее удаление металлоконструкций (Lorente R. et al., 2021), однако потенциал полуригидной фиксации при травмах грудного и поясничного отделов позвоночника остаётся 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 расчёта 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 повреждённого 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 расчёте индивидуальных исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла на модели позвоночника с использованием морфометрических параметров трёх смежных тел позвонков и четырёх межпозвоночных дисков, что обеспечивает персонализированный подход к восстановлению анатомо-биомеханических параметров повреждённого сегмента.

3. При ретроспективном анализе пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника установлены ключевые факторы, влияющие на восстановление вертикальных размеров повреждённого 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, исключающий 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 формированию новой методологической стратегии для морфометрического анализа позвоночника.

2. Разработанная методика предоперационного планирования на основе расчёта исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, а также выявленные закономерности влияния морфометрических и клинорентгенологических 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 учётом 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 расчёта линейных и угловых параметров повреждённого 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 редуцированных винтов, контролируемое смещение поврежденного позвонка,

исключает необходимость перемонтажа системы и сокращает продолжительность операции.

6. На основании проведённых исследований разработан и внедрён 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 объёма 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 проведён ретроспективный анализ результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника ($n = 120$), а также разработана компьютерная программа для предоперационного планирования. Вторым этапом 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 её эффективности ($n = 108$).

Медиана возраста пациентов, находившихся на лечении в ГАУЗ «Брянская городская больница № 1» в период с 2003 по 2023 гг., 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 расчётом индивидуальных линейных и угловых параметров;
- ретроспективный анализ влияния индивидуальных морфометрических характеристик на восстановление высоты повреждённого тела позвонка и степень закрытой декомпрессии позвоночного канала;
- разработка компьютерной программы для расчёта исходных параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника;
- стендовые испытания продольных штанг транспедикулярных конструкций в соответствии со стандартом ASTM F1717 с учётом 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 отдалённых 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 расчётов и архивирования линейных и угловых параметров повреждённого 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 позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов (патент РФ №2753133) позволяет осуществить точное позиционирование редуцированных винтов, контролируемое смещение повреждённого позвонка и сокращение продолжительности оперативного вмешательства за счёт 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 отдалённых результатов лечения.

Личный вклад автора

Диссертантом лично разработана концепция исследования, определены его цель, задачи и методологические подходы. Самостоятельно осуществлён 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 расчёты исходных вертикальных и угловых параметров повреждённого 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 повреждённых 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 произведен анализ ближайших и отдалённых 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 исследования, а также ближайших и отдалённых результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, проведён 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 применённых 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: на научно-практических конференциях «Поленовские чтения» (Санкт-Петербург, 2006–2023); «Проблемы остеопороза в хирургии позвоночника» (Смоленск, 2007); «Нейрохирургия и травматология: современный подход и перспективы развития» (Тула, 2012); на конференции по интермитирующей 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 Юбилейный национальный конгресс 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, включающих в себя - 11 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций результатов диссертационных исследований, получено 2 патента РФ на изобретения и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668665.

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.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Актуальность, структура и частота повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника

Травма позвоночника и спинного мозга – это большое разрушительное событие с далеко идущими физическими, эмоциональными и экономическими затратами для пациента, семьи и общества в целом (Badhiwala J.H. et al., 2018; Quadri S.A. et al., 2020). По данным на 2007 г., средний показатель осложненной травмы позвоночника в мире составлял 23 случая на 1 миллион жителей или 179 312 случаев в год (Lee В.В. et al., 2014). В Санкт-Петербурге, согласно проведенному ретроспективному исследованию за 2012–2016 гг., данный показатель составил 17 случаев на 1 миллион населения в год (Лобзин С.В. с соавт., 2019). При осложненной травме позвоночника сочетанные повреждения выявляются в 41,5% случаев (Индиаминов С.И. с соавт., 2021). Они чаще локализуются в грудном (45,3%) и поясничном (33,3%) отделах позвоночника, при этом нередко наблюдается одновременное повреждение двух (42,7%) или трех (27,4%) анатомических областей тела (Тулупов А.Н., 2015).

Частота травм спинного мозга колеблется от 3,6 до 195,4 случаев на 1 миллион населения во всем мире (Rau Y. et al., 2022). В странах с высоким уровнем дохода ведется систематический учёт подобных травм, тогда как в ряде африканских и азиатских государств эпидемиологические данные отсутствуют.

Среди травм грудного и поясничного отделов позвоночника наибольшая доля повреждений приходится на грудопоясничный переход (Mulcahy M.J. et al., 2021; Francaviglia N. et al., 2022). Средний возраст пострадавших колеблется от 26,8 до 56,6 лет и имеет тенденцию к увеличению (Mitchell J. et al., 2020). Мужчины страдают от травм позвоночника значительно чаще, чем женщины: соотношение полов составляет 3,8:1 и остаётся стабильным во всех возрастных группах (Várbara-Bataller E. et al., 2017). Данные о влиянии пола на тяжесть травмы и исходы

противоречивы: у женщин чаще диагностируются повреждения груднопоясничного отдела, которые, как правило, менее тяжёлые, однако длительность госпитализации и уровень летальности сопоставимы с мужскими показателями (Furlan J.C. et al., 2019).

Этиологическая структура травм позвоночника и спинного мозга зависит от географического региона. В Колумбии основными причинами являются межличностное насилие (47,3%) и кататравма (33,6%) (Giraldo Y.A. et al., 2021); в Норвегии — падения (47,0%), преимущественно происходящие в выходные дни (Halvorsen A. et al., 2019); в Аргентине — дорожно-транспортные происшествия (ДТП) (47,3%) и падения с высоты (21,5%) (Gatti M.A., 2020); в Китае — падения с высоты (49,3%) и ДТП (34,8%) (Chen J. et al., 2021). В России на первом месте также находится кататравма (49,8%), за которой следуют ДТП (18,9%) (Лобзин С.В. и соавт., 2019). У пациентов с кататравмой чаще выявляются переломы грудных (24,5%) и поясничных (48,3%) позвонков, при этом у 11,3% наблюдаются множественные или многоуровневые повреждения (Казакова Э.Ю., Гринь А.А., 2019). По социальному статусу среди пострадавших в Китае преобладают рабочие (28,6%), офисные сотрудники (16,8%) и пенсионеры (15,4%) (Liu J. et al., 2020).

Экономические затраты, связанные с травмой спинного мозга, зависят от её тяжести. Средние расходы в течение ожидаемой продолжительности жизни на лечение пациента 35 лет с повреждением грудного отдела спинного мозга составляют от 68 120 до 321 534 долларов США (Dukes E.M. et al., 2018). Несмотря на достижения современной медицины, летальность при осложнённых травмах грудного и поясничного отделов позвоночника, особенно при сочетанных повреждениях, достигает 5,0% (Sabre L. et al., 2013).

Неврологическое восстановление после травмы спинного мозга в значительной степени определяется характеристиками самой травмы — уровнем, тяжестью и механизмом повреждения — и не зависит от метода лечения или региона проживания (Афаунов А.А., Чайкин Н.С., 2022; Khorasanizadeh M. et al., 2019). При полном повреждении спинного мозга вероятность частичного восстановления неврологических функций выше при травмах груднопоясничного

отдела по сравнению с повреждениями верхнегрудного отдела (Marino R.J. et al., 2020).

Инвалидность вследствие повреждений позвоночника и спинного мозга в России составляет от 57,5% до 96,0% и в отдельных случаях достигает 100,0% (Морозов И.Н., Млявых С.Г., 2011), при этом доля данной патологии в общей структуре инвалидности равна 0,7% (Косичкин М.М. и соавт., 1999). В мире насчитывается от двух до трёх миллионов человек, живущих с инвалидностью, связанной с травмой спинного мозга (Quadri S.A. et al., 2020). Высокие показатели инвалидизации обусловлены тяжестью повреждений и неблагоприятными анатомо-функциональными исходами (Белова А.Н., Прокопенко С.В., 2010).

1.2 Основные классификации повреждений позвоночника и спинного мозга

Известно большое количество классификаций повреждений позвоночника и спинного мозга, предложенных отечественными и зарубежными авторами (Угрюмов В.М., 1961; Цивьян Я.Л., 1971; Бабиченко Е.И., 1979; Рамих Э.А., 2008; Denis F., 1983; McAfee P.C. et al., 1983; Vaccaro A.R. et al., 2005). Классификация повреждений позвоночника и спинного мозга необходима для понимания общего языка при планировании и оценке результатов лечения (Gamanagatti S. et al., 2015). В различных классификациях используются разнообразные критерии: механизм травмы, характер повреждения позвонка, наличие и характер повреждения спинного мозга и корешков, нарушение стабильности позвоночника. Ниже рассматриваются основные классификации.

Согласно двухколонной концепции стабильности позвоночника, F. Holdsworth (1970) предложил делить костно-связочный аппарат позвоночника на две опорные колонны: переднюю и заднюю. Передняя колонна образована телами позвонков, межпозвонковыми дисками и передней и задней продольными связками; задняя колонна включает дуги позвонков, суставы, поперечные и остистые отростки, желтые, межостистые, надостистые и межпоперечные связки. Важность задней колонны для поддержания стабильности позвоночника подчеркивалась целостностью межостистой связки.

Над улучшением двухколонной классификации работали R.P. Kelly и T.E. Whitesides (1968), утверждавшие, что восстановление и поддержание стабильности являются основными целями лечения тяжелых травм позвоночника.

С появлением в начале 1980-х годов компьютерной томографии возникла необходимость пересмотра существующих классификаций. В 1983 году F. Denis (1983) предложил трехколонную концепцию, разделив переднюю колонну Holdsworth на переднюю и среднюю. Средняя колонна состоит из задней части тела позвонка, фиброзного кольца и задней продольной связки. Задняя колонна в обеих концепциях включает анатомические структуры позвонка, расположенные кзади от задней продольной связки. При разрушении хотя бы двух колонн возникает риск дальнейшего смещения позвоночника с угрозой сдавления нервно-сосудистых структур. Признаками нестабильности считались: снижение высоты тел позвонков грудного и поясничного отделов на 50%, кифоз более 20° и горизонтальное смещение более 3,5 мм. Трехколонная теория Denis соответствует характеристикам физиологии и биомеханики переломов позвоночника (Su Q. et al., 2020).

P.C. McAfee (1983) усовершенствовал классификацию Denis, акцентировав внимание на средней остеолигаментарной колонне. Степень разрушения костно-связочного комплекса определяла характер повреждения позвоночника, тяжесть неврологических нарушений и возникшую нестабильность.

В 1984 году R.L. Ferguson и V.L. Allen (1984) предложили классификацию переломов груднопоясничного отдела, основанную на механизме разрушения тел позвонков с акцентом на компоненте травмы, вызывающем переломы.

Появление новых методов визуализации и углубление знаний по биомеханике позвоночника привели к разработке нескольких систем классификации. В 1994 году F. Magerl с соавторами создали комплексную систему АО, основанную на морфологическом повреждении, определяющую степень нестабильности. Выделяют три типа повреждений: А (компрессия тела позвонка), В (дистракционные повреждения элементов позвоночника) и С (повреждения с ротацией). Каждый тип делится на три группы с тремя подгруппами. Перелом А1 – наименее тяжелый, С3 – наиболее тяжелый. Повреждения типа А обычно

стабильны, а В и С – нестабильны. Недостатком классификации АО является отсутствие характеристики неврологического дефицита. Однако она демонстрирует высокую надежность и воспроизводимость (Kepler С.К. et al., 2016; Cheng J. et al., 2017).

Для классификации повреждений спинного мозга Н.Л. Frankel в 1969 году разработал шкалу. Однако шкала Frankel имела значительные ограничения – в его классификации не был указан уровень повреждения позвоночника. В 1982 году Американская ассоциация травм позвоночника для оценки неврологических расстройств предложила классификацию ASIA (American Spine Injury Association) – международный стандарт неврологической и функциональной классификации повреждений спинного мозга, имеющий цифровое выражение для оценки неврологических нарушений (Roberts Т.Т. et al., 2017). В отличие от шкалы Frankel, в шкалу ASIA добавлены двигательные и сенсорные функции в крестцовых сегментах S4-S5. По этой шкале неврологические расстройства у больных подразделяются на пять типов: отсутствие функций (А), только сенсорная функция (В), сохранение некоторой сенсорной и двигательной функций (С), полезная моторная функция (D) и норма (E).

На протяжении десятилетия классификация ASIA оптимизировалась и в 1992 году была признана международным обществом параплегии (International Medical Society of Paraplegia – IMSOP), получив статус международного стандарта неврологической классификации травмы спинного мозга (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury – ISNCSCI) как ASIA/ ISNCSCI. С 1992 года классификация ASIA претерпела целый ряд пересмотров, последний из которых состоялся в 2019 году. В настоящее время она признана практически всеми организациями в мире, занимающимися проблемами спинного мозга (Kirshblum S. et al., 2020).

Для определения переломов, которые потребовали бы дополнительной передней реконструкции, Т. McCormack с соавторами (1994) предложили классификацию распределения нагрузки (Load-sharing classification – LSC), определяемую тремя компонентами, включая степень раздробленности тела

позвонка, положение костных фрагментов и коррекцию кифоза. По классификации распределения нагрузки проводится балльная оценка в общей сложности до 9 баллов. Согласно классификации Т. McCormack с соавторами, пациентам с $LSC \geq 7$ необходима передняя реконструкция, поскольку только задняя фиксация может привести к перелому имплантата или нарастанию деформации.

В 2002 году для оценки тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника А.Р. Vaccaro с соавторами (2005) предложили классификацию TLICS (Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score), которая основана на результатах КТ и МРТ. Оценка по TLICS широко используется в качестве алгоритма лечения для принятия клинических решений при переломах груднопоясничного отдела (Joaquim A.F. et al., 2016). В классификацию включены три характеристики травмы: морфология травмы, целостность заднего связочного комплекса и неврологический статус. Итоговый балл определяет тактику лечения: менее 4 баллов – рекомендуется применять консервативное лечение, более 4 баллов является показанием для оперативного лечения, 4 балла – пограничный результат.

МРТ должна быть важным диагностическим инструментом для точной оценки повреждения заднего связочного комплекса (Bizdikian A.J. et al., 2021). Однако система классификации Vaccaro с соавторами (2002) по оценке тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника имеет ограничения, особенно когда данные МРТ не дают четких указаний на повреждение заднего связочного комплекса (Costachescu B. et al., 2022).

Существующие классификации АО и TLICS для переломов груднопоясничного отдела продемонстрировали свою обоснованность и полезность в клинической практике. В 2012 году комитет AOSpine пересмотрел классификацию АО и создал единую систему классификации травм позвоночника, целью которой является разработка хирургического алгоритма лечения. Морфологический компонент системы ориентирован на иерархическую систему классификации переломов АО, которая делит переломы на три основные группы (А, В и С), каждая из которых имеет множество подтипов в зависимости от тяжести травмы. Неврологический статус на момент первичной госпитализации часто оценивается

с помощью простой и понятной схемы, которая одинакова для всех областей позвоночника. В дополнение к базовой буквенно-цифровой схеме описания травмы специфические для пациента модификаторы учитывают важные особенности травмы и заболевания, которые могут повлиять на выбор оперативного или консервативного метода лечения и исход (Vaccaro A.R. et al., 2016). Классификация AOSpine для травм груднопоясничного отдела позвоночника сложна, в ней содержится подробная морфологическая картина степени повреждения тела позвонка, данные о стенозе канала, поражении межпозвоночного диска и неврологической травме (Vajamal A.H. et al., 2021). Согласно классификации травмы позвоночника, набравшие 3 балла или менее пациенты должны лечиться консервативно, в то время как пострадавших, оцененных в 5 баллов или более, следует лечить хирургическим путем (Kepler C.K. et al., 2016).

Нет единого мнения о сроках ранней операции на позвоночнике (Aarabi V. et al., 2021; Vadhiwala J.H. et al., 2021). Накапливаются данные, свидетельствующие о том, что ранняя операция может улучшить неврологические результаты, особенно при неполной травме спинного мозга, и может снизить неврологические осложнения и уменьшить использование ресурсов здравоохранения. Более того, даже у пациентов с полной травмой спинного мозга незначительное улучшение неврологических функций может привести к значительным изменениям в качестве жизни (Якушин О.А. с соавт., 2015; Piazza M., Schuster J., 2017). Шансы на восстановление двигательной функции после операции, выполненной в течение 24 часов после травмы шейного отдела спинного мозга, выше, чем после операции, выполненной в более поздние сроки (Haghnegahdar A. et al., 2020), но и уровень смертности возрастает при оперативных вмешательствах в первые сутки (Kerwin A.J. et al., 2007). Сроки операции больше влияют на восстановление поврежденного спинного мозга в шейном отделе, чем в грудном (Ter Wengel P.V. et al., 2020). Данные, касающиеся сроков декомпрессии спинного мозга в груднопоясничной области, гораздо более скудны, чем данные о декомпрессии в шейном отделе. Ряд ретроспективных и проспективных исследований показали, что ранняя операция (от 24 до 72 часов) при переломах груднопоясничного отдела позвоночника имеет

тенденцию к снижению общей частоты осложнений, продолжительности пребывания в больнице и отделении интенсивной терапии (Sousa A. et al., 2022). Ранняя операция снижает риск легочных осложнений, сокращает пребывание в отделении интенсивной терапии и продолжительность госпитализации (Bliemel C. et al., 2014).

S.L. Cengiz с соавторами (2008) сравнили сроки оперативного лечения через 8 часов и 3–15 дней – получен эффект от раннего оперативного лечения по восстановлению неврологических нарушений и уменьшению осложнений. В более поздних исследованиях у пациентов с травмой спинного мозга в грудопоясничной области не было отмечено существенной разницы в скорости неврологического восстановления от сроков декомпрессии до 72 часов (Баиндурашвили А.Г. с соавт., 2015). Тем не менее благотворное влияние более ранней декомпрессии спинного мозга сохраняется примерно до 36 часов после травмы, после чего эффект может уменьшаться (Badhiwala J.H. et al., 2021).

Также прогностическими факторами, указывающими на худший функциональный исход после травмы спинного мозга, являются более высокий уровень повреждения (Milicevic S. et al., 2014), ранняя спастика (Levasseur A. et al., 2021), биомаркеры в спинномозговой жидкости (Sharif S. et al., 2020).

Травма спинного мозга вызывает острый иммунный ответ с участием циркулирующих лейкоцитов. Их раннее появление в крови прогнозирует более длительное восстановление после травмы спинного мозга (Jogia T. et al., 2021). Наиболее быстрый темп восстановления двигательной активности наблюдается в первые три месяца после травмы спинного мозга (Kirshblum S. et al., 2021). Метаанализ показал, что неврологическое восстановление после травмы спинного мозга в значительной степени зависит от характера повреждения, но не от типа лечения или страны проживания (Khorasanizadeh M. et al., 2019).

1.3 Морфометрические параметры позвоночника при планировании хирургического лечения посттравматических деформаций

Статистические корреляции между анатомическими структурами позвоночника человека позволяют прогнозировать морфометрию позвонков, что может применяться для создания упрощённых геометрических моделей позвоночника. Глубокие знания анатомии, морфологии и биомеханики позвоночника необходимы при лечении переломов позвонков (Афаунов А.А. с соавт., 2007; Рерих В.В., Борzych К.О., 2015; Olivares O.V. et al., 2021).

Высота тел позвонков зависит от расы, пола и региона проживания (Ning L. et al., 2017). Данные разных популяций показывают сходные пропорции размеров всех позвонков (Kaur K. et al., 2016). Высота тел постепенно увеличивается от TIV до LIII, но затем уменьшается на уровне LIV–LV, при этом грудные позвонки всегда меньше поясничных (Kaur K. et al., 2016; Ning L. et al., 2017). В грудном отделе задняя высота позвонка превышает переднюю на 1–2 мм.

У мужчин позвонки статистически значимо больше, чем у женщин, хотя пропорции одинаковы. Изменения размеров с возрастом происходят по-разному: у женщин в постменопаузе передняя высота тел уменьшается примерно на 1,5 мм в год, средняя и задняя — на 1,2–1,3 мм (Lentle B.C. et al., 2020). Возрастное уменьшение высоты влияет на нормальный диапазон формы позвонков. Установлена статистически значимая корреляция между передней высотой тела позвонка и возрастом (Mavrych V. et al., 2014).

У новорождённых передняя и задняя высота поясничных позвонков практически равны. В детстве и подростковом возрасте передняя высота увеличивается, достигая максимума у взрослых, и слегка уменьшается у пожилых людей. Для расчёта размеров тел позвонков используют средние значения соседних позвонков (Guglielmi G. et al., 2008).

Анатомические размеры межпозвонковых дисков зависят от уровня диска, пола и возраста (Okada E. et al., 2019). Минимальная высота диска наблюдается на уровне ThIV–ThV (Волков А.А. с соавт., 2015), затем размеры увеличиваются к сегменту LIV–LV у всех популяций (Machino M. et al., 2021). Морфометрия корней

дуг, особенно грудных позвонков, важна при планировании транспедикулярной фиксации (Wang Y. et al., 2023).

Существуют следующие методы расчёта высоты диска:

- высота диска рассчитывается по высоте соседних тел позвонков (Kunkel M.E. et al., 2011);
- индекс высоты диска учитывает три размера межпозвоночного диска и соседних тел с фиксированным коэффициентом α (Fylos A.H. et al., 2018);
- коэффициенты корреляции для расчёта высоты диска в зависимости от пола и возраста (Lavecchia C.E. et al., 2018);
- дисковертебральный индекс для каждого сегмента поясничного отдела (Piescu D.M. et al., 2017).

Так же, как и размеры дисков, их углы у бессимптомных пациентов были хорошо изучены в многочисленных исследованиях (Zhang F. et al., 2018). Теоретически подтверждено различное распределение физиологических углов дисков в грудном и поясничном отделах позвоночника в соответствии с четырьмя типами осанки (Roussouly P. et al., 2005; Celestre P.C. et al., 2018). Понимание анатомии позвоночника требует трехмерного представления о форме, морфологии и пропорциях позвоночника. Чтобы понять патофизиологию и спланировать необходимую коррекцию, нужно оценить сагиттальную, фронтальную и аксиальную проекции. Восстановление поврежденного позвоночника до глобально сбалансированного состояния играет важную роль в достижении успешных результатов.

Доказано, что сегментарные углы дисков позвоночника равномерно изменяются при движении (Borkowski S.L. et al., 2016). Сегментарный объем движений в грудном отделе при сгибании-разгибании составляет от $1,9^\circ$ до $3,8^\circ$, причем минимальным он является в сегменте ThIV-ThV. Суммарный объем движений в грудном отделе, сложенный из сегментарных углов составил $31,7 \pm 11,3^\circ$ (Morita D. et al., 2014). При вдохе и выдохе общий объем движений в грудном отделе позвоночника составляет $15,9 \pm 4,6^\circ$ (Burgos J. et al., 2021).

При движениях динамические изменения происходят и в дуральном мешке, и в спинном мозге. В грудном отделе переднезадний размер дурального мешка увеличивается при сгибании, тогда как площадь поперечного сечения дурального мешка, переднезадний размер и площадь поперечного сечения спинного мозга при сгибании уменьшаются (Machino M. et al., 2020). Во время сгибания увеличивается длина спинного мозга при уменьшении переднезаднего размера и площади поперечного сечения. Важным фактором изучения был сегментарный кифотический угол, который влиял на изменения площади поперечного сечения дурального мешка и спинного мозга (Morita D. et al., 2017).

Поскольку в норме физиологическая форма позвоночника индивидуальна, то для исправления возникшей деформации необходим индивидуальный подход при соблюдении биомеханических принципов (Бурцев А.В. с соавт., 2017; Mayer M. et al., 2017; Климов В.С., 2020). Для изучения баланса позвоночника начали делать акцент на морфологию грудного и поясничного отделов, распределение нормального кифоза в грудном отделе и поясничного лордоза (Lafage R. et al., 2020). Распределение кифоза в грудном отделе в бессимптомной популяции показывает, что он не является дугой окружности, и почти 2/3 угла кифоза расположено в верхней части грудного позвоночника. Можно рассчитать величину кифоза в верхней части, используя общее значение кифоза (Lafage R. et al., 2020). В поясничном отделе исследования позволили определять параметры выравнивания для конкретного пациента на основе возраста и морфологии таза, но они усложнили понимание поясничного лордоза. Так, грудопоясничный переход, воспринимаемый как прямой в норме, в сагиттальной проекции может отклоняться до 10 градусов (Su Q. et al., 2019).

Перед операцией и в послеоперационном периоде для оценки результатов лечения исследователями используются разные рентгенологические и морфометрические параметры. Так, измененная передняя или задняя высота тела позвонка указывает на перенесенную травму или патологический процесс и оценивается по высоте соседних тел позвонков (Xiong C. et al., 2020). Увеличение ширины межпозвоночного диска сигнализирует о нестабильной травме, вызванной

гиперэкстензией, и требует хирургического вмешательства (Rajasekaran S. et al., 2017). Смещение или вывих позвонка – крайне нестабильная форма повреждения, которая требует обязательного хирургического лечения (Vaccaro A.R. et al., 2013). При переломах изучается процент компрессии тела позвонка, который определяется отношением передней высоты тела позвонка к задней высоте тела позвонка (Xiong C. et al., 2020). Потеря передней высоты тела позвонка рассчитывается путем деления разницы между средней передней высотой тел смежных позвонков и передней высотой поврежденного позвонка на среднюю переднюю высоту тел смежных позвонков, умноженной на 100,0% (Huang J. et al., 2020). Эти расчеты имеют клиническое значение при определении кифотической деформации. Если передняя высота тела позвонка уменьшается более чем на 50,0%, изучаемый сегмент является кифотическим с вероятностью более тяжелых неврологических повреждений (Yüksel M.O. et al., 2016). Межкостистое расстояние измеряется от верхних границ соседних остистых отростков и рассчитывается путем деления разницы (межкостистого расстояния между остистыми отростками поврежденного сегмента и среднего расстояния смежных межкостистых сегментов) на среднее расстояние смежных межкостистых сегментов, умноженное на 100,0% (Li Y. et al., 2017). Расширение межкостистого промежутка более чем на 20,0% указывает на повреждение заднего связочного комплекса (Machino M. et al., 2020), что приводит к нестабильности и кифотической деформации позвоночника.

В.В. Щедренко с соавторами (2011) предложили расчет коэффициента стеноза позвоночного канала по следующей формуле (1):

$$K_{st} = 1 - 2d_2^2 : (d_1^2 + d_3^2), \quad (1), \text{ где}$$

K_{st} – коэффициент стеноза,

d_1 – диаметр поперечного сечения позвоночного канала (ПК) вышележащего позвонка,

d_2 – диаметр поперечного сечения позвоночного канала в месте максимального сужения,

d_3 – диаметр поперечного сечения позвоночного канала нижележащего позвонка.

Выявлена корреляция между стенозом позвоночного канала и неврологическим дефицитом (Xiong C. et al., 2020). При стенозе позвоночного канала в грудопоясничном отделе более 40,0% появляется вероятность более тяжелого неврологического повреждения (Yüksel M.O. et al., 2016). По данным СКТ или МРТ расчет позволяет объективно оценить достаточность и адекватность выполненной реконструкции позвоночного канала.

Измерение угловой деформации позвоночника по методу Cobb является наиболее устоявшимся методом количественной оценки деформации позвоночника (Тесаков Д.К., Тесакова Д.Д., 2007), суть которого соответствует требованиям классической геометрии. Но даже при выборе одних и тех же конечных позвонков при измерении по методике Cobb погрешность может достигать 4–5° (Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю., 2005; Jiang S.D. et al., 2012). Это послужило стимулом к разработке новых методов измерения степени деформации позвоночника, но большинство из предложенных методов оказались слишком сложными для рутинного использования в клинической практике.

Для оценки локальной деформации поврежденного отдела позвоночника в сагиттальной проекции по методу Cobb разными авторами используются разные углы.

1. Сагиттальный угол между верхней замыкательной пластинкой вышележащего и нижней замыкательной пластинкой нижележащего позвонка (Xiong C. et al., 2020). Данный угол измерения является самым точным наиболее надежным (Jiang S.D. et al., 2012). В литературе его называют: угол локального кифоза (Ulmar B. et al., 2010); угол Кобба для оценки сагиттального выравнивания (Keunan O. et al., 2006); угол бисегментарного кифоза (Lindtner R.A. et al., 2018).

2. Угол между нижней замыкательной пластинкой вышележащего и верхней замыкательной пластинкой нижележащего позвонка. Встречается в литературе под названием «угол сегментарного кифоза» (De Iure F. et al., 2018).

3. Угол между верхней замыкательной пластинкой вышележащего и нижней кортикальной пластинкой поврежденного позвонка, упоминается как: угол

Гарднера (Korovessis P. et al., 2006); угол сегментарного кифоза (Ulmar B. et al., 2010); угол моносегментарного кифоза (Lindtner R.A. et al., 2018).

4. Угол между задними стенками поврежденного и нижележащего позвонков (Kuklo T.R. et al., 2001).

5. Угол между замыкательными пластинками поврежденного позвонка, встречается под названиями: позвоночный угол кифоза (Ulmar B. et al., 2010); угол тела позвонка или угол кифоза тела позвонка (Gaitanis I.N. et al., 2005).

6. Угол инверсии внутриканального костного фрагмента, который образован линиями вдоль задней стенки поврежденного позвонка и задней стенки смещенного костного фрагмента (Guerra J.Jr. et al., 1984).

7. Угол разворота внутриканального костного фрагмента относительно задней стенки позвонка в аксиальной проекции (Panjabi M.M. et al., 1994).

Использование множества углов для оценки деформации позвоночника затрудняет сопоставление результатов лечения.

Рассчитать до операции точные размеры сагиттального профиля травмированного отдела позвоночника возможно только после спондилографии позвоночника с тазом, выполненной накануне перед операцией в положении стоя и с использованием множества позвоночно-тазовых параметров (Koller H. et al., 2008), что трудновыполнимо у больных с позвоночно-спинномозговой травмой. В вертикальном положении по отношению к положению лежа изменяются поясничный лордоз и тазовые параметры в виде увеличения наклона таза и уменьшения наклона крестца (Hasegawa K. et al., 2018). Кроме того, рентгенологическое исследование в положении лежа не отображает истинный сагиттальный профиль пациента, как в положении стоя или сидя (Misir A. et al., 2019). При переходе из положения стоя в положение лежа на спине общий поясничный лордоз уменьшался в среднем на $10,3^\circ$ (Heu N.W.D. et al., 2017), а общий грудной кифоз – на 2° (Hasegawa K. et al., 2018). Эти работы помогают учесть погрешности при исправлении сегментарной деформации у больных с позвоночно-спинномозговой травмой, исследования которым выполнены в положении лежа. Примечательно, что общее выравнивание позвоночника рядом

исследователей не оценивалось, хотя предполагается, что это представляет собой важный прогностический параметр (Ferrero E. et al., 2015).

На основе большого анализа рентгенограмм и компьютерных томограмм авторами представлены эталонные значения сегментарных углов в грудопоясничном переходе, которые сильно разнятся (Zappalá M. et al., 2021). Использование при лечении переломов абсолютных величин деформации в качестве эталона для хирургического вмешательства осложняется широким разнообразием нормальной анатомии позвоночника (Hipp J.A. et al., 2022; Zappalá M. et al., 2021). Не существует справочных данных, чтобы узнать, насколько велика вариабельность между уровнями позвонков в норме (Hipp J.A. et al., 2022).

Результаты измерений по данным рентгенографии, КТ и МРТ могут быть вполне сопоставимы (Wang F. et al., 2017). Проводятся исследования для сопоставления углов по данным СКТ и МРТ, выполненных в положении лежа, с рентгенограммами, выполненными в положении стоя (Hajnal B. et al., 2022).

J.P. Farcy с соавторами (1990) предложили расчет сагиттального индекса при переломах грудопоясничного отдела позвоночника, а именно измерение кифотической деформации позвоночного сегмента (угол между нижней замыкательной пластинкой тела вышележащего позвонка и нижней замыкательной пластинкой тела поврежденного позвонка), скорректированное на нормальный сагиттальный контур на уровне деформированного сегмента. Для расчета сагиттального индекса при переломах позвонков в грудном отделе до ThX к измеренному углу деформации добавляется 5 градусов; при переломах ThXI-LI нормальный сагиттальный контур равен нулю; при переломах в поясничном отделе от LI позвонка – от измеренного угла отнимается 10 градусов. Вследствие большого индивидуального разнообразия сегментарных углов в зависимости от типов осанки по Rossouilly при расчете сагиттального индекса получаем большие погрешности. А чем точнее будут рассчитаны параметры для коррекции деформации поврежденного сегмента позвоночника, тем точнее будут восстановлены сагиттальный профиль и исходная анатомия позвоночника. С.В. Орлов с соавторами (2009) предлагают математические расчеты для описания

динамических процессов в позвоночнике с помощью дифференциального уравнения Лагранжа второго порядка.

Разрабатываются математические модели для виртуального восстановления положения позвоночника на основе инерциальных датчиков, но они не находят применения в хирургии позвоночника (Voinea G.D. et al., 2016).

1.4 Влияние характера повреждения позвоночника и спинного мозга, степени компрессии спинного мозга и развития неврологических расстройств на тактику хирургического лечения

Доказано, что различное положение тела в момент травмы обуславливает формирование различных типов переломов позвоночника (Li W.J. et al., 2020). Переходная зона между относительно ригидным грудным и более подвижным поясничным отделами позвоночника подвергается концентрированным нагрузкам, что повышает риск травматических повреждений (Machino M. et al., 2019). Ключевыми этапами хирургического лечения пациентов с повреждениями позвоночника являются декомпрессия невральных структур, репозиция с коррекцией деформации и надёжная фиксация позвоночного столба, на чём акцентируют внимание многочисленные исследователи (Корнилов Н.В., Усиков В.Д., 2000; Афаунов А.А. с соавт., 2007; Томилов А.Б., Кузнецова Н.Л., 2012; Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Kumar S. et al., 2020; Olivares O.V. et al., 2021). Существенное влияние на результаты лечения пострадавших с осложненной травмой позвоночника оказывают и организационные факторы (Климов В.С., 2007; Дулаев А.К. с соавт., 2020).

Проблема выбора оптимальной тактики при неосложнённых переломах груднопоясничного перехода остаётся предметом научной дискуссии (Кокушин Д.Н. с соавт., 2016; Spiegl U.J. et al., 2021). Ряд авторов отмечают удовлетворительные результаты консервативного лечения (Alpantaki K. et al., 2010), позволяющего избежать хирургических рисков. При сравнении консервативной терапии и оперативного вмешательства у больных с

нестабильными, но неосложнёнными переломами груднопоясничного отдела были получены сопоставимые функциональные результаты (Kato S. et al., 2017).

Однако даже при адекватной внешней иммобилизации возможно прогрессирование посттравматической кифотической деформации и развитие хронического болевого синдрома (Zeng J. et al., 2018). Степень компенсации посттравматического кифоза индивидуальна и непредсказуема в отдалённой перспективе (Pishnamaz M. et al., 2020). Почти четверть пациентов, первоначально направленных на консервативное лечение, впоследствии нуждаются в оперативном вмешательстве (Hitchon P.W. et al., 2016). При переломах типов А2 и А3 по классификации АО применение вертебропластики или кифопластики достоверно снижает выраженность болевого синдрома в течение первого месяца после травмы по сравнению с консервативным лечением (Рузиев Х.Х. с соавт., 2019). У пациентов с переломами типа А3 и сниженной минеральной плотностью костной ткани некоторые авторы рекомендуют отдавать предпочтение вертебропластике, избегая транспедикулярной фиксации (Бердюгин К.А. с соавт., 2012).

Определяющими факторами при выборе метода лечения являются стабильность повреждения и степень компрессии невральных структур (Усиков В.Д. с соавт., 2013; Verheyden A.P. et al., 2018). Нестабильность оценивается по степени морфологических разрушений тела позвонка (De Iure F. et al., 2018; Rajasekaran S. et al., 2017) и целостности заднего связочного комплекса (Machino M. et al., 2020). Все оскольчатые переломы, сопровождающиеся формированием кифотической деформации, рассматриваются как нестабильные (Pellisé F. et al., 2015). Ранее считалось, что наличие неврологического дефицита само по себе указывает на нестабильность повреждения независимо от выраженности деформации (Rajasekaran S. et al., 2017; Verheyden A.P. et al., 2018). Вывих позвонка, относящийся к типу С по классификации АО, является крайне нестабильной формой травмы и требует обязательного оперативного вмешательства (Бадалов В.И., 2012; Vaccaro A.R. et al., 2013).

Значительная роль при повреждениях типа А по классификации АО принадлежит межпозвоночному диску: пульпозное ядро, подвергаясь воздействию

вертикальной нагрузки, может разрывать верхнюю кортикальную пластинку и внедряться в тело позвонка, фрагментируя его (Diotalevi L. et al., 2020). Одной из гипотез, объясняющих развитие дегенеративных изменений межпозвоночного диска после травмы, является кальцификация замыкательной пластинки повреждённого позвонка (Cisewski S.E. et al., 2018). По мнению L. Marie-Hardy с соавторами (2020), большинство переломов типа А не вызывает непосредственного повреждения диска, а восстановление анатомической целостности тела позвонка предотвращает вторичную дегенерацию. Эти наблюдения позволяют предположить, что выполнение спондилодеза при переломах типов А3 и А4 не всегда оправдано.

При сочетанных травмах объём оперативного вмешательства определяется характером повреждений костно-связочных структур позвоночника и спинного мозга после устранения жизнеугрожающих состояний (Блаженко А.Н. с соавт., 2010; Гринь А.А. с соавт., 2011; Yue J.K. et al., 2017). Основными рентгенологическими признаками, служащими показаниями к хирургическому лечению, являются: кифотическая деформация более 15° (Kim H.S. et al., 2009); сколиотическая деформация свыше 10° (Joaquim A.F. et al., 2019); разброс костных фрагментов по периметру тела позвонка более 62,7% (De Iure F. et al., 2018); увеличение межкостистого промежутка более чем на 20% (Machino M. et al., 2020).

Выбор переднего, заднего или комбинированного хирургического подхода определяется морфологией перелома, неврологическим статусом пациента, а также подготовкой и предпочтениями хирурга (Афаунов А.А. с соавт., 2018; Pishnamaz M. et al., 2015). Оптимальный выбор хирургического доступа при наличии неврологических нарушений, разрушении передней опорной колонны и выраженном сегментарном кифозе остаётся предметом обсуждения (Lindtner R.A. et al., 2018; Wang T. et al., 2022). С целью снижения объёма и травматичности оперативного вмешательства при использовании транспедикулярных конструкций рекомендуется интраоперационная оценка состояния позвоночного канала после проведённой репозиции (Зубков Е.А., 2013).

Единых стандартов применения передних и задних доступов не существует. Передний доступ позволяет эффективно устранить угловую деформацию и обеспечить стабильность позвоночного сегмента. Он предпочтителен при сохранности заднего связочного комплекса (Рерих В.В. с соавт., 2007; Рамих Э.А., 2008) и показан при нестабильных неосложнённых повреждениях 1–2 позвонков грудного отдела в остром периоде травмы с формированием кифотической деформации (Гринь А.А. с соавт., 2018). Изолированные передние доступы, как правило, применяются при переломах типов А3, А4, В1 и В2, что обеспечивает возможность первично-стабильного опорного спондилодеза (Паськов Р.В. с соавт., 2012; Zhang B. et al., 2019; Hoffmann C. et al., 2020). Несмотря на высокие технические требования, передний доступ обеспечивает полное удаление компримирующих костных и мягкотканых фрагментов под визуальным контролем (Луцик А.А. с соавт., 2012), восстановление анатомии повреждённых позвонков и надёжную фиксацию (Монашенко Д.Н., 2022).

Тем не менее передний доступ сопряжён с риском серьёзных осложнений, связанных с близостью органов грудной и брюшной полости, а также крупных сосудов (Jiang Y. et al., 2019). Частота осложнений при правостороннем доступе составила 22,8% по сравнению с 14% при левостороннем доступе (Hajewski S.J. et al., 2022). Левосторонний доступ традиционно считается наиболее безопасным за счёт снижения риска повреждения нижней полой вены. Выполнение переднего межтелового спондилодеза не всегда необходимо, особенно при неосложнённых переломах, когда достаточной оказывается задняя фиксация (Рерих В.В., 2009). К ограничениям переднего доступа относится также послеоперационный болевой синдром, наблюдаемый в 31% случаев (Zhang S. et al., 2015), и повышенный риск осложнений при заборе трансплантата (Linhares D. et al., 2016). Хорошее знание анатомии сосудов позвоночника имеет решающее значение для минимизации рисков, связанных с хирургией передними доступами (Shlobin N.A. et al., 2020).

По данным А.К. Дулаева с соавт. (2019), использование открытых передних доступов для реконструкции вентральной колонны целесообразно лишь при давности травмы более 7 суток в рамках комбинированных операций,

преимущественно в сочетании с малоинвазивной задней транспедикулярной фиксацией. Несмотря на рекомендации выполнения передней фиксации при оскольчатых переломах тела позвонка, исследования показали, что задний доступ обеспечивает сопоставимую эффективность при меньшей травматичности и экономической затратности (Ren E.H. et al., 2019; Wang T. et al., 2022).

Сравнение переднего и заднего доступов при переломах типов B1 и B2 демонстрирует преимущества заднего подхода за счёт сокращения времени операции и более эффективной коррекции деформации (Tan T. et al., 2020).

Минимизация травматичности декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств при взрывных переломах достигается за счёт малоинвазивной декомпрессии и стабилизации. Применение минимально инвазивного переднего доступа с торакоскопическим оборудованием улучшает хирургические исходы (Грибанов А.В. с соавт., 2016; Hoffmann C. et al., 2020).

В настоящее время наблюдается тенденция к выполнению полного объёма хирургического лечения нестабильных разрывных переломов исключительно через задний доступ (Бердюгин К.А., 2013; Усиков В.Д. с соавт., 2013; Marie-Hardy L. et al., 2020). Оптимальной стратегией в первую неделю после травмы считается открытая или малоинвазивная задняя инструментальная фиксация транспедикулярными системами: от 6 опорных элементов при неполных до 8–10 винтов при полных взрывных повреждениях (Дулаев А.К. с соавт., 2019). Основные преимущества заднего подхода — меньшая кровопотеря, сокращение времени операции, снижение расходов на госпитализацию и частоты осложнений (Yaman O. et al., 2021; Wang T. et al., 2022). Задний доступ является приемлемым с точки зрения клинических, рентгенологических и функциональных результатов (Piccone L. et al., 2020).

При планировании объёма вмешательства учитывается распределение нагрузки по McCormack. При нагрузке до 6 баллов задняя фиксация обеспечивает полную стабильность (Pellisé F. et al., 2015). Повреждения с LSC ≥ 7 обычно сопровождаются большим дефектом кости внутри тела позвонка после непрямого восстановления высоты, что делает задний доступ недостаточным. В таких случаях

рекомендуется дополнительный передний доступ (Pellisé F. et al., 2015). Пациентам с неосложнёнными переломами типов А2 и А3 с LSC 6–8 баллов и без остеопороза показана короткосегментарная транскутанная транспедикулярная фиксация и пластика тела позвонка, а при LSC более 8 баллов — комбинированная декомпрессивно-стабилизирующая операция через вентральный и дорзальный доступы (Байдарбеков М.У., 2018).

Показанием к переднему межтеловому спондилодезу после коррекции деформации и транспедикулярного спондилосинтеза является посттравматический дефект более 25% от среднеарифметического объёма смежных тел или необходимость передней декомпрессии спинного мозга (Химич Ю.В., 2011). Недостаточная фиксация повышает риск прогрессирования кифотической деформации и повреждения имплантатов (Дулаев А.К. с соавт., 2018; Hirota R. et al., 2022).

Наиболее распространённой ошибкой является установка короткосегментарного транспедикулярного остеосинтеза при нестабильных повреждениях типов В и С (Гринь А.А. с соавт., 2015; Шульга А.Е. с соавт., 2015). Поскольку основная нагрузка после операции приходится на транспедикулярную фиксацию, при необходимости минимизации осложнений выполняется передний спондилодез (Макаров А.Б., 2013; Pishnamaz M. et al., 2020). Анализ лечения оскольчатых переломов показал, что второй этап переднего межтелового спондилодеза требуется лишь в 28,9% случаев (Дулаев А.К. с соавт., 2009).

Эффективность фиксации промежуточными винтами в поддержании сагиттального выравнивания наиболее выражена при переломах типа С. При такой компоновке для фиксации ни один из пациентов не нуждался в повторной операции по поводу потери коррекции или переломов конструкции при LSC более 7 баллов (Kose K.C. et al., 2014).

Традиционный открытый задний доступ сопряжён с рисками кровопотери и длительной госпитализации, что стимулирует применение малоинвазивных подходов (Паськов Р.В. с соавт., 2011; Малыгин В.Н. с соавт., 2012; Бывальцев В.А. с соавт., 2016). Разработаны модифицированные методики дорсального

повреждённые позвонки (Chen T. et al., 2014), трансфораминальный спондилодез показывает хорошие результаты (Feng Z. et al., 2015).

Недооценка стабильности и фиксации при заднем доступе может приводить к прогрессированию посттравматической деформации и необходимости более объёмных реконструктивных операций (Дулаев А.К. с соавт., 2010, 2012; Liu F.Y. et al., 2020; Olivares O.V. et al., 2021). Незначительный рецидив кифоза или остаточный стеноз канала не всегда влияет на клинический исход (Kanna R.M. et al., 2015). Незначительное увеличение кифоза не приводило к боли, инвалидности или перелому конструкции. Однако не существует общепринятого угла кифоза, который оправдывает хирургическое лечение, и существуют противоречивые данные о том, является ли увеличение кифоза предиктором неэффективности консервативного лечения (Tan T. et al., 2020). При сохраняющемся стенозе позвоночного канала нужно помнить о его ремоделировании и не спешить прибегать к агрессивным методам декомпрессии, особенно при неосложнённых повреждениях. В серии наблюдений V.J. Leferink с соавторами (2003) заметили, что из 76,5% пациентов со стенозом позвоночного канала через два года только 2,4% пациентов имели остаточный стеноз.

Комбинированный доступ показан при нестабильных переломах типов В и С с большим разрушением вентральной колонны (более 7 баллов по классификации распределения нагрузки) (Verheyden A.P. et al., 2018). Для комбинированного доступа было разработано множество новых имплантатов и систем для фиксации (Макаров А.Б. с соавт., 2012).

Современные имплантаты обеспечивают возможность одномоментного или двухэтапного выполнения вмешательства, в том числе у детей (Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., 2004; Виссарионов С.В. с соавт., 2010). Второй этап чаще выполняется в ближайшие 2 недели (Крылов В.В. с соавт., 2014) или в более поздние сроки (Томилов А.Б., Кузнецова Н.Л., 2011). На первом этапе выполняется бисегментарная ТПФ, а через 7–10 дней – корпородез с использованием имплантатов (Афаунов А.А., 2020; Lindtner R.A. et al., 2018). Комбинированный доступ обеспечивает высокую первичную биомеханическую стабильность,

связанную со значительно лучшим восстановлением сагиттального профиля по сравнению с только задним или передним доступом (Wong C.E. et al., 2022).

Тем не менее пациенты, оперированные только через задний доступ, демонстрируют лучшие функциональные и субъективные результаты с меньшей частотой осложнений по сравнению с комбинированной тактикой (Reinhold M. et al., 2010). По данным М.С. Паршина (2019), показатели качества жизни по шкале ODI в раннем послеоперационном периоде статистически значимо выше у пациентов, оперированных через расширенные задние доступы. Эти различия сохранялись до одного года, после чего статистически значимых различий не наблюдалось. Выполнение заднего или комбинированного доступа не оказывало влияния на восстановление неврологических функций у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов (Монашенко Д.Н., 2022). Согласно данным J.C. Liao с соавторами (2017), существенной разницы в показателях боли по ВАШ, степени послеоперационной коррекции кифоза или частоте осложнений между задним и комбинированным доступами не выявлено.

Малоинвазивные доступы позволяют минимизировать операционную травму, снизить послеоперационный болевой синдром, сократить срок госпитализации и ускорить реабилитацию (Аганесов А.Г. с соавт., 2021; Мануковский В.А. с соавт., 2012; Hoffmann C. et al., 2020). С учётом всех ограничений и недостатков заднего доступа, даже при нестабильных повреждениях, он остаётся золотым стандартом хирургического лечения грудного и поясничного отделов позвоночника (Spiegel U.J.A. et al., 2021).

1.5 Закрытая и открытая декомпрессия содержимого позвоночного канала при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника

Если первичное повреждение спинного мозга уже произошло, современные терапевтические стратегии направлены на уменьшение выраженности вторичного повреждения (Yue J.K. et al., 2017; Hashemizadeh S. et al., 2022).

Основную роль в поражении спинного мозга при компрессионных переломах играют костные фрагменты задней части тела позвонка (Химич Ю.В., 2011; Усиков

В.Д. с соавт., 2013; Афаунов А.А. с соавт., 2016; Лобзин С.В. с соавт., 2019; Kato S. et al., 2017; Wang X.B. et al., 2017).

В основе лечения переломов позвоночника с повреждением спинного мозга лежит декомпрессия содержимого позвоночного канала с целью предотвращения прогрессирования неврологических нарушений и восстановления анатомии поврежденного сегмента позвоночника (Аганесов А.Г. с соавт., 2003; Усиков В.Д. с соавт., 2013; Крылов В.В. с соавт., 2014; Казакова Э.Ю., Гринь А.А., 2018; Kumar S. et al., 2020).

Ранняя хирургическая декомпрессия имеет жизненно важное значение для лечения неврологических нарушений (Гринь А.А. с соавт., 2018; Anderson K.K. et al., 2015). Неразрешенная деформация позвоночника может привести к неправильному положению соседних сегментов, изменению общей статики позвоночника и развитию хронического болевого синдрома (Баиндурашвили А.Г. с соавт., 2015; Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Дулаев А.К. с соавт., 2019; Machino M. et al., 2020). Хороший отдаленный исход с минимальными осложнениями возможен лишь при соблюдении биомеханических принципов восстановления сагиттального профиля позвоночника (Бурцев А.В. с соавт., 2017; Mayer M. et al., 2017). Чрезмерная или недостаточная коррекция деформации способствует развитию синдрома смежного уровня (Lee J.C. et al., 2015).

Непрямая декомпрессия в хирургии позвоночника означает восстановление просвета позвоночного канала без удаления компримирующих тканей (Yoshihara H., 2017). Она выполняется преимущественно через задний доступ за счет лигаментотаксиса и влияния связочного аппарата диска (Yoshihara H., 2017; Venier A. et al., 2019; Song Y. et al., 2022). Важно анатомически восстановить тела позвонков, чтобы биомеханически и функционально приблизить позвоночник к исходному состоянию. Непрямая декомпрессия тесно связана с задней продольной связкой: ее средняя ширина составляет 7,8 мм на уровне L1, а отношение ширины связки к ширине тела L1 позвонка — 21,0% (Salaud C. et al., 2018). Однако не все костные фрагменты могут быть смещены из позвоночного канала с помощью лигаментотаксиса (Усиков В.Д. с соавт., 2005, 2013; Афаунов А.А. с соавт., 2016;

Benek H.V. et al., 2021). Повреждение задней продольной связки затрудняет репозицию костных фрагментов и проведение закрытой декомпрессии (Wang X.B., 2017). Разрыв задней продольной связки можно предположить при дефиците просвета позвоночного канала 52% и угле поворота костного фрагмента $\approx 33^\circ$ по данным компьютерной томографии (Chen F. et al., 2019). По данным ряда авторов, имеется корреляция между размерами костного фрагмента и степенью повреждения задней продольной связки (Hu Z. et al., 2015), тогда как J. Tan с соавт. (2015) не выявили связи между повреждением задней продольной связки, локальным кифозом и степенью компрессии тела позвонка.

Размер костного фрагмента является ключевым фактором, определяющим эффективность лигаментотаксиса (Peng Y. et al., 2015). При ширине внутриканального костного фрагмента более 75,0% поперечного диаметра канала и высоте более 47,0% от высоты поврежденного позвонка смещение фрагмента с помощью задней продольной связки, как правило, невозможно. При смещении фрагмента более 0,85 см и угле поворота более 55 градусов лигаментотаксис также неэффективен (Wang X.B. et al., 2017). Лигаментотаксис противопоказан при свободном костном фрагменте в канале и развороте его на 180° (Yoshihara H., 2017). Непрямая декомпрессия может быть эффективна при смещении фрагмента в канал не более 50,0% и при сохранной задней продольной связке (Huang J. et al., 2020; Benek H.V. et al., 2021; Rezvani M. et al., 2023). По данным P.G. Whang с соавт. (2007), лигаментотаксис эффективен при смещении костного фрагмента в канал до 67,0%.

У пациентов без неврологического дефицита коррекция посттравматической деформации и редуцирующий маневр позволяют увеличить резервное эпидуральное пространство путем частичного или полного вправления фрагментов и тем самым снизить риск неврологических осложнений. Решение о способе восстановления формы позвоночного канала принимается с учетом минимизации травматичности хирургического вмешательства (Усиков В.Д. с соавт., 2013; Афаунов А.А. с соавт., 2016; Peng Y. et al., 2015; Venier A. et al., 2019; Benek H.V. et al., 2021).

Сроки, прошедшие с момента перелома, существенно влияют на устранение локальной посттравматической деформации (Рерих В.В. с соавт., 2009). Если в течение 72 часов не удастся устранить посттравматическую деформацию, формируется фиксация порочного положения и в позвоночном канале возникают рубцовые сращения (Аганесов А.Г., 2013). Доказана высокая эффективность закрытой репозиционной декомпрессии при позвоночно-спинномозговой травме нижнегрудного и поясничного отделов в сроки до 10 дней (Афаунов А.А. с соавт., 2016).

По данным Н.В. Богомоловой с соавт. (2016), первые признаки сращения в виде фиброзной спайки появляются через 10–12 суток; к 3 неделям соединительная ткань организуется более выражено, формируются очаги пролиферации элементов соединительной ткани, поля ангиогенеза, хондрогенные островки и остеоид. Поэтому попытки реклинации позвоночника в подостром периоде (от 2 до 3 недель после травмы) во многих случаях обречены на неудачу (Богомолова Н.В. с соавт., 2016).

Эффект не прямой закрытой декомпрессии достигается за счет правильного положения пациента на операционном столе и инструментальной коррекции транспедикулярных винтов. Корректное размещение с адекватным лордозом способствует частичному вправлению позвонков (Hadgaonkar S. et al., 2017). При винтовой редукции первыми выполняют лордозизирующие маневры, затем — контролируемую distraction (Whang P.G., Vaccaro A.R., 2007). По данным В. Wälchli с соавторами (2001), предпочтительнее сначала применять distraction для восстановления высоты поврежденного позвонка, а затем создавать лордоз. Внутриканальный фрагмент смещается наиболее эффективно при создании анатомического лордоза в поясничном отделе в среднем $\approx 10^\circ$ (Fredrickson B.E. et al., 1992). Создание лордоза без предшествующей distraction не приводит к значимому смещению внутриканального фрагмента; distraction выступает преобладающей силой, необходимой для непрямого заднего вправления (Fredrickson B.E. et al., 1992). Комбинированная регулировка разгибания и distraction может быть более подходящей при коррекции деформации (Shang J. с

соавт., 2013). Для восстановления высоты тела позвонка и получения не прямой декомпрессии путем лигаментотаксиса осевая дистракция составляет примерно 3–5 мм (Payer M., 2006). С учетом предстоящей потери коррекции К.С. Косе с соавторами (2014) предлагают создавать гиперлордоз перед окончательной фиксацией.

Во время коррекции деформации воздействию подвергаются тело позвонка и смежные диски (Томилов А.Б., Кузнецова Н.Л., 2012). Высота тела позвонка при дистракции увеличивается в среднем на 20–30%; при восстановлении анатомии замыкательных пластинок нормализуется и анатомия диска (Whang P.G., Vaccaro A.R., 2007). Экспериментально доказано благоприятное влияние дистракции на регенерацию дисков за счет улучшения васкуляризации замыкательной пластинки (Zhan J.W. et al., 2021). Замыкательная пластинка обеспечивает структурную поддержку позвоночника, регулирует поток питательных веществ и метаболические процессы в диске (Русова Т.В., Воропаева А.А., 2017).

Дополнительная интраоперационная ручная редукция обеспечивает лучший клинический эффект по сравнению с не прямой декомпрессией без редукции (Huang J. et al., 2020). Редукцию следует проводить с осторожностью при сопутствующих переломах дужек и разрыве ТМО — возможны ущемление корешков и усугубление неврологических нарушений (Мартикян А.Г. с соавт., 2022).

Непрямая декомпрессия позвоночного канала посредством задней дистракции и стабилизации короткого сегмента внутренними фиксаторами считается оптимальным методом лечения большинства нестабильных взрывных переломов груднопоясничного отдела. Эта менее обширная процедура сопоставима по клиническому эффекту с комбинированным передним и задним доступом (Афаунов А.А., Кузьменко А.В., 2011; Hadgaonkar S. et al., 2017). Внутренние фиксаторы, обеспечивающие независимую коррекцию дистракции и лордоза, могут лучше восстановить анатомию позвоночника; к ним относятся пластины Steffee, фиксатор АО, редукционный фиксатор RF (Зарецков В.В. с соавт., 2014). Техника вправления инструментальными системами Steffee, АО, RF, Kluger близка.

Фиксатор АО обеспечивает независимый, но переменный контроль дистракции и лордоза; устройство RF — переменную дистракцию с заданной коррекцией кифоза; система Steffee — заданную дистракцию и стабилизацию (Ullrich B.W. et al., 2022). Для дозированной трехплоскостной репозиции и фиксации разработана отечественная транспедикулярная система «Синтез» (Усиков В.Д., 1998), прошедшая стендовые испытания в исследовании А.А. Афаунова (2006).

Ю.В. Химич с соавторами (2010) предложили оригинальное внешнее репозиционное устройство при транспедикулярном спондилосинтезе, позволяющее провести полноценную дозированную коррекцию посттравматических многоплоскостных ригидных деформаций поврежденного отдела позвоночника независимо от давности травмы. Введение регулируемых упругих устройств в конструкцию аппарата внешней фиксации — прогрессивный подход, сокращающий сроки лечения (Худяев А.Т. с соавт., 2005). При выборе внешнего транспедикулярного спондилосинтеза как основного метода лечения обычно требуется дополнительная вентральная стабилизация поврежденного сегмента (Томилов А.Б., Химич Ю.В., 2008; Томилов А.Б. с соавт., 2009).

Для более эффективного восстановления высоты тела позвонка предлагается вводить верхние винты с наклоном к нижней кортикальной пластинке (Gómez-Vega J.C. et al., 2021). Некоторые авторы считают, что длинные винты делают репозицию более эффективной (Padalkar P. et al., 2017); другие полагают, что длинные винты не влияют на вправление перелома, но лучше поддерживают восстановленную переднюю высоту и уменьшают потерю коррекции кифоза (Zhang G. et al., 2022). Установка педикулярного винта в сломанный позвонок во время лигаментотаксиса способствует дополнительной декомпрессии содержимого канала и уменьшает послеоперационную боль (Rezvani M. et al., 2023). К.С. Kose с соавт. (2014) используют короткие тонкие промежуточные винты из-за риска смещения внутриканальных фрагментов. К методам не прямой декомпрессии может добавляться прямая декомпрессия путем введения через корень дуги в тело позвонка костной аутокрошки (Wang W. et al., 2011), цемента (Afzal S. et al., 2008),

баллонов (Francaviglia N. et al., 2022) или специальных расширяющихся имплантатов (Marie-Hardy L. et al., 2020).

Техника репозиции при компрессионных переломах включает предварительное моделирование штанг перед установкой и фиксацию штанг сверху или снизу от перелома. За счет ручных приемов с дистракцией и лордозированием штанги вводят и притягивают к остальным винтам (Farcy J.P. et al., 1990; Kose K.C. et al., 2014; Pellisé F. et al., 2015). Лордоз также создают изгибом штанги в ране при уже фиксированных винтах (Choo C.H. et al., 2018).

Эффективность не прямой репозиционной декомпрессии в нижнегрудном и поясничном отделах коррелирует с процентом компрессии позвоночного канала и сопоставима с декомпрессивной ламинэктомией (Афаунов А.А. с соавт., 2016; Benek H.B., 2021). На уровнях LI–LII не прямая декомпрессия оказывается более эффективной, чем на уровнях ThXI–ThXII (Benek H.B. et al., 2021). По результатам Y. Song с соавт. (2022) эффект редукции лучше на уровнях ThXII и LI, чем на уровне LII; это связано с анатомическими особенностями задней продольной связки, обладающей наибольшей прочностью в грудопоясничном переходе.

При нестабильных переломах типа С предлагается ряд способов редукции позвоночника как этап закрытой декомпрессии. Все они основаны на использовании транспедикулярных винтов, как правило, на 2 сегмента выше и 2 на сегмента ниже перелома. Группа AOSpine предлагает пять различных методик (Reduction techniques for type C fractures):

1. Штанга фиксируется двумя дистальными винтами с одной стороны. Остистые отростки разводятся расширителем, штанга вводится в проксимальные головки винтов. Затягиваются гайки винтов, затем аналогичная фиксация выполняется с другой стороны с добавлением двух поперечных штанг.
2. После фиксации штанг в дистальных винтах остистые отростки вручную разводят щипцами, штанга направляется в проксимальные головки винтов. Последующие этапы аналогичны первой методике.

3. Для маневров при редукции вместо щипцов поперечно фиксируют короткие штанги в проксимальных и дистальных винтах, что позволяет прикладывать большие усилия. Вставляется и фиксируется короткая штанга с одной стороны; затем демонтируются поперечные штанги с дистальных винтов и фиксируется длинная штанга; аналогичные действия выполняют с противоположной стороны.
4. Короткие штанги фиксируют вертикально выше и ниже вывиха с одной стороны; с другой стороны в дистальные винты фиксируется длинная штанга. После ручной редукции длинная штанга вставляется в проксимальные винты и фиксируется; затем короткие штанги с противоположной стороны заменяют на длинные.
5. Метод используется преимущественно при частичных неврологических нарушениях. С двух сторон фиксируют по две длинные штанги в дистальных винтах; удаляют фасеточные суставы и выполняют широкую ламинэктомию для визуализации невралных структур. Инструментальным маневром штанги вводят в проксимальные винты и затягивают.

S. Nadgaonkar с соавторами (2017) предложили для редукции использовать 4 короткие штанги, фиксированные вертикально выше и ниже повреждения. Если редукция достижима, для сохранения стабильности рекомендуется не подкусывать фасетки. Такая компоновка облегчает редукцию, но затрудняет окончательную фиксацию при замене коротких штанг на длинные.

Эффективное вправление вывихов позвонков достигается с помощью транспедикулярной системы ООО МТФ «Синтез» (Кузьменко А.В., 2017). Монтируют внешнюю репозиционную систему, состоящую из четырех центральных стержней, жестко закрепленных на головках винтов. В условиях фиксации и distraction осуществляют дозированное встречно направленное перемещение стержней, закрепленных в винтах; это устраняет локальный кифоз и обеспечивает редукцию вывихнутого позвонка.

Технику вправления при полном переломовывихе на уровне LI–LII без неврологических расстройств описал J. Zeng с соавт. (2018). Транспедикулярные

винты введены в тела ThXII, LI, LIII, LIV, LV с двух сторон; с одной стороны введен винт в тело LII, выполнена ламинэктомия LI и LII. Винт в теле LII играет ключевую роль при манипуляциях вправления.

Выполнение ламинэктомии перед редукцией увеличивает риск травмы спинного мозга при случайном соскальзывании инструментов (Hadgaonkar S. et al., 2017). При неосложненных переломах груднопоясничного отдела, как правило, после не прямой декомпрессии выполнение ламинэктомии не требуется (Yuan L. et al., 2019).

После транспедикулярной фиксации необходимость в ламинэктомии возрастала у пациентов с выраженной неврологической симптоматикой с целью ревизии содержимого позвоночного канала (Аганесов А.Г., 2013), поскольку у таких пострадавших достоверно чаще выявлялся разрыв ТМО (Мартикян А.Г. с соавт., 2022). Решение о выполнении ламинэктомии при наличии субкритического травматического стеноза принимали после уточнения состояния спинального кровотока с помощью ангиографии на этапе предоперационного планирования (Кузьменко А.В., 2017).

Доказано, что ламинэктомию следует выполнять на один уровень выше и ниже перелома; иначе в малом ламинэктомическом «окне» возможно усиление вторичного повреждения из-за ущемления спинного мозга при продолжающемся отеке (Рамих Э.А., 2008; Аганесов А.Г., 2013). Основными причинами сохраняющегося сдавления спинного мозга и корешков в канале являются отказ от декомпрессии, ламинэктомия на недостаточном протяжении и ошибки при определении уровня сдавления (Дулаев А.К. с соавт., 2009; Афаунов А.А. с соавт., 2015; Перльмуттер О.А. с соавт., 2016).

Неоправданное разрушение элементов задней опорной колонны ведет к ослаблению фиксации, формированию комбинированных вторичных деформаций и нередко — к появлению или усугублению неврологической симптоматики (Шульга А.Е. с соавт., 2015; Афаунов А.А., Кузьменко А.В., 2016; Дулаев А.К. с соавт., 2018).

Иногда возникает сомнение в эффективности декомпрессии канала с помощью непрямых методов из-за возможного повреждения задней продольной связки. Е.К. Валеев с соавт. (2015) предлагают интраоперационно выполнять контрастирование переднего эпидурального пространства для уточнения дальнейшей тактики хирургического лечения.

Закрытая прямая декомпрессия позвоночного канала выполняется методами вертебропластики, баллонной кифопластики и с применением внутрителовых расширителей (Korovessis P. et al., 2006; Giordan E. et al., 2022). Показанием к использованию внутрителового расширителя SpineJack для прямой декомпрессии являются переломы типов А2–А3 и кифоз до 15°, не требующий не прямой редукции (Giordan E. et al., 2022). При расширении устройство воздействует на сломанную кортикальную пластинку изнутри, расправляет ее, обеспечивает прямую декомпрессию позвоночного канала и способствует заживлению диска.

Всесторонний метаанализ показал, что при не прямой декомпрессии ремоделирование позвоночного канала хуже, чем при прямой декомпрессии, и оставшиеся внутриканальные костные фрагменты могут вызвать отсроченное неврологическое ухудшение (Xu G.J. et al., 2013).

В исследовании Т. Miyashita с соавторами (2012) отмечено, что при некоторых внутриканальных костных фрагментах декомпрессия может быть не обязательна: при фиксации в исходном положении без репозиции и декомпрессии у ряда пациентов наблюдалось ремоделирование канала и неврологическое восстановление в течение среднего наблюдения 39,6 месяцев. При средней компрессии канала 41,6% не выявлено корреляции между степенью компрессии и неврологическим дефицитом; у всех пациентов со стенозом более 30,0% через 2–3 недели наблюдалось ремоделирование канала. На заключительном этапе у всех пациентов с частичным нарушением спинальной проводимости наблюдалось улучшение как минимум на одну степень по Frankel.

При переломах в верхнепоясничном отделе с неврологическим дефицитом, когда ламинэктомия и ревизия содержимого канала не требуются, предложено выполнять декомпрессию через треугольник Камбина с погружением отломков в

сторону тела поврежденного позвонка (Zhang B. et al., 2019). Для прямой декомпрессии при переломах верхнего поясничного отдела использовали доступ Вильце (Zhang B. et al., 2019). Задний трансфораминальный доступ безопасен и биомеханически оправдан, поскольку рабочая зона получается без ретракции спинного мозга (Feng Z. et al., 2015). К недостаткам этого доступа относят сложности при остановке кровотечения из эпидуральных вен и ограниченную визуализацию при ликворее во время декомпрессии (Li C. et al., 2017).

Для открытой декомпрессии после ламинэктомии предложены специальные инструменты, позволяющие вдавливать костные фрагменты в тело позвонка (Deng Z. et al., 2014). Применяют также трансдуральное вправление фрагментов, выступающих в позвоночный канал (Saruta W. et al., 2021). Сравнение не прямой и прямой открытой декомпрессии при осложненных и неосложненных переломах типа A4 по классификации AOSpine не выявило существенных клинических и рентгенологических различий (Kose K.C. et al., 2020).

Одно из новых направлений в хирургии позвоночника — сочетание эндоскопической и навигационной технологий с применением 3D-моделирования позвоночного столба непосредственно в операционной (Крылов В.В. с соавт., 2014). Минимально инвазивные методы позволяют выполнить чрескожную фиксацию и расправление тела позвонка (Бывальцев В.А. с соавт., 2019). С помощью эндоскопической техники возможно выполнение как декомпрессии, так и фиксации (Hoffmann C. et al., 2020; Huang Z. et al., 2020).

1.6 Современные подходы к изучению транспедикулярной фиксации при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника

Переломы позвонков нижнегрудного и поясничного отделов являются одними из наиболее распространенных видов травм позвоночника, в значительном числе случаев требующих хирургического лечения с применением стабилизирующих конструкций. Методы задней фиксации позвоночника развивались на протяжении нескольких десятилетий. Подробно этапы

совершенствования фиксации позвоночника изложены в работах ряда авторов (Макаревич С.В., 2018; Михайловский М.В., 2020; Malhotra D. et al., 2014).

Внутренняя винтовая фиксация, разработанная Рой-Камилом в 70-х годах прошлого века, заложила основу одного из современных направлений транспедикулярной фиксации (ТПФ) с применением пластин. Для редукции позвонка впервые были использованы педикулярные винты (Harrington P.R., Tullos H.S., 1969). С 1970 года F. Magerl разрабатывал биомеханическую концепцию наружной ТПФ на основе винтов Шанца и пластинчатых имплантатов (Magerl F., 1985). В нашей стране с начала 1990-х годов это направление также развивалось в РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия им. Г.А. Илизарова», Казанском и Уральском НИИТО (Глазырин Д.И. с соавт., 1994; Шевцов В.И. с соавт., 1995; Лавруков А.М., Томилов А.Б., 2002; Бердюгин К.А. с соавт., 2013).

Разработанные наружные транспедикулярные системы позволяли достигать дозированной многоплоскостной коррекции с прочной фиксацией репозированного сегмента позвоночника. Однако, несмотря на преимущества, наружная система не получила широкого распространения из-за потенциального риска осложнений и особенностей ведения пациентов. В 1982 году W. Dick впервые применил внутреннюю стержневую транспедикулярную фиксацию, получившую название «fixateur interne», что стало основой для дальнейшей разработки внутренних стержневых конструкций (Dick W., 1987). Один из таких фиксаторов вошел в серийное производство под названием «фиксатор АО». В этом же году появилась внутренняя стержневая транспедикулярная система, разработанная P. Kluger, где фиксатор представлен телескопическими штангами (Kluger P., 1989). Почти одновременно в США развивалась ТПФ на основе пластин и стержней, получившая распространение как внутренний фиксатор Steffee (Steffee A.D., 1986).

Все разработанные внутренние транспедикулярные фиксаторы позволяли проводить полноценную репозицию позвоночника, но прочность фиксации основных узлов оставалась низкой. Усовершенствование узла фиксации французскими ортопедами Y. Cotrel и J. Dubousset положило начало следующему этапу развития транспедикулярного остеосинтеза (Cotrel Y. et al., 1988).

В дальнейшем в нашей стране начали активно развиваться имплантаты для внутренней фиксации на основе транспедикулярных винтовых систем. В 1988 году в СССР на базе Белорусского НИИТО был разработан и внедрен внутренний транспедикулярный фиксатор позвоночника на резьбовых стержнях (Воронович И.Р. с соавт., 1991). Среди первых отечественных стержневых транспедикулярных имплантатов следует выделить устройство для педикулокорпорального остеосинтеза, разработанное В.Д. Усиковым в 1995 году (Усиков В.Д. с соавт., 1996).

Постепенно транспедикулярная фиксация легла в основу лечения нестабильных переломов позвоночника грудного и поясничного отделов как в нашей стране, так и за рубежом (Усиков В.Д., 1998; Бердюгин К.А., 2013; Кузьменко А.В., 2017; Лихачев С.В. с соавт., 2021; Szkoda-Polizuk K., Załuski R.A., 2022). Превосходство этой системы фиксации с точки зрения биомеханических свойств, возможности проведения интраоперационной коррекции деформации, создания благоприятных условий для сращения позвонка и ранней реабилитации неоднократно отмечалось авторами (Макаревич С.В., 2018).

Протяженность транспедикулярной фиксации определяется характером морфологического повреждения позвоночника, объемом оперативного лечения и восстановлением размеров поврежденного тела позвонка (Усиков В.Д., 2006; Wang X.Y. et al., 2008). Различают короткосегментарную и длинносегментарную ТПФ. Короткосегментарная фиксация охватывает один (моносегментарная) или два (бисегментарная) поврежденных двигательных сегмента (ПДС) (La Maida G.A. et al., 2016). Применяемая короткосегментарная ТПФ имеет преимущества за счет уменьшения доступа, времени операции и меньшего вовлечения двигательных сегментов (Васильченко П.П., 2012; Lindtner R.A. et al., 2018).

Хорошо зарекомендовала себя временная моносегментарная чрескожная фиксация при дистракционных повреждениях (Kitamura K. et al., 2022). Цель фиксации – сращение сломанного позвонка, а не соединение позвонков друг с другом. При двухсегментарной короткой фиксации используется 4–6 винтов, что считается оптимальным методом. Несмотря на сообщения о

неудовлетворительных результатах короткого сегмента, она остается предпочтительной при большинстве травм груднопоясничного отдела благодаря простоте выполнения и приемлемым клиническим результатам (Jindal R. et al., 2020).

Стендовые испытания показали, что коэффициент жесткости при четырехвинтовой фиксации был ниже физиологических образцов на 39% при дефекте 1/6 тела позвонка и на 63% при дефекте 1/3 тела позвонка (Wang X.Y. et al., 2008). Показанием к короткосегментарной фиксации являются переломы типа А3 (Паршин М.С., 2019), тогда как при повреждениях типов А4, В и С T.G. Perry с соавт. (2014) не рекомендуют ее использование.

Разные модификации короткосегментарной фиксации снизили частоту осложнений. Введение винтов в поврежденный позвонок называют промежуточной фиксацией (Ye C. et al., 2017). Клинико-экспериментальные исследования подтверждают целесообразность использования промежуточных винтов (Dobran M. et al., 2016). Биомеханическое моделирование показало, что стабильность системы с промежуточными винтами выше стандартных конструкций (Лихачев С.В. с соавт., 2021).

При моделировании разных компоновок промежуточная фиксация укрепляет конструкцию и позволяет использовать ее при переломах типов А4, В и С (Yaman O. et al., 2021). V. Bartanusz с соавт. (2015) показали, что короткий сегмент с промежуточными винтами эквивалентен комбинированному переднезадним конструкциям. H.S. Kim с соавт. (2009) отметили, что фиксация дополнительной пары винтов на уровне перелома сопоставима или превосходит длинный сегмент, сохраняя подвижность смежного сегмента. ТПФ с промежуточными винтами обеспечивает хорошую коррекцию кифотической деформации, повышает стабильность конструкции и снижает потери угла Кобба и поломки имплантатов (Elmasry S. et al., 2017). Метаанализ показал, что отдаленные рентгенологические результаты лучше при длинной фиксации, клинические – сопоставимы (Aly T.A. et al., 2017). В связи с доказанным повышением жесткости конструкции с промежуточными винтами стали активно применяться (Pellisé F. et al., 2015;

Verheyden A.P. et al., 2018). Противопоказанием к постановке промежуточного винта, по мнению R.M. Kanna (2015), является перелом корня дужки позвонка. Повысить прочность задней фиксации можно и за счет добавления дополнительной крючковой фиксации (Kanna R.M. et al., 2015).

При оперативном лечении больных с оскольчатыми переломами позвонков грудопоясничной локализации транспедикулярную фиксацию с моностеральным введением промежуточных винтов в поврежденные позвонки можно рассматривать как перспективную технологию (Лихачев С.В. с соавт., 2021). Моностеральное введение облегчает доступ к поврежденному сегменту при дополнительном вентральном вмешательстве, поэтому при предпочтении авторов правостороннего переднебокового доступа в грудопоясничном отделе промежуточные винты вводились слева. Использование одного или двух промежуточных винтов не оказало статистически значимого результата на исходы лечения (Zhang H. et al., 2022).

Повысить стабильность шестивинтовой конструкции можно и за счет проведения промежуточных винтов через наружную стенку корней дуг, чтобы обеспечить большую фиксацию в кортикальной кости (Guo H. et al., 2021). Траектория введения винта, по данным разных авторов, также улучшает биомеханические характеристики конструкции, и следует стремиться к большей конвергенции винтов (Kose K.C. et al., 2014; Spiegl U.J. et al., 2021). Экстрапедикулярная установка винта полностью или частично приводит к его прорезыванию и потере коррекции во фронтальной плоскости (Шульга А.Е. с соавт., 2015). Смонтированная в таком виде конструкция уже первоначально становится недостаточно стабильной, приводит к нарастанию микроподвижности за счет резорбции костной ткани вокруг винтов (Говенько Ф.С. с соавт., 2012; Монашенко Д.Н. с соавт., 2016).

Основные параметры стабильности остеосинтеза – жесткость и предел упругости костно-металлического блока. Трех- и четырехсегментарная фиксация может привести к чрезмерной жесткости (на 25–30% выше физиологической при сжатии и на 60% при сгибании) (Szkoda-Polizuk K., Załuski R.A., 2022).

Четырехсегментная фиксация ограничивает движение сильнее двух соседних сегментов. На модели перелома ThXII коэффициент жесткости между трех- и четырехсегментарной фиксацией существенно не отличался. Использование четырех винтов снижало жесткость по сравнению с физиологическими образцами при сгибании на 41%, а фиксация трех и четырех сегментов увеличивала коэффициент жесткости примерно на 73%. Коэффициент осевой жесткости физиологических образцов составил 453 ± 58 Н/мм. Трехсегментарная фиксация является компромиссным решением, уменьшая жесткость двигательных сегментов (Szkoda-Poliszuk K., Załuski R.A., 2022).

Протяженная ТПФ применяется при нестабильных переломах типа A4 (Паршин М.С., 2019), В и С, верхне- и среднегрудного отдела (Spiegel U.J. et al., 2021), а также при остеопорозе (Wu Y. et al., 2019). Включение винтов на уровне перелома в длинных конструкциях снижает жесткость и повышает подвижность смежных сегментов, но распределяет нагрузку равномернее (Elmasry S. et al., 2017). М. McDonnell с соавт. (2016) показали, что винты на уровне перелома не повышают стабильность короткой или длинной фиксации (McDonnell M. et al., 2016).

Поперечные штанги обеспечивают стабильность при осевом вращении, но меньше влияют на сгибание-разгибание и наклоны (Piccone L. et al., 2020). Биомеханические свойства изучены на конечно-элементных моделях поясничного отдела. Их применение неэффективно при односегментарном остеосинтезе, но полезно при многосегментарном; среднее или нижнее положение штанг обеспечивает лучшую стабильность (Han L. et al., 2022). Штанги ставятся при всех переломах типа С (Wang T.N. et al., 2020).

Для лучшей стабильности конструкции педикулярные винты должны иметь оптимальную длину, быть проведены параллельно верхней замыкательной пластинке, до передней кортикальной пластинки тела позвонка (F. Pellisé et al., 2015). Изменение траектории проведения винта в ножке было разработано в качестве альтернативы традиционной траектории (Amaral R. et al., 2020). Данная траектория имеет более плотный контакт резьбы с кортикальной костью до тела

позвонка, винты более короткие, меньше скелетируются мышцы, предотвращается повреждение верхнего фасеточного сустава.

На качество ТПФ влияет минеральная плотность кости (Леонова О.Н. с соавт., 2022). По СКТ плотность 135 НУ – порог между нормой и сниженной; выраженность остеопороза коррелирует с потерей коррекции (Рерих В.В., Синявин В.Д., 2022).

Биомеханическая прочность используемой транспедикулярной конструкции зависела от формы винта и его сердечника, профиля резьбы, наружного диаметра винта и глубины его проникновения в тело позвонка (Liu F.Y. et al., 2020; Weidling M. et al., 2022). Хорошо зарекомендовали себя винты со смешанной резьбой (Seng W.R.D. et al., 2019). Установка винтов диаметром, не соответствующем размеру ножки позвонка, способствует процессу резорбции и ослаблению фиксации, а многократное формирование канала для винта и его постановка в сломанную ножку приводит к нестабильности ТПФ (Бердюгин К.А. с соавт., 2010; Валеев И.Е., Валеев Е.К., 2013). Появление на спондилограммах резорбционного ареола в зоне контакта винта и костной ткани – один из первых признаков ослабления фиксации. Частота дестабилизации транспедикулярного остеосинтеза за счет резорбции вокруг винтов колеблется от 1,7 до 9,0% (Бердюгин К.А. с соавт., 2012).

Полиаксиальные винты повышают потерю коррекции деформации по отношению к моновинтам (Spiegel U.J. et al., 2021). Анализ методом конечных элементов показал, что транспедикулярная конструкция с полиаксиальными винтами создает меньшее напряжение в винтах и более низкое давление в соседнем диске, чем моноаксиальная (Wang H. et al., 2017). Введение промежуточного полуаксиального винта под наклоном 10–20 градусов к нижней замыкательной пластинке улучшает биомеханическую стабильность конструкции по отношению к короткому прямому винту (Xiong C. et al., 2020). Прогрессирование кифоза происходит как при короткой, так и при длинной транспедикулярной фиксации (Aly T.A., 2017). Так как основная нагрузка при фиксации ложится на транспедикулярную систему, для минимизации осложнений применяют

дополнительную стабилизацию вентрального отдела позвоночника. Гибридные системы с динамическими функциями соседнего сегмента после заднего спондилодеза были разработаны для снижения механического напряжения и профилактики патологии соседнего сегмента. Однако их эффективность по-прежнему вызывает споры (Tachibana N. et al., 2017).

Технические сложности могут возникать при проведении транспедикулярных винтов и оставаться даже при тщательном предоперационном планировании. Связано это с размерами корней дуг, нахождением точки введения, траекториями введения винтов в сагиттальной и аксиальной плоскостях (Hussain I. et al., 2020). Так, при диаметре корня дуги в 5 мм частота отклонения винта от ножки составляет 33,0%, а при диаметре 5–7 мм – 11,0% (Gonzalvo A. et al., 2015). При установке винтов необходимо придерживаться анатомических ориентиров, что делает фиксацию безопасной и биомеханически более стабильной.

Предполагаемыми причинами неудач при задней фиксации были: некачественные металлоимплантаты, технически несовершенная конструкция для фиксации или винты и штанги малого диаметра, а также повреждение задних структур позвоночника и чрезмерная нагрузка на винты при дистракции (Усиков В.В., 2006; Млявых С.Г., Морозов И.Н., 2008; Мартикян А.Г., Гринь А.А., 2018; Яриков А.В. с соавт., 2019; Seng W.R.D. et al., 2019; Weidling M. et al., 2022). Причинами данных осложнений бывают дефекты в крепеже винтов к штангам (перекос или недотягивание гайки), остеопороз (приводит к подвижности транспедикулярных винтов), избыточная дистракция позвоночника (Бердюгин К.А. с соавт., 2012; Валеев И.Е., Валеев Е.К., 2013; Гринь А.А. с соавт., 2014).

Поломка и ослабление транспедикулярного винта являются наиболее распространенными осложнениями, влияющими на стабильность позвоночника. Для снижения риска несостоятельности фиксации необходимы полисегментарные конструкции с большим количеством точек фиксации (Lindtner R.A. et al., 2018).

Хорошие результаты получены при использовании для фиксации моноаксиальных винтов диаметром 7 мм (Kose K.C., et al., 2014), а часто

используемый диаметр винтов и штанг для ТПФ – от 5,0 до 6,5 мм (Piccone L. et al., 2020; Szkoda-Poliszuk K., Załuski R., 2022).

В настоящее время чрескожная транспедикулярная фиксация является эффективным минимально инвазивным методом лечения пациентов с травматическими компрессионными переломами тел позвонков типов А2 и А3 (Бывальцев В.А., Калинин А.А., 2017). На основе усовершенствованного дорсального межмышечного минидоступа разработана транскутанно-открытая методика имплантации винтов, позволившая уменьшить дозу интраоперационного рентгеновского облучения в 2,1 раза в сравнении с транскутанным способом имплантации (Грибанов А.В., 2018). Какой-либо существенной разницы в восстановлении высоты позвонка или коррекции кифоза между открытой и малоинвазивной хирургией не выявлено (Carazzo S.A. et al., 2021). При чрескожной фиксации получены небольшие преимущества только в остром периоде (Малыгин В.Н. с соавт., 2012). Открытая фиксация является все же лучшим вариантом с учетом облучения, затрат на лечение, необходимости специального оборудования с кривой обучения (Fan Y. et al., 2017).

Однако жесткая фиксация приводит к ряду осложнений. В качестве причин осложнений можно выделить: разрушение винтов или балок; резорбцию костной ткани вокруг винтов с потерей стабильности поврежденного отдела позвоночника; лизис костной ткани поврежденного позвонка; развитие псевдоартроза (Усиков В.В., Усиков В. Д., 2006; Бердюгин К.А., Каренин. К.А., 2010). Переломы транспедикулярного устройства происходят в первый год, причем 90,0% приходится на первые 6 месяцев (Mohi Eldin M.M., Ali A.M., 2014).

К недостаткам ригидной фиксации относится и развитие дегенеративно-дистрофических процессов в смежных со стабилизированным сегментах позвоночника. По данным В.И. Martin с соавторами (2007), дегенеративные изменения в смежных сегментах за счет компенсаторной перегрузки возникают в среднем через 5 лет в 89,0% случаев, причем чаще страдает верхний сегмент. Повышенная жесткость на фиксированном сегменте позвоночника повышает кинематические и механические нагрузки на соседние сегменты, что можно было бы логически

постулировать в качестве основных причин ускоренной дегенерации соседних сегментов. Протяженность фиксации является фактором, наиболее значимо связанным с патологией смежного сегмента (Zhang C. et al., 2016).

1.7 Резюме

Анализ современной отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о многообразии подходов к хирургическому лечению пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. В большинстве исследований хирургическое вмешательство рассматривается как многоэтапный процесс, включающий восстановление биомеханической оси позвоночника, декомпрессию структур позвоночного канала и обеспечение стабильной фиксации повреждённого сегмента.

Для планирования лечения и оценки его результатов применяются морфометрические и рентгенологические параметры, основанные преимущественно на измерении вертикальных размеров повреждённого тела позвонка и расчёте коэффициента стеноза позвоночного канала. Вместе с тем указанные показатели не отражают комплексного характера повреждений, включающих смежные межпозвоночные диски. Оценка сагиттального профиля повреждённого отдела позвоночника с использованием позвоночно-тазовых параметров у пациентов с осложнённой травмой затруднена, а исследования, выполненные в положении лёжа, не позволяют достоверно оценить индивидуальный сагиттальный профиль пациента. Оценка локальной деформации по методу Cobb является общепринятой, однако использование различных методик измерения угловых параметров снижает сопоставимость и воспроизводимость результатов.

В проанализированных источниках отсутствуют исследования, посвящённые количественной оценке повреждения морфологического комплекса, включающего тело позвонка и смежные межпозвоночные диски, несмотря на закономерность их повреждения при одноуровневых переломах позвоночника. В клинической

практике восстановление биомеханической оси позвоночника осуществляется с использованием расчёта сагиттального индекса, эталонных значений угловых параметров либо эмпирических подходов, что при выраженном анатомическом разнообразии строения позвоночника обуславливает существенные погрешности. Математические модели виртуального восстановления положения позвоночника, включая технологии с применением инерциальных датчиков, до настоящего времени не получили широкого клинического внедрения.

Выбор способа восстановления формы позвоночного канала ориентирован на минимизацию травматичности хирургического вмешательства, чему способствует применение транспедикулярных систем с использованием эффекта лигаментотаксиса. Вместе с тем большинство применяемых репозиционных устройств не предусматривает непосредственного вовлечения повреждённого позвонка в процесс репозиции, что снижает её эффективность и обуславливает необходимость конструктивного совершенствования существующих систем. Существенное значение на этапе репозиции приобретает интраоперационная объективная оценка восстановления повреждённого сегмента с учётом данных индивидуального предоперационного планирования.

Несмотря на значительный прогресс в развитии технологий фиксации позвоночника, частота осложнений после остеосинтеза остаётся высокой. Установка транспедикулярных винтов на уровне повреждения при короткосегментарной фиксации по показателям жёсткости сопоставима с длинносегментарной фиксацией или эквивалентна комбинированным передне-задним конструкциям, при этом устойчивость фиксации в значительной степени определяется параметрами установки винтов.

Совокупность выявленных ограничений и нерешённых вопросов, связанных с отсутствием унифицированного подхода к количественной оценке повреждённого позвоночного сегмента как единой морфологической структуры, определяет актуальность настоящего исследования и обосновывает необходимость разработки интегральных морфометрических критериев оценки повреждений позвоночника.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика диссертационного исследования

Для решения поставленных в диссертации задач был разработан последовательный многоэтапный дизайн исследования, включающий шесть взаимодополняющих этапов, каждый из которых обеспечивал решение конкретной методологической задачи и формировал основу для последующих исследований.

1-й этап – аналитико-обзорный

На первом этапе проведено изучение отечественных и зарубежных публикаций, посвящённых морфометрическим исследованиям позвоночника и вопросам хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов. Анализ научных источников позволил уточнить актуальность темы, определить цели и задачи исследования, а также спланировать последующие этапы — морфометрический, стендовый и клинический. В ходе углублённого анализа литературы не выявлено исследований, в которых единым морфометрическим параметром оценивалась бы высота блока, состоящая из тела позвонка и двух смежных межпозвоночных дисков. Это определило необходимость разработки новых анатомо-морфометрических подходов и терминологических понятий.

2-й этап – морфометрический

На втором этапе впервые было введено понятие «позвоночно-дисковый комплекс» (VDC) — структурный блок, включающий тело позвонка и два смежных межпозвоночных диска. Для количественной характеристики его геометрии предложено использовать показатели передней и задней высоты VDC — Anterior/Posterior Vertebral Disc Complex Height (A-VDCH, P-VDCH), что соответствует современным международным стандартам терминологии. В наших ранних работах этот комплекс обозначался как межтеловой промежуток, а его передняя и задняя высота — как Mta и Mtp соответственно.

Морфометрическое исследование выполнено по данным СКТ неповреждённого грудного и поясничного отделов позвоночника 25 человек. На

основе предложенной модели «здорового» позвоночника (три тела позвонков и четыре смежных межпозвоночных диска) разработана методика математических расчётов исходных вертикальных параметров VDC и сегментарного угла, оцениваемого в пределах единого комплекса.

Целевыми параметрами исследования стали величины VDC и сегментарного угла, рассчитанные на основании проведенной морфометрии. Для проверки достоверности расчётов разработанной методики сформированы три группы:

1. Фактические измерения параметров VDC и сегментарного угла.
2. Расчётные значения, полученные на основании индивидуальных размеров тел позвонков и межпозвоночных дисков.
3. Расчётные значения, полученные на основе индивидуальных размеров тел позвонков и средних размеров дисков, взятых из данных литературы для пациентов сопоставимого возраста и пола.

Третья группа была введена для оценки влияния индивидуальной вариабельности межпозвоночных дисков на точность расчётов.

В целом проведенные морфометрические исследования на неповрежденном грудном и поясничном отделах позвоночника, направленные на разработку методики предоперационного планирования с расчетом основных целевых показателей, позволили решить первую задачу диссертационной работы.

3-й этап – клинико-морфометрическое исследование

Третий этап был посвящен клинико-морфометрическому исследованию повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника с целью выявления факторов, влияющих: на восстановление вертикальных размеров тела повреждённого позвонка, на эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала.

В рамках этапа разрабатывалась и совершенствовалась методика интраоперационного восстановления рассчитанных параметров, а также создавалась специальная компьютерная программа для расчёта исходных линейных и угловых показателей на уровне повреждения.

Модуль клинико-морфометрического исследования включал:

- ретроспективный анализ 50 пациентов с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника с данными СКТ до и после операции. Оценивалось влияние факторов, величин VDC и сегментарного угла на восстановление вертикальных размеров повреждённого позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала.

- ретроспективный анализ 45 пациентов с одноуровневыми повреждениями на уровне L1 позвонка с данными СКТ до и после операции. Изучалось влияние размеров и положения внутриканальных костных фрагментов на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала.

Методика интраоперационного восстановления рассчитанных параметров VDC и сегментарного угла основана на дозированной аппаратной репозиции позвоночника транспедикулярным устройством. Под контролем ЭОПа выполнялись измерения, необходимые расчеты и корректировка восстановления целевых показателей.

Результаты ретроспективного исследования пациентов с одноуровневыми повреждениями позвоночника грудной и поясничной локализации позволили решить вторую задачу исследования.

Разработка специальной компьютерной программы для расчетов исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения в грудном и поясничном отделах позвоночника с возможностью использования её в до-, интра- и послеоперационном периодах легли в основу решения третьей задачи нашего диссертационного исследования.

4-й этап – экспериментально-биомеханический

На четвёртом этапе проведено экспериментальное исследование прочностных характеристик продольных штанг из стали и титановых сплавов различного диаметра, используемых в транспедикулярных устройствах (ТПУ), а также оценка устойчивости фиксации методом математического моделирования при использовании данных штанг.

Исследование включало:

- стендовые испытания по международным стандартам ASTM F1717,

- математическое моделирование методом конечных элементов (ANSYS) на геометрической модели поясничного отдела.

Для определения оптимальных характеристик работоспособности ТПУ и устойчивости фиксации при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника на уровне LIII позвонка имитировали различные виды травм и заболеваний.

Результаты стендовых испытаний и математического моделирования методом конечных элементов позволили решить четвертую задачу диссертационного исследования.

5-й этап – разработка способа репозиции позвоночника

Следующий этап в рамках реализации плана диссертационной работы был посвящён усовершенствованию способа репозиции позвоночника при повреждениях грудного и поясничного отделов с использованием транспедикулярных устройств (ТПУ). Разработанный способ репозиции позвоночника позволил решить пятую задачу нашего исследования.

6-й этап – разработка и клиническая оценка усовершенствованной системы лечения

На данном этапе работы была проведена разработка алгоритма усовершенствованной системы лечения пациентов с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, объединяющий этапы морфометрии, предоперационного планирования и интраоперационного контроля, что легло в основу решения шестой задачи.

Также на завершающем этапе научно-исследовательской работы акцентируется внимание на особенностях лечения пациентов и проводится сравнительный анализ результатов хирургического лечения в двух репрезентативных группах, госпитализированных в разные временные периоды, а именно: до использования в предоперационном планировании математических расчетов и разработанного способа репозиции позвоночника ТПУ (120 пациентов – контрольная группа) и после их внедрения (108 пациентов – основная группа). Репрезентативные группы формировались по полу, возрасту, морфологии

повреждения, локализации и неврологическому статусу. При анализе эффективности лечения учитывались клинико-неврологические, рентгенологические и морфометрические результаты, а также причины развития осложнений и выработка мер по их профилактике и лечению.

Благодаря сравнительному анализу результатов хирургического лечения удалось решить седьмую задачу настоящего диссертационного исследования.

Всем 228 пациентам было выполнено хирургическое лечение, предусматривающее восстановление биомеханической оси позвоночника, декомпрессию содержимого позвоночного канала и надёжную стабилизацию повреждённого отдела. Во всех случаях коррекция и фиксация позвоночника осуществлялись с использованием транспедикулярной фиксации (ТПФ) производства «Синтез» (Санкт-Петербург). Применялись моноаксиальные винты диаметром 6 мм в среднегрудном отделе и 7 мм — в нижнегрудном и поясничном отделах. Формирование групп исследования представлено на блок-схеме (рис. 1).

Для клинико-морфометрического анализа и выявления факторов, влияющих на восстановление вертикальных размеров тела повреждённого позвонка и эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала, были отобраны 95 пациентов из контрольной группы.

Ближайшие клинико-неврологические результаты оценивались у всех пациентов. Ближайшие морфометрические показатели анализировались у 160 пострадавших, включавших по 80 пациентов основной и контрольной групп. Для оценки ближайших морфометрических результатов выполнялись расширенные морфометрические исследования и проводились математические расчёты целевых параметров. Ближайшие результаты лечения оценивались в сроки от момента выписки из стационара до 6 месяцев (рис. 2).

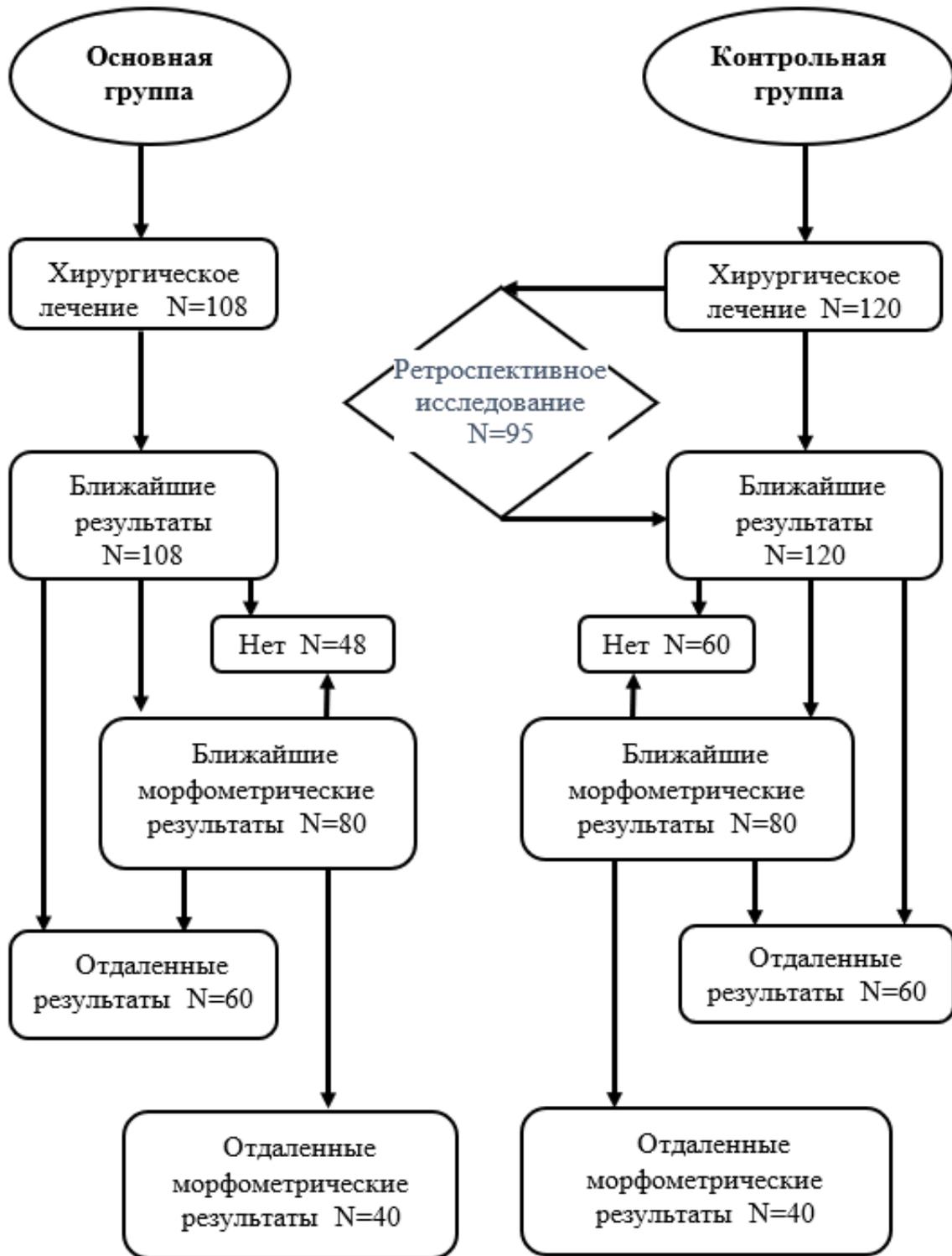


Рисунок 1 – Схема формирования основной и контрольной групп для исследования

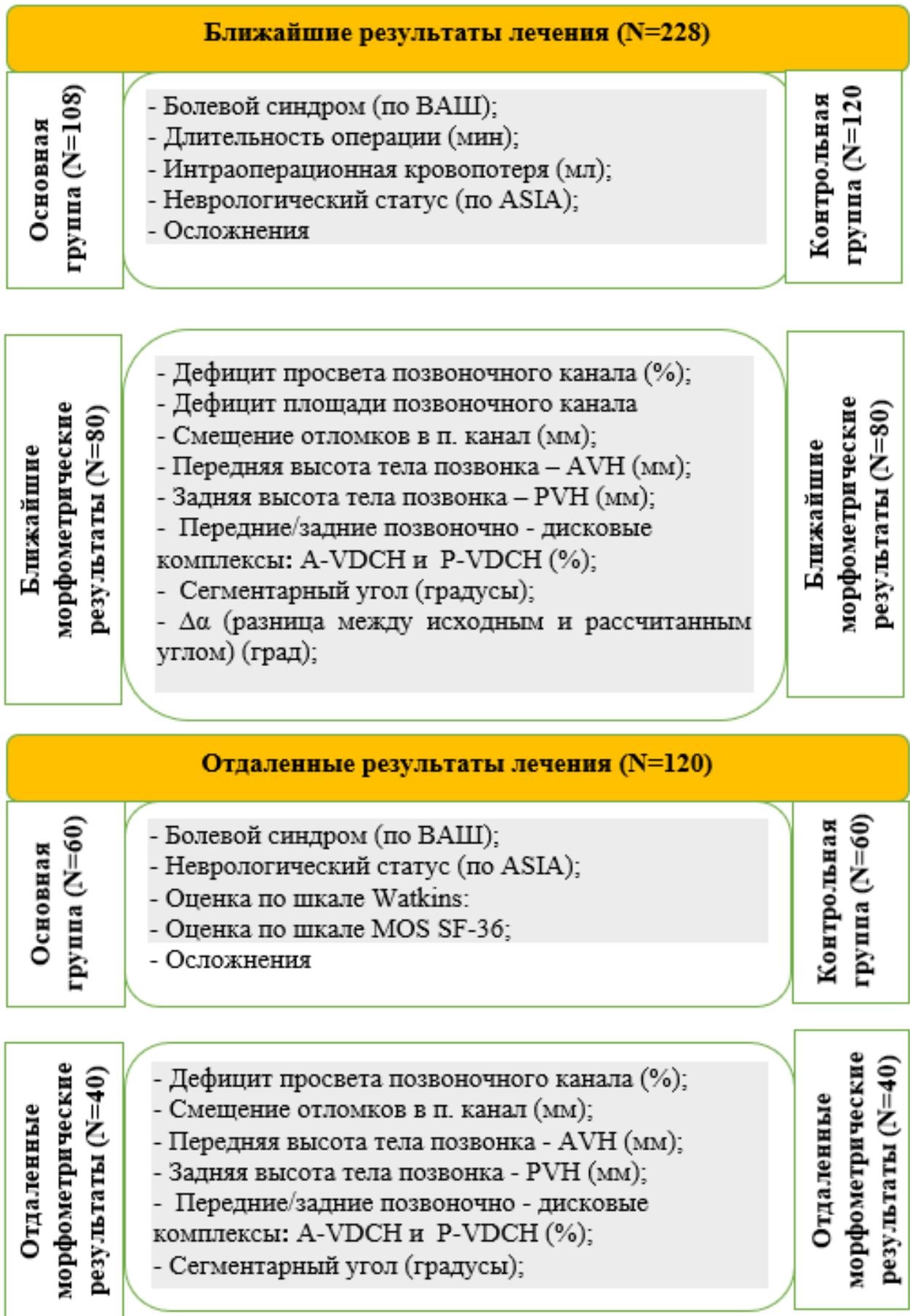


Рисунок 2 – Схема оценки ближайших и отдаленных результатов лечения

Оценка отдалённых результатов проводилась у 120 пациентов в период от 1 года до 19 лет (по 60 пациентов основной и контрольной групп). Средний срок наблюдения: в основной группе – $44,5 \pm 5,2$; в контрольной – $59,5 \pm 9,6$ месяцев. В отдалённом периоде анализировались клинико-неврологические исходы, выраженность болевого синдрома, а также экономический и функциональный статус по шкале R.G. Watkins. Качество жизни оценивали по опроснику SF-36. Отдалённые морфометрические результаты изучены у 80 пострадавших (по 40 пациентов в каждой группе).

2.2 Общая характеристика пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника

Клинический материал исследования основан на анализе 228 пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, оперированных в ГАУЗ «Брянская городская больница №1» в период с 2003 по 2023 гг. Материал включал ретроспективные и проспективные наблюдения, что обеспечило полноту оценки результатов.

Критерии включения:

- мужчины и женщины в возрасте от 16 до 70 лет;
- одноуровневые повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника;
- изолированные и сочетанные повреждения;
- морфологические типы повреждений (АО Spine): A2, A3, A4, B, C;
- неврологический статус (ASIA): A, B, C, D, E.

Критерии невключения

- нетравматические переломы;
- многоуровневые повреждения;
- врожденные аномалии развития или деформации позвоночника;
- ранее выполненные операции на позвоночнике.

Оперативные вмешательства у большинства больных выполнялись в остром (до 3 суток) и раннем (до 4-х недель) периодах по классификации позвоночно-

спинномозговой травмы. Большие сроки до выполнения оперативного вмешательства объяснялись объективными и субъективными причинами, которые автор не разделяет, но которые были в реальности. Сюда можно включить: несвоевременное обращение пациентов за медицинской помощью в лечебное учреждение и поздняя диагностика повреждений; почти половина пациентов являлись жителями области, и первоначально они были госпитализированы в ЦРБ; некоторые пациенты с сочетанной травмой первоначально нуждались в лечении у смежных специалистов (например, торокального хирурга), которые находились в структуре областной больницы, куда первоначально и попадал пациент и т.д. Так, в день получения травмы были госпитализированы только по 38 пациентов основной и контрольной групп. Медиана времени поступления в стационар после полученной травмы в основной группе составила 2,00 [0,00–9,00] (0,00–38,00), в а контрольной 2,50 [0,00–8,75] (0,00–41,00) дней.

Хирургическое лечение у всех больных предусматривало использование репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. Медиана возраста всех пациентов 38,50 [27,00–51,75] (16,00–70,00) лет, мужчин было – 129 (56,6 %), медиана возраста 38,00 [28,00–51,00] (16,00–69,00) лет; женщин – 99 (43,4 %), медиана возраста 39,00 [25,00–52,00] (16,00–70,00) лет.

В связи с особенностью применяемых нами лечебных подходов больные были разделены на две группы. Контрольная группа состояла из 120 пациентов, у которых применялись традиционные методы репозиционно-стабилизирующего ТПО. Из данной группы производился набор пациентов для ретроспективного анализа. В основную группу вошло 108 пациентов, у которых проводилось предоперационное планирование с математическими расчетами исходных размеров VDC и сегментарного угла, интраоперационное восстановление рассчитанных целевых параметров.

В данной группе применялись:

- усовершенствованный способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах в грудном и поясничном отделах позвоночника (патент РФ на изобретение № 2753133);

- интраоперационный контроль за восстановлением VDC и сегментарного угла по экрану монитора ЭОПа.

Основными принципами хирургического лечения пациентов явились стремление к раннему выполнению хирургической операции и одновременное выполнение нейрохирургического и ортопедического этапов.

В основной группе было 60 мужчин и 48 женщины, в контрольной группе – 69 мужчин и 51 женщина. На рисунке 3 представлено процентное соотношение мужчин и женщин.

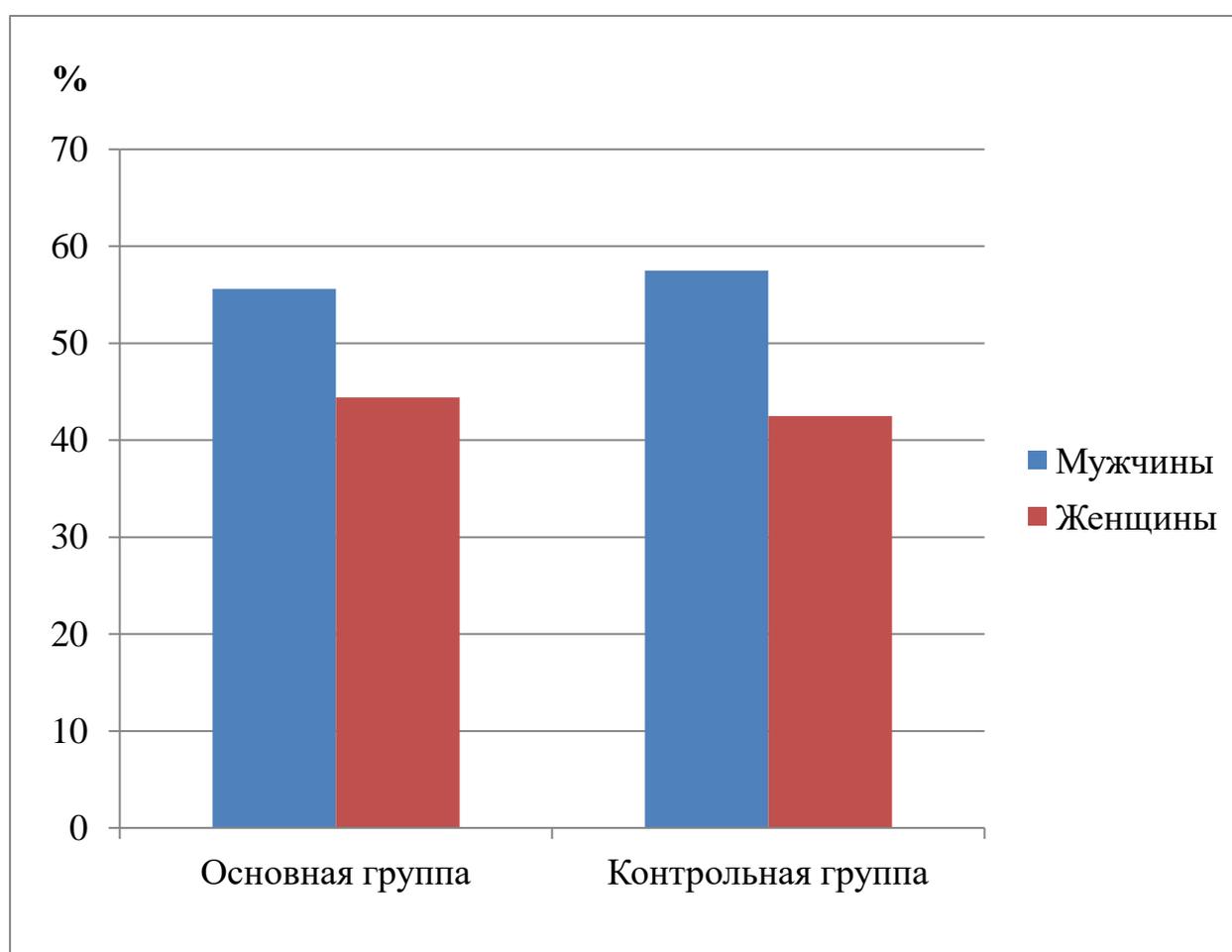


Рисунок 3 – Распределение пациентов по полу, проценты

Распределение больных основной и контрольной групп по полу и возрасту представлено в таблицах 1 и 2. Медиана возраста пациентов в основной группе 39,00 [28,00–52,00] (16,00–69,00) лет, в контрольной – 37,00 [25,00–51,00] (16,00–70,00) лет.

Таблица 1 – Распределение больных основной группы по полу и возрасту

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Итого
	абс.	%	абс.	%	
15–20	8	13,3	4	8,3	12
21–30	12	20,0	13	27,1	25
31–40	12	20,0	8	16,7	20
41–50	8	13,3	8	16,7	16
51–60	19	31,7	12	25,0	31
61–70	1	1,7	3	6,3	4
Всего	60	100	48	100	108

Таблица 2 – Распределение больных контрольной группы по полу и возрасту

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Итого
	абс.	%	абс.	%	
15–20	8	11,6	7	13,7	15
21–30	15	21,7	14	27,5	29
31–40	13	18,8	8	15,7	21
41–50	13	18,8	9	17,6	22
51–60	17	24,6	11	21,6	28
61–70	3	4,3	2	3,9	5
Всего	69	100	51	100	120

Превалирующим механизмом травмы было падение с высоты: падение с высоты до 3 метров (включая высоту собственного роста) – 74 (46,8%); с высоты 3–6 метров – 51 (32,3%); 6–9 метров – 17 (10,7%); 9–12 метров – 12 (7,6%); более 12 метров – 4 (2,5%) пациента.

Основные причины травм отражены на рисунке 4.

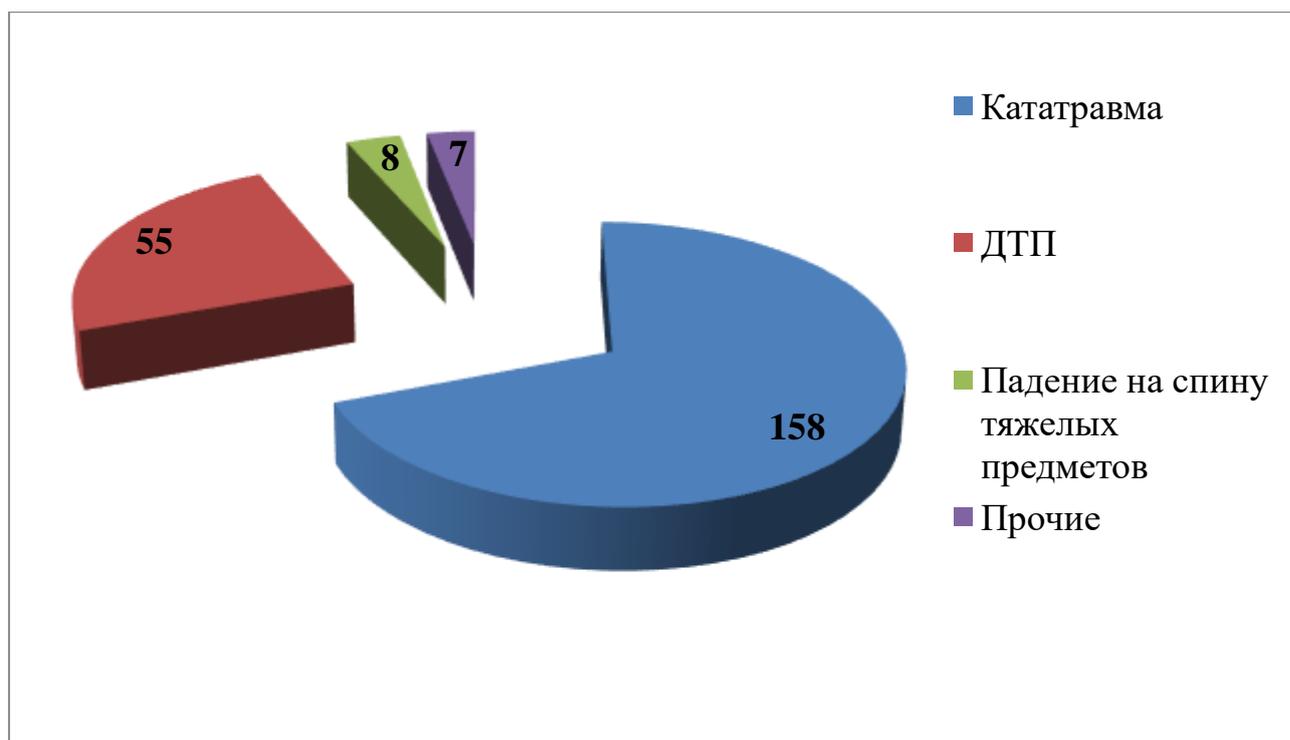


Рисунок 4 – Основные причины травм грудного и поясничного отделов позвоночника

Сочетанная травма была выявлена у 41 (37,9%) пациента основной группы и у 42 (35,0%) пациентов контрольной группы. Повреждение двух и более анатомических областей отмечено у 17 (12,5%) пациентов основной и у 28 (14,2%) пациентов контрольной группы. Тяжесть повреждений при сочетанной травме оценивалась по шкале ISS (Injury Severity Scale) (Baker S.P. et al., 1974) (приложение А). Значение ISS до 17 баллов отмечено у 33 пострадавших, от 17 до 25 баллов — у 40, а более 25 баллов — у 10 пациентов.

Морфологию повреждений костно-связочных структур оценивали по классификации AOSpine (Vaccaro A.R. et al., 2016) (приложение Б). Эта классификация основана на морфологической картине повреждения согласно данным компьютерной и магнитно-резонансной томографии и предполагает выделение повреждений позвоночно-двигательных сегментов (типы В и С) и переломов позвонков (тип А) с дальнейшим подразделением на подтипы, позволяет закодировать неврологический тип повреждения и клинические модификаторы. Тип А: переломы тел позвонков с возможным повреждением заднего опорного комплекса (при типах А3 и А4). Тип В: травма задней опорной колонны с

возможным переломом тел позвонков. Тип С: ротационные травмы, характеризующиеся смещением вышележащих структур относительно нижележащих по линии перелома. Неврологический статус оценивался следующим образом: N0 – неврологически интактный пациент; N1 – транзиторный неврологический дефект, регрессирующий к моменту клинического обследования; N2 – симптомы или неврологические признаки радикулопатии; N3 – неполное повреждение СМ или любая степень повреждения конского хвоста; N4 – полное повреждение СМ; NX – неврологический статус неизвестен. Модификатор M1 использовался для обозначения переломов с повреждением связочного аппарата на основе данных МРТ или клинического осмотра. Модификатор M2 использовался для обозначения специфической сопутствующей патологии, которая может влиять на тактику лечения (анкилозирующий спондилит, ревматоидный артрит, остеопороз, повреждение кожных покровов, ожоги и т. п.).

Распределение пациентов в соответствии с классификацией AOSpine представлено в таблицах 3 и 4. Превалирующим типом повреждения в исследуемой выборке являлся перелом типа А4.

Таблица 3 – Распределение больных основной группы по классификации AOSpine

Тип перелома	Мужчины		Женщины	
	абс.	%	абс.	%
A2	-	-	1	2,1
A3	5	8,3	15	31,2
A4	39	65,0	25	52,1
B1	1	1,7	1	2,1
B2	4	6,7	4	8,3
C	11	18,3	2	4,2
Всего	60	100,0	48	100,0

Таблица 4 – Распределение больных контрольной группы по классификации AOSpine

Тип перелома	Мужчины		Женщины	
	абс.	%	абс.	%
A2	-	-	1	1,9
A3	15	21,7	15	29,4
A4	34	49,3	23	45,2
B1	3	4,3	-	-
B2	7	10,1	4	7,8
C	10	18,3	8	15,7
Всего	69	100,0	51	100,0

Наиболее часто повреждения позвоночника у пациентов как основной, так и контрольной групп локализовались на уровне ThXII-LII. Уровни повреждения позвоночника в процентном соотношении представлены на рисунке 5. Причем, преимущественно повреждения отмечались на уровне LI у 49 (45,4%) пациентов основной и 68 (56,7%) пациентов контрольной группы.

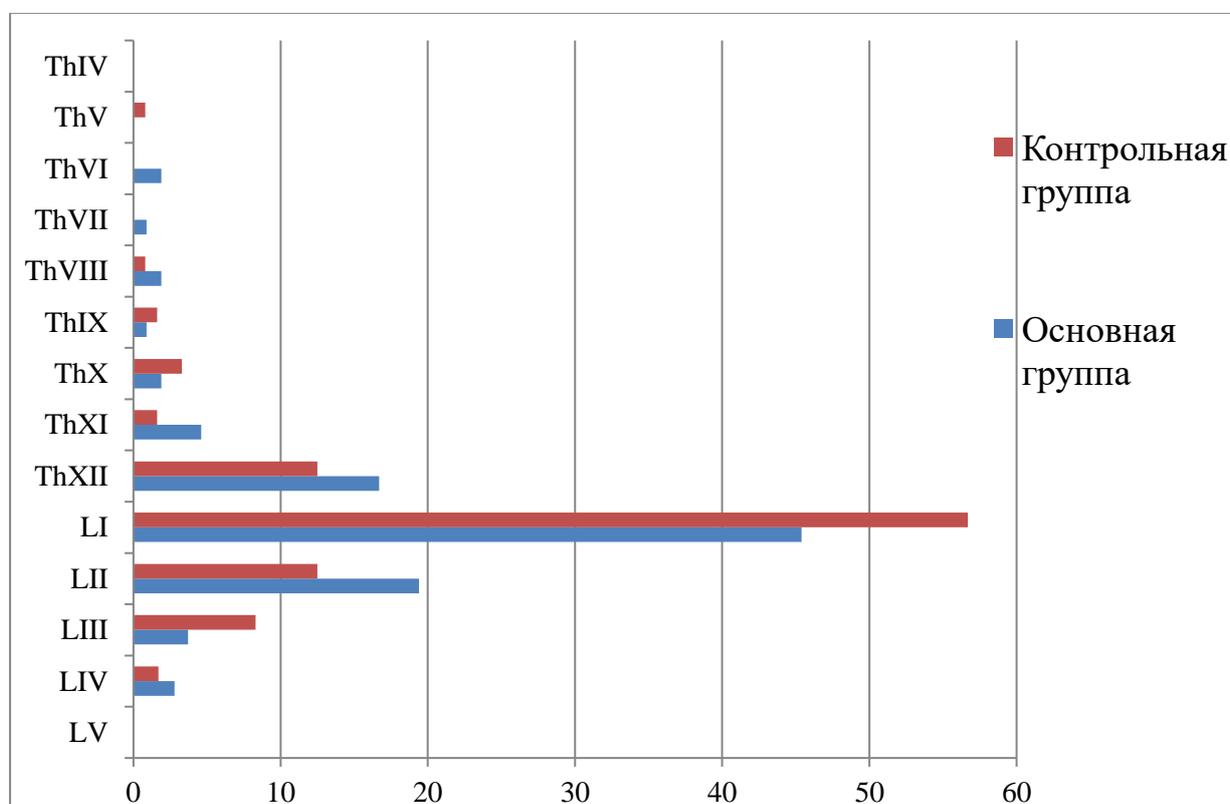


Рисунок 5 – Распределение больных основной и контрольной групп по уровням повреждения, проценты

Оценка тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника проводилась по классификации TLICS (Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score), разработанной группой Spine Trauma в 2005 г. (Vaccaro A.R. et al., 2005).

Классификация основана на трех ключевых критериях (приложение В):

- 1) морфология повреждения, определяемая рентгенографической картиной;
- 2) состояние заднего связочного комплекса;
- 3) неврологический статус пациента.

В 2016 г. A.R. Vaccaro с соавторами представили цифровую модификацию классификации AOSpine для оценки повреждений груднопоясничного отдела позвоночника (Vaccaro A.R. et al., 2016). На основании суммарного балла определялась тактика лечения: при значении менее 4 баллов рекомендовано консервативное лечение, при более 5 баллов — хирургическое вмешательство; при 4–5 баллах выбор метода лечения зависит от клинической ситуации, опыта хирурга и оснащённости стационара.

Средний балл по классификации TLICS составил $5,9 \pm 0,3$ в основной группе и $6,1 \pm 0,4$ — в контрольной (табл. 5).

Таблица 5 – Оценка тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника по классификации TLICS в двух группах

Тяжесть травмы, баллы	Основная группа (n=108)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
5	41	37,9	46	38,3
6	45	41,7	38	31,7
7	11	10,2	20	16,7
8	5	4,6	7	5,8
9	6	5,6	9	7,5
Всего	108	100,0	120	100,0

Характер вертебро-медуллярного конфликта определялся степенью травматического стеноза (дефицита просвета позвоночного канала), который

отмечался у всех пациентов основной и контрольной групп. Измерения выполнялись по данным СКТ. При поступлении дефицит просвета позвоночного канала варьировал от 16,0 до 100,0% его сагиттального размера (табл. 6).

Таблица 6 – Характеристика дефицита просвета позвоночного канала в двух группах

Дефицит просвета позвоночного канала, %	Основная группа (n=108)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
До 30	24	22,2	27	22,5
31–40	20	18,6	23	19,2
41–50	19	17,6	21	17,5
51–60	25	23,1	26	21,7
61–70	13	12,0	14	11,7
71–80	6	5,6	7	5,8
81–90	1	0,9	1	0,8
91–100	–	–	1	0,8
Всего	108	100	120	100

Дефицит просвета позвоночного канала у 108 пациентов основной группы в среднем составил $41,6 \pm 4,7\%$, а в контрольной группе — $42,1 \pm 4,6\%$.

Учитывая, что у части больных выполнялась ламинэктомия, что затрудняет последующую оценку степени стеноза, дополнительно анализировали смещение костных фрагментов сломанного тела позвонка в просвет позвоночного канала. Этот параметр обозначен как X и измерялся как расстояние от линии, проведенной вдоль задней поверхности тел смежных позвонков, до наиболее смещённой точки костного фрагмента в просвете канала. Следует отметить, что величина смещения костных фрагментов не всегда коррелировала с величиной дефицита просвета канала. В основной группе показатель X перед операцией составил $6,9 \pm 0,8$ мм, в контрольной — $7,0 \pm 0,7$ мм.

Боль различного характера и интенсивности являлась наиболее частой жалобой у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. По характеру вертеброгенного болевого синдрома выделяли локальную, диффузную и корешковую боль. По степени выраженности боль

условно разделяли на незначительную, умеренную, выраженную и резко выраженную. Для оценки интенсивности болевого синдрома всем пациентам применялась визуальная аналоговая шкала (VAS) (приложение Г). Распределение интенсивности болевого синдрома по ВАШ представлено на рисунке 6. Медиана болевого синдрома по ВАШ при поступлении 7,00 [6,00-8,00] (5-9) баллов в основной группе и 6,00 [6,00-8,75] (5-10) — в контрольной.

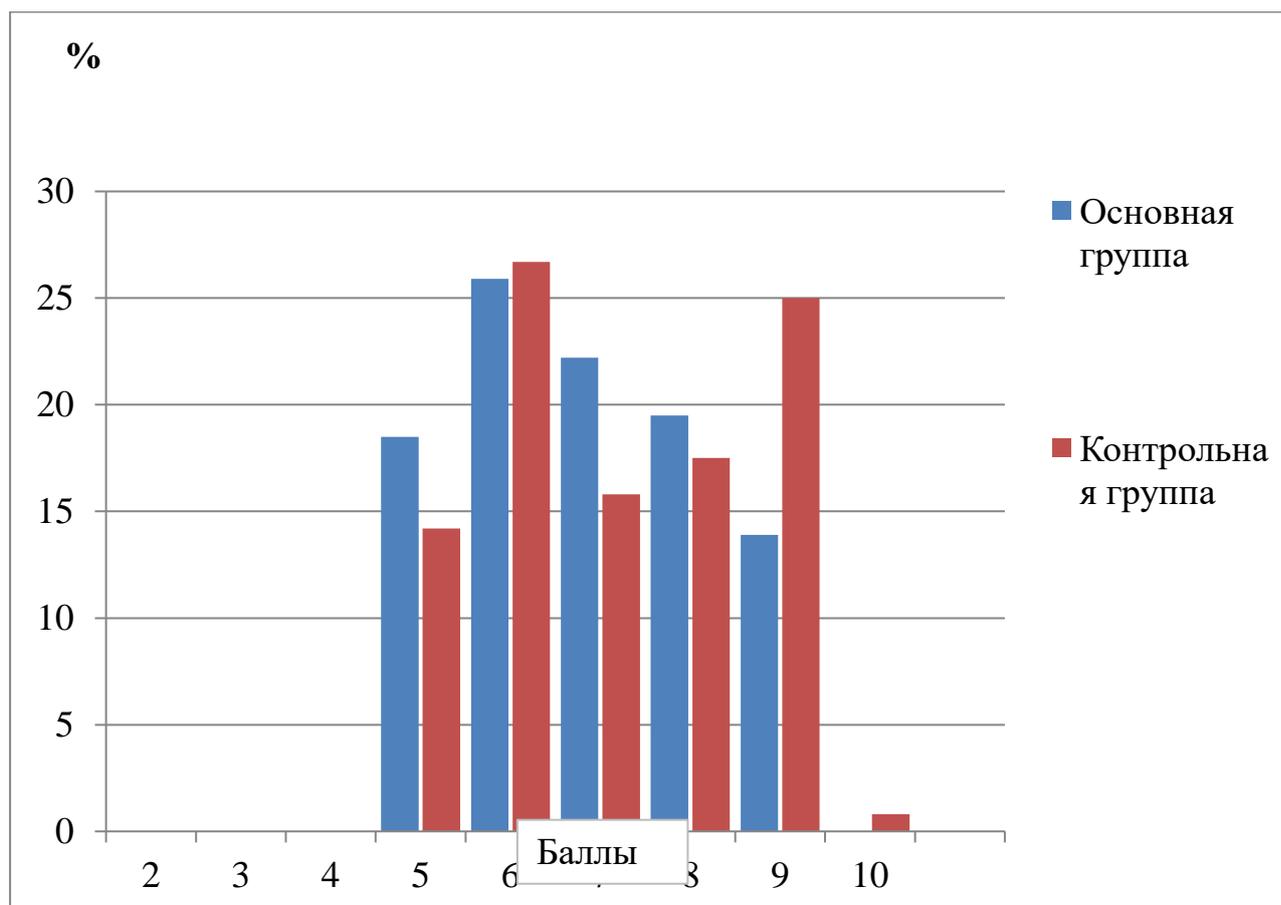


Рисунок 6 – Характеристика интенсивности болевого синдрома в спине в основной и контрольной группах по ВАШ (относительные показатели в %).

Кифотическая деформация определялась по срединному сагиттальному срезу КТ методом Cobb. Угол измерялся по ближайшим замыкательным пластинкам тел позвонков, смежных с повреждённым позвонком.

Локальный кифоз в травмированных ПДС в обеих группах был сопоставим и составлял $13,6 \pm 1,6^\circ$ в основной группе и $14,1 \pm 1,5^\circ$ — в контрольной.

Неврологический осмотр, прежде всего, был направлен на выявление нарушений проводимости спинного мозга и определение их глубины. Степень неврологического дефицита оценивалась по шкале повреждений спинного мозга ASIA / ISNCSCI – International standards for neurological and functional classification of spinal cord injuries (приложение Д).

В шкале выделено 5 степеней двигательных и чувствительных спинальных нарушений:

А — полное повреждение, отсутствие двигательной и чувствительной функции, в том числе в сегменте S4-S5;

В — полное отсутствие двигательной функции, но сохранение чувствительности, включая сегмент S4-S5;

С — двигательная функция ниже неврологического уровня сохранена, но более половины ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют силу менее 3 баллов;

Д — двигательная функция ниже неврологического уровня сохранена, и по крайней мере половина ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют силу 3 балла и более;

Е — неврологических нарушений нет.

У 8 пациентов основной группы и 8 пациентов контрольной группы отмечалось полное нарушение спинальной проводимости — степень А по ASIA. Неврологические нарушения степени В выявлены у 2 пациентов основной и 4 пациентов контрольной группы. Степень С диагностирована у 26 пострадавших в основной группе и у 28 — в контрольной. Нарушения степени Д отмечены у 16 пациентов основной группы и 17 — контрольной. Отсутствие неврологического дефицита зарегистрировано у 56 пациентов основной и 63 пациентов контрольной группы. Распределение пациентов по степени неврологических нарушений в процентном соотношении представлено на рисунке 7.

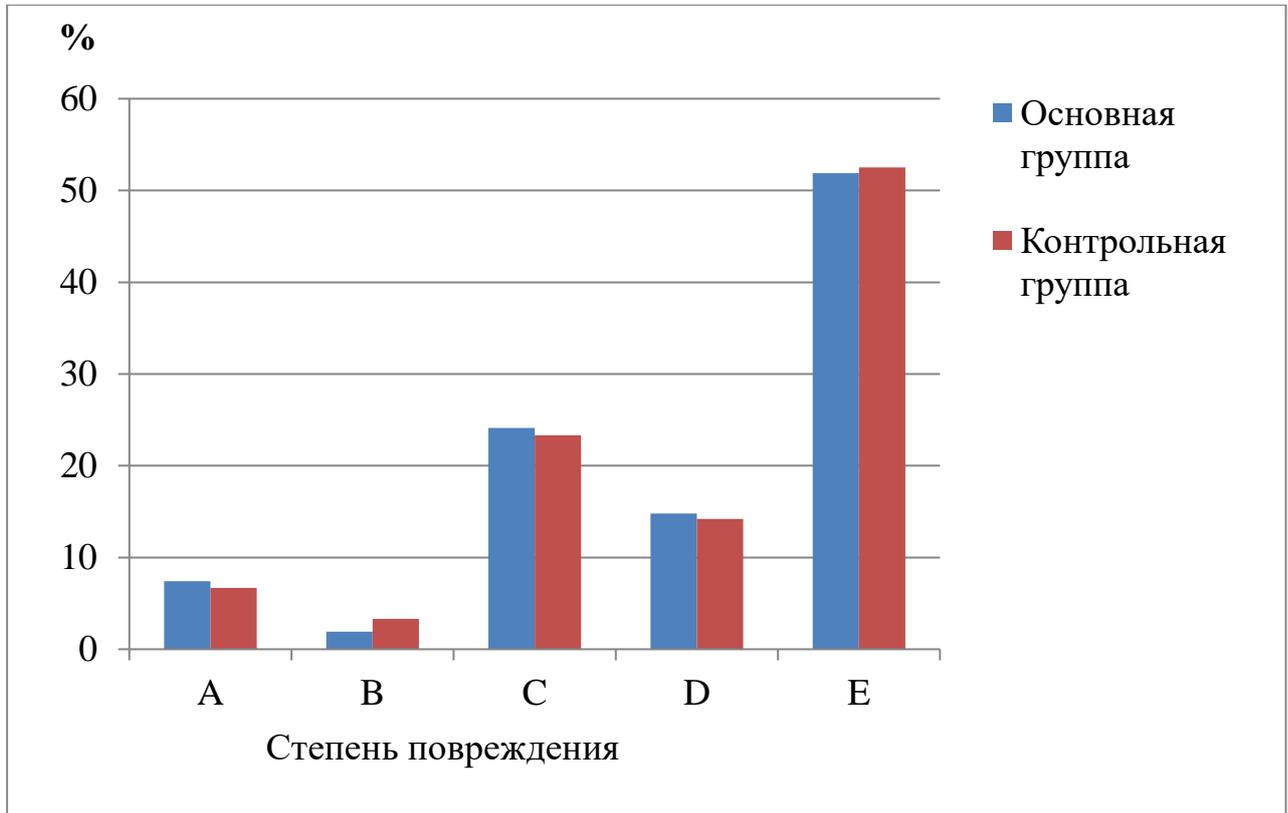


Рисунок 7 – Неврологические нарушения в двух группах по ASIA, проценты

В остром и раннем периодах травмы была прооперирована подавляющая часть пациентов как основной, так и контрольной групп (рис. 8).

В основной группе распределение по срокам оперативного вмешательства было следующим: в остром периоде (до 3 суток) оперированы 41 (38,0%) пациент; в раннем периоде (до 4 недель) — 62 (57,4%); в промежуточном периоде (до 3 месяцев) — 5 (4,6%) пациентов.

В контрольной группе соответственно оперированы: в остром периоде — 20 (16,7%) пациентов; в раннем — 95 (79,2%); в промежуточном — 5 (4,2%).

Медиана времени от момента травмы до оперативного лечения 6,00 [1,25-12,75] (0,00-41,00) дней в основной группе и 9,00 [5,00-15,00] (0,00-48,00) дней — в контрольной.

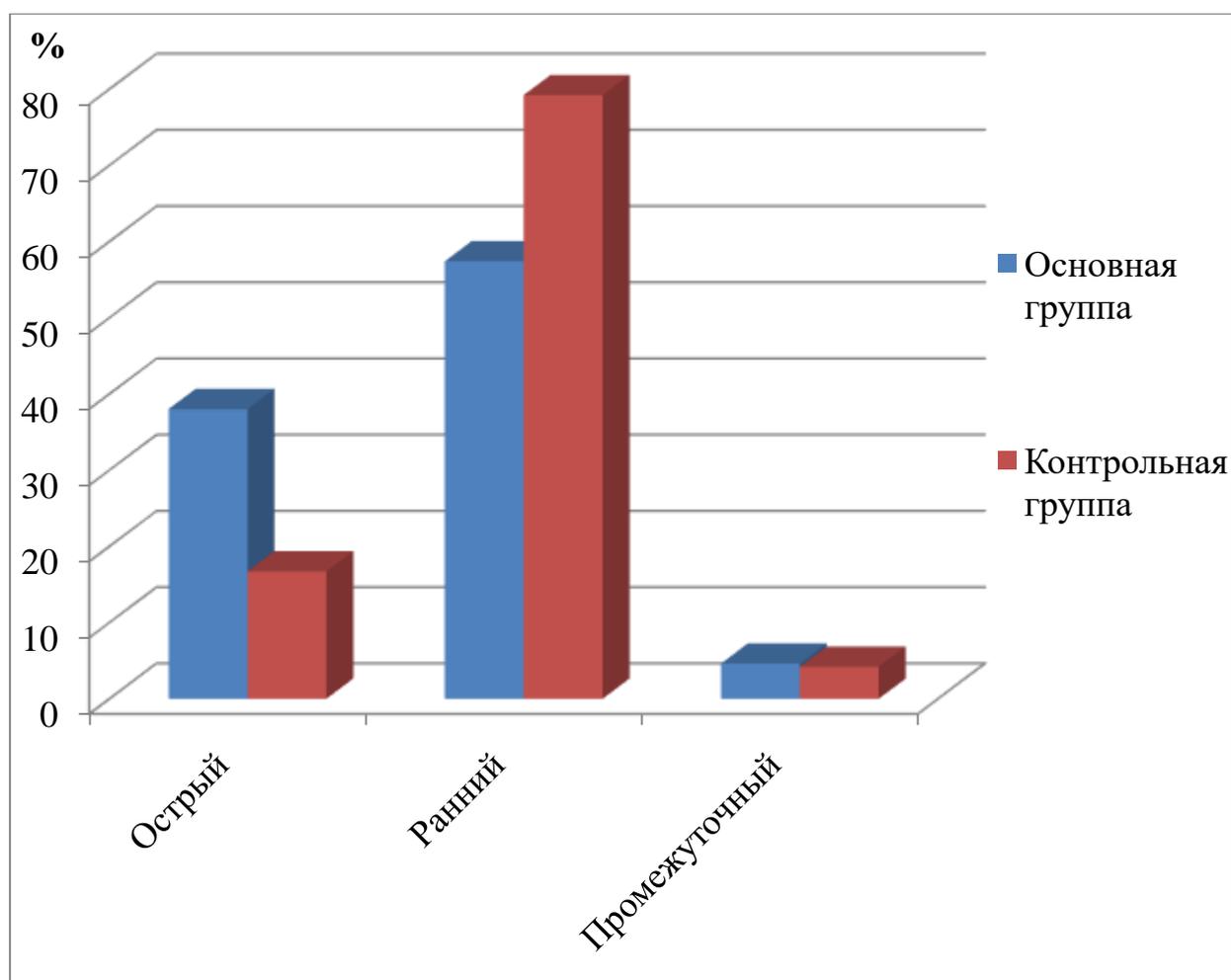


Рисунок 8 – Распределение пациентов основной и контрольной групп в зависимости от срока с момента травмы до оперативного лечения

Сравнение пациентов основной и контрольной групп по вышеописанным основным клиническим и спондилометрическим параметрам проводилась в компьютерном статистическом пакете SPSS Statistics 27.0.1 (IBM, США).

Проверку гипотезы о нормальности распределения проводили при помощи критерия Колмогорова-Смирнова. В зависимости от распределения в выборках использовали параметрические и непараметрические тесты. Критический уровень статистической значимости установлен на уровне $p < 0,05$.

Результаты статистической обработки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнительная характеристика пациентов основной и контрольной групп

Параметры	Контрольная группа (n=120)	Основная группа (n=108)	Значение Р
Пол, м/ж	69/51	60/48	0,27*
Сочетанные/изолированные	42/78	41/67	0,47*
Грудной /поясничный	31/89	31/77	0,49*
Возраст, лет	37,00 [25,00-51,00] (16,00-70,00)	39,00 [28,00-52,00] (16,00-69,00)	0,37***
ВАШ, баллы	6,00 [6,00-8,75] (5-10)	7,00 [6,00-8,00] (5-9)	0,54***
Дефицит просвета позвоночного канала, %	42,1±4,6	41,6±4,7	0,32**
Сроки от травмы до операции, дни	9,00 [5,00-15,00] (0,00-48,00)	6,00 [1,25-12,75] (0,00-41,00)	0,064***
Смещение фрагментов в просвет – X, мм	7,0±0,7	6,9±0,8	0,49**
Локальный кифоз, град.	14,1±1,2	13,6±1,1	0,36**
Тяжесть травмы по TLICS, баллы	6,1±0,4	5,9±0,3	0,51**

* точный тест Фишера

** t-критерий Стьюдента для независимых выборок

*** критерий Манна-Уитни

Из основной и контрольной групп были сформированы репрезентативные подгруппы по 80 человек, в которых проводились расширенные морфометрические исследования для оценки рентгенологических результатов. В контрольную подгруппу вошли 49 (61,3%) мужчин и 31 (38,7%) женщина, средний возраст составил $37,25 \pm 13,91$ года. Анализ достигнутой коррекции деформации, восстановления вертикальных размеров повреждённого тела позвонка и эффективности закрытой декомпрессии позвоночного канала выполнялся ретроспективно по данным КТ до и после оперативного вмешательства.

Основную подгруппу составили 47 (58,8%) мужчин и 33 (41,2%) женщины, средний возраст — $40,66 \pm 13,76$ года. В этой подгруппе проводилось предоперационное планирование с расчётом основных целевых морфометрических параметров, которых придерживались во время хирургического вмешательства.

Распределение пациентов по классификации AOSpine было следующим:

- контрольная подгруппа: A3 – 15, A4 – 36, B – 13, C – 16;
- основная подгруппа: A3 –15, A4 –46, B – 9 и C – 10.

Неврологический статус оценивался по шкале ASIA:

- в контрольной подгруппе: A — 8, B —4, C —19, D — 11, E —38 пациентов;
- в основной подгруппе: A — 6, B — 2, C —20, D — 14, E — 38 пациентов.

Планирование оперативного вмешательства осуществлялось по данным КТ в формате DICOM с использованием программы RadiAnt (рис. 9).

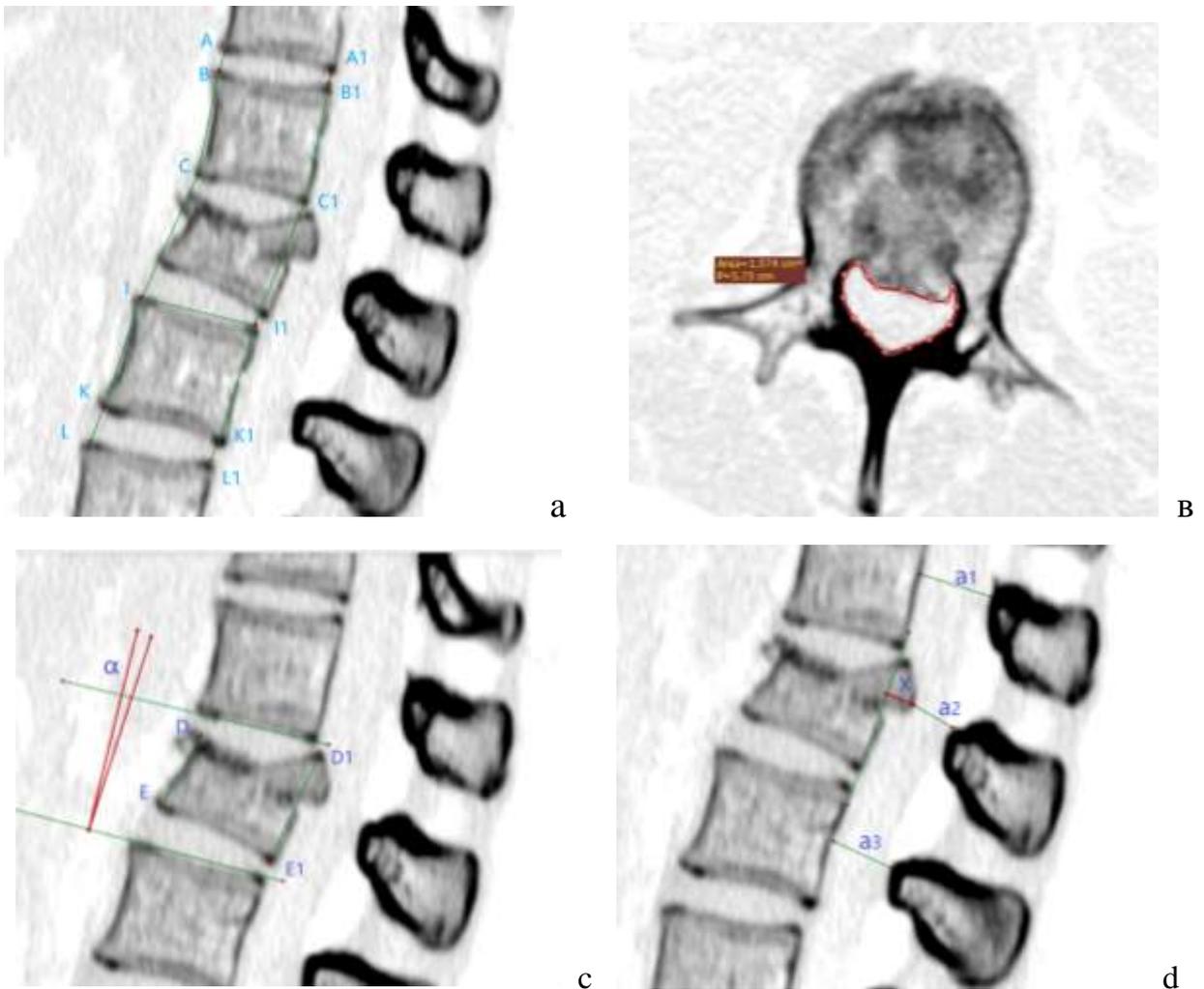


Рисунок 9 – Схема измерений: а – тел позвонков и межпозвоночных дисков; в – площади поперечного сечения; с – вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и сегментарного угла; d – просвета позвоночного канала и величины смещения костных фрагментов в позвоночный канал

На модели позвоночного сегмента, включающей три тела позвонков и четыре смежных межпозвонковых диска, выполнялись измерения вертикальных размеров тел позвонков и дисков, диаметра и площади поперечного сечения позвоночного канала, размеров и величины смещения костных фрагментов в его просвет спереди (показатель X), а также сегментарного угла (α), определяемого по нижней кортикальной пластинке вышележащего и верхней кортикальной пластинке нижележащего позвонков. Минеральная плотность костной ткани оценивалась в этой же программе по среднему значению плотности двух смежных позвонков. По результатам морфометрических измерений выполнялись математические расчёты следующих параметров: дефицита просвета и площади позвоночного канала; вертикальных передних (AVH) и задних (PVH) размеров повреждённого тела позвонка (расстояния |D-E| и |D1-E1| на схемах измерения); вертикальных размеров переднего (A-VDCH) и заднего (P-VDCH) позвоночно-дисковых комплексов (расстояния |C-I| и |C1-I1|); сегментарного угла α и показателя $\Delta\alpha$, отражающего разницу между рассчитанным и фактически измеренным углом.

Учитывая значительную индивидуальную вариабельность угловых характеристик в аналогичных сегментах интактного позвоночника, сравнение только величины устранённой деформации является недостаточно информативным. Поэтому в настоящем исследовании ключевым критерием являлось соответствие достигнутого после репозиции угла рассчитанному значению, что отражено показателем $\Delta\alpha$.

Расчеты необходимых параметров выполнялись по следующим формулам:

1. Дефицит просвета позвоночного канала – $((a1+a3):2 - a2) / (a1+a3):2 \times 100\%$.
2. Дефицит площади позвоночного канала – $((S1+S3):2 - S2) / ((S1+S3):2 \times 100\%$.
3. Передняя высота тела позвонка (AVH) – $(D-E) / ((B-C)+(I-K):2) \times 100\%$.
4. Задняя высота тела позвонка (PVH) – $(D1-E1) / ((B1-C1)+(I1-K1):2) \times 100\%$.
5. Передний позвоночно-дисковый комплекс (Mta) – $(C-I) / (((B-C)+(I-K)):2 + (A-B) + (K-L)) \times 100\%$.

6. Задний позвоночно-дисковый комплекс – $(C1-I1)/(((B1-C1)+(I1-K1)):2+(A1-B1)+(K1-L1)) \times 100\%$.

7. Угол $\alpha = \sin^{-1} (((B-C)+(I-K)):2+(A-B)+(K-L)) - (((B1-C1)+(I1-K1)):2+(A1-B1)+(K1-L1)) / (I-I1)$.

Средний срок от травмы до операции составил $8,2 \pm 1,9$ дня в основной подгруппе и $11,5 \pm 2,3$ дня — в контрольной. Соотношение повреждений грудного и поясничного отделов позвонков было следующим: в контрольной подгруппе — 26/54, в основной — 24/56.

Сравнительная характеристика пациентов двух подгрупп с расчетом статистических различий представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры сравнения в основной и контрольной подгруппах

Параметры	Контрольная группа (n=80)	Основная группа (n=80)	Значение Р
Пол мужской /женский	43/31	47/33	0,32*
Грудной/поясничный	26/54	24/56	0,86*
Дефицит просвета позвоночного канала, %	39,3±4,6	39,5±4,1	0,96**
Дефицит площади позвоночного канала, %	39,6±5,3	37,4±5,1	0,47**
X, мм	6,7±0,7	6,8±0,6	0,91**
AVH, %	59,8±3,7	58,4±3,2	0,54**
PVH, %	93,36 [88,56-96,36] (81,12-106,26)	90,37[86,06-95,85] (78,22-101,63)	0,014***
A-VDCH, %	74,2±2,6	71,2±3,3	0,15**
A-VDCH, %	87,6±2,0	86,7±1,8	0,49**
$\Delta\alpha$, град.	9,7±1,3	10,8±1,5	0,28**
HU	175,5±10,4	169,6±11,4	0,46**

* точный тест Фишера

** t-критерий Стьюдента для независимых выборок

*** критерий Манна-Уитни

Представленные подгруппы статистически сопоставимы по изучаемым параметрам. Статистическая обработка цифровых данных не выявила статистически значимых различий между подгруппами, что подтверждает их сопоставимость по основным клиническим и спондилометрическим показателям. Таким образом, клинический материал диссертационного исследования представлен двумя репрезентативными группами и двумя сопоставимыми подгруппами пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

2.3 Методы исследования

Для оценки состояния пациентов, травмированного отдела позвоночника и спинного мозга использовались клинический, рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансно-томографический, неврологический, морфометрический, лабораторный и статистический методы исследования.

Для уточнения характера повреждений позвоночника и спинного мозга, формы вертебро-медуллярного конфликта, а также выбора оптимального объема лечебных мероприятий проводилось комплексное обследование всех пострадавших. При поступлении пострадавшего в стационар оценивали состояние внутренних органов и основных систем жизнеобеспечения организма по классическим методикам. Объем обследования зависел как от тяжести состояния пациента, наличия сопутствующих повреждений, соматической патологии, так и от информативности используемого диагностического метода.

2.3.1 Клинический метод исследования

Важное место в субъективном исследовании больных занимали тщательно собранный анамнез и анализ обстоятельства травмы. Исследование включало клинический осмотр, изучение жалоб пациента, сбор необходимых данных о возрасте и анамнезе жизни пострадавших и др. При наличии или выявлении сопутствующих заболеваний проводились консультации профильных специалистов.

2.3.2 Рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансно-томографический методы исследования

Наряду с клиническим обследованием, пациентам с травмой позвоночника без неврологических нарушений выполнялась рентгенография позвоночника в двух проекциях в зоне локализации болевого синдрома. При выявлении признаков травматического повреждения на рентгенограммах для уточнения характера и объёма повреждения проводилась СКТ.

У пациентов после дорожно-транспортной травмы или кататравмы СКТ всего позвоночника выполнялась уже на этапе госпитализации, без предварительной рентгенографии, что позволяло своевременно выявлять множественные повреждения. Исследования проводились на компьютерных томографах GE BrightSpeed 16 Slice и Incisive CT CREATOR.

Пациенты, поступавшие в клинику переводом из других лечебных учреждений, как правило, имели результаты первичного рентгенологического и томографического обследования; в таких случаях выполнялось необходимое клиническое дообследование. Пострадавшим, доставленным бригадами скорой помощи непосредственно с места травмы, учитывая предполагаемый механизм повреждения, проводилось комплексное обследование по алгоритму диагностики сочетанных травм, включающему СКТ головы, шеи, грудной клетки, живота и таза.

При анализе СКТ учитывались следующие параметры:

- тип повреждения позвонков;
- уменьшение высоты тела позвонка;
- степень сужения позвоночного канала;
- размеры и положение внутриканальных костных фрагментов;
- наличие кифотической и сколиотической деформации повреждённого сегмента;
- повреждение дужек, суставных и остистых отростков, признаки подвывихов и вывихов.

Количественные характеристики смещений опорных структур травмированных ПДС определяли с использованием общепринятых спондилометрических критериев.

По данным СКТ проводили предоперационное планирование траекторий проведения транспедикулярных винтов, а также выполняли морфометрические измерения, необходимые для расчёта вертикальных и угловых показателей, определяющих восстановление исходной анатомии сегмента. Подробная методика измерений представлена в главе 3. СКТ-контроль выполнялся всем пациентам после оперативного вмешательства.

У 7 (3,1%) больных для оценки эффективности закрытой репозиционной декомпрессии дурального мешка проводилась интраоперационная миелография, результаты которой определяли необходимость выполнения открытой декомпрессии.

Магнитно-резонансная томография выполнялась для уточнения характера вертебро-медуллярного конфликта, оценки степени и протяжённости повреждения спинного мозга, а также состояния заднего связочного комплекса. Перед оперативным вмешательством МРТ была выполнена 47 (20,6%) пациентам. Исследования проводились на томографах с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл: GE SIGNA Creator (диаметр туннеля 60 см), Siemens MAGNETOM Aera (диаметр туннеля 70 см).

2.3.3 Морфометрический метод исследования

После выполнения мультипланарной реконструкции в формате DICOM по срединному сагиттальному срезу проводились морфометрические измерения, включавшие переднюю и заднюю высоту тела повреждённого позвонка и смежных тел; переднюю и заднюю высоту межпозвонковых дисков, расположенных над вышележащим и под нижележащим позвонками относительно травмированного сегмента; высоту верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка; величину смещения костного фрагмента в просвет позвоночного канала относительно линии, проведённой по передней стенке канала; минимальный

сагиттальный диаметр позвоночного канала на уровне повреждения и на соседних уровнях.

Кифотическую деформацию определяли по методу Cobb как угол между прямыми, проведенными по ближайшим к очагу повреждения замыкательным пластинкам смежных тел позвонков. Сколиотическую деформацию по срединному коронарному срезу также оценивали по методу Cobb, измеряя угол между прямыми, проведенными по соответствующим замыкательным пластинкам тел позвонков выше и ниже уровня повреждения.

В аксиальной проекции определяли ширину позвоночного канала и размеры внутриканальных костных фрагментов. Полученные данные использовали для расчёта процента компрессии передней и задней высоты тела позвонка, величины дефицита просвета позвоночного канала, а также для выполнения расчётов, необходимых при предоперационном планировании восстановления анатомии повреждённого сегмента позвоночника. Подробная методика морфометрии представлена в главе 3.

2.3.4 Экспериментальный метод исследования

Экспериментальное исследование было направлено на оценку влияния конструктивных параметров продольных штанг транспедикулярных устройств (ТПУ) — диаметра винтов и балок, а также материала их изготовления — на жёсткость оперированного отдела позвоночника. Механическое поведение продольных штанг изучали в соответствии со стандартом ASTM F1717 (La Barbera L. et al., 2014). В блоки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, имитирующие тела позвонков в спондилоэктомической модели, вводили транспедикулярные винты, которые соединяли продольными штангами из различных сплавов. Собранный конструкцию фиксировали в шарнирных захватах испытательной машины TIRAtest 2300 и нагружали методом сжатия-растяжения. По результатам испытаний определяли жёсткость системы, а также предельную нагрузку, при достижении которой происходило необратимое деформирование ТПУ либо

разрушение полиэтиленовых блоков (рис. 10). Результаты эксперимента ранее были опубликованы в статье (Коллеров М.Ю. с соавт., 2013).

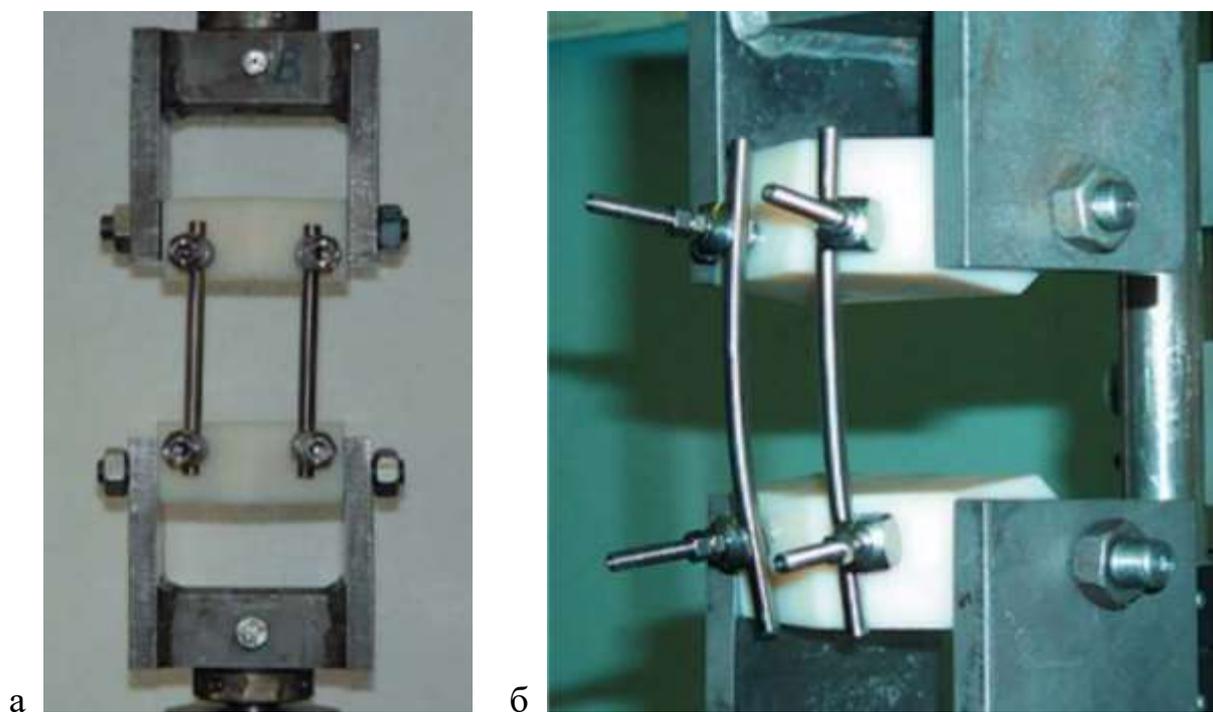


Рисунок 10 – Общий вид транспедикулярных аппаратов при испытаниях по стандарту ASTM F1717: а – исходное состояние ТПА с балками из сплава ВТ6 диаметром 7 мм фирмы «Синтез»; б – нагруженное состояние ТПА производства «КИМПФ» с балками из сплава ТН1 диаметром 5,5 мм

В исследовании использовались транспедикулярные винты производства «Синтез», «Конмет» и «КИМПФ». Продольные штанги изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, титанового сплава ВТ6 и сплава никелида титана ТН1. Диаметр штанг составлял 5,5; 6,0 и 7,0 мм. По кривой деформации ТПУ идентифицировали участки упругого и пластического поведения материала, что позволяло оценить пределы эксплуатационной надёжности конструкций.

Для определения оптимальных характеристик работоспособности ТПУ выполняли математическое моделирование методом конечных элементов поясничного отдела позвоночника при различных вариантах травм и дегенеративных изменений в программном комплексе Ansys. Была разработана геометрическая модель сегмента LI–LV, включающая костные структуры (тела позвонков, остистые и поперечные отростки, дуги), хрящевые элементы

(межпозвонковые диски) и основные связочные структуры (переднюю и заднюю продольные, жёлтые, межкостистые и надкостистые связки). Материалам моделируемых структур задавались свойства упругости и прочности согласно литературным данным (Yamada H., Evans F.G., 1973).

К моделям прикладывали осевые сжимающие или растягивающие нагрузки до 300 Н, а также нагрузки в сагиттальной плоскости. Для оценки ротационной стабильности создавали крутящий момент до 5 Нм. По результатам расчётов определяли линейные и угловые перемещения элементов позвоночника, а также напряжения и деформации, возникающие в костных структурах и элементах ТПУ. Оценку функционального состояния позвоночного сегмента проводили по отношению его подвижности (линейной и угловой) под действием одинаковых функциональных нагрузок в нормальном, травмированном и оперированном состоянии.

Экспериментальное исследование и методика математического моделирования методом конечных элементов подробно представлены в 5 главе.

2.3.5 Неврологический метод исследования

Оценка неврологических нарушений и их динамики у пациентов с осложнённой травмой позвоночника проводилась по шкале повреждений спинного мозга ASIA/ISNCSCI; подробное описание классификации представлено в разделе «Общая характеристика пострадавших с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника». Неврологический статус оценивали с учётом силы мышц в каждом миотоме, тонуса паретичных мышц, состояния чувствительной сферы и функции тазовых органов.

Исследование мышечной силы проводили по пятибалльной шкале (Берснев В.П. с соавт., 1998):

- 0 — атонический паралич, нет признаков активного сокращения мышц;
- 1 — слабые активные сокращения части мышц, но без движения в соответствующем суставе конечности;

2 — отчетливое (визуальное) активное сокращение мышцы с движением в суставе при исключении тяжести конечности;

3 — движения в суставах с преодолением только тяжести конечности различной амплитуды;

4 — полный объем движения в суставе с преодолением сопротивления, которое можно измерить динамометром;

5 — полный диапазон движения против тяжести конечности с преодолением сопротивления, эквивалентного здоровой симметричной мышце.

После двустороннего тестирования мышечной силы баллы по каждому сегменту суммировали и заносили в карту осмотра. Максимально возможная сумма для 10 сегментов каждой стороны составляла 50 баллов. В случаях, когда исследование невозможно было выполнить, проставляли обозначение «НТ» (не тестировано).

Исследование чувствительности проводили по следующей шкале:

0 — отсутствие чувствительности;

1 — нарушенная чувствительность;

2 — нормальная чувствительность.

Если чувствительность в определённом сегменте не исследовалась, также отмечали «НТ». Оценку болевой чувствительности проводили при помощи укола одноразовой стерильной иглой фирмы «Neurotips». Неспособность различить острый укол и тупое прикосновение трактовали как отсутствие болевой чувствительности.

Оценка тазовых функций включала анализ ощущения наполнения мочевого пузыря, длительности удержания мочи и объёма остаточной мочи. Психоэмоциональный статус определяли на основании выявления признаков неврастенического, астенического или депрессивного синдромов, а также их возможных сочетаний.

2.3.6 Лабораторный метод исследования

На протяжении всего периода пребывания пострадавших в клинике проводился комплекс лабораторных исследований, направленный на мониторинг общего состояния пациента, своевременную диагностику возможных осложнений и оценку эффективности проводимого лечения.

Общеклинические анализы крови и мочи выполнялись не реже двух раз в неделю. Общий анализ крови позволял контролировать динамику гемоглобина, гематокрита, количества эритроцитов, лейкоцитарной формулы, СОЭ, что было важно для выявления острых воспалительных процессов, анемии, кровопотери и других патологических состояний. Общий анализ мочи обеспечивал оценку функции почек, водно-электролитного обмена и наличия признаков инфекции мочевыводящих путей.

Биохимическое исследование крови проводилось не реже одного раза в неделю и включало определение уровня общего белка, протеинограммы, глюкозы, билирубина, мочевины, креатинина, АЛТ, АСТ и основных электролитов. Эти параметры позволяли своевременно выявлять нарушения белкового и углеводного обмена, оценивать функциональное состояние печени и почек, а также контролировать водно-электролитный баланс. Учитывая риск осложнений при сочетанной травме и вынужденной гиподинамии, биохимический мониторинг имел важное значение для профилактики полиорганной недостаточности.

Исследование системы гемостаза (время свертывания, длительность кровотечения, уровень фибриногена, протромбиновый индекс, МНО, количество тромбоцитов) проводилось не реже одного раза в неделю. У пациентов с тяжелой сочетанной травмой, а также получающих антикоагулянты, мониторинг показателей гемостаза позволял своевременно корректировать профилактику тромбоэмболических осложнений и предупреждать развитие кровотечений.

При необходимости, по показаниям, выполнялись физико-химические, цитологические и бактериологические исследования биологических сред, включая исследование плевральной жидкости, ликвора, раневого отделяемого. Это

позволяло уточнять характер инфекционного процесса, определять возбудителя и его чувствительность к антибактериальным препаратам.

Объём и частота лабораторных исследований корректировались индивидуально, в зависимости от тяжести состояния пациента, наличия осложнений, объёма выполненного хирургического вмешательства и динамики клинических проявлений. При ухудшении состояния, развитии признаков системной воспалительной реакции, анемии, органной дисфункции или подозрении на инфекционные осложнения исследования проводились с необходимой частотой, вплоть до ежедневного контроля жизненно важных параметров.

2.3.7 Статистический метод исследования

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS Statistics 27.0.1 (IBM, США). Предварительно каждая из сравниваемых количественных переменных оценивалась на предмет ее соответствия закону нормального распределения, для чего использовались критерии Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Было установлено, что распределение значений количественных переменных отличается от нормального, в связи с этим для их описания и анализа применялись непараметрические методы. В качестве описательных статистик указывали медиану (Me), межквартильный размах [Q1; Q3] и крайние значения в выборке (min-max). При сравнении количественных переменных использовался критерий Манна – Уитни. Качественные переменные описывались с помощью представления абсолютного числа событий с долей от общего количества наблюдений в выборке, выраженной в процентах. При корреляционном анализе проводился расчет коэффициента корреляции Пирсона и его интерпретация с использованием шкалы Чеддока. Для установления взаимосвязи между переменными использовался регрессионный анализ. Анализ качественных переменных производился путем построения таблиц сопряженности с расчетом критерия χ^2 Пирсона или точного критерия Фишера – Фримана – Холтона.

Анализ сроков до наступления возникших осложнений проводили с использованием метода Каплана – Майера. Различия между полученными кривыми оценивали с помощью теста Мантеля – Кокса (Log-rank test). Для определения влияния принадлежности пациентов к основной или контрольной группе и расчета отношения рисков (ОР) применяли регрессию Кокса. Регрессионный анализ был направлен на выявление предикторов, статистически значимо влияющих на риск развития осложнений, а также на оценку выраженности этого влияния путем анализа отношения шансов (ОШ) с его 95% доверительным интервалом (95% ДИ).

Критический уровень статистической значимости для настоящего исследования был выбран $\alpha=0,05$, то есть нулевая гипотеза отвергалась при $p<0,05$.

2.4 Оценка анатомо-функциональных исходов

подавляющее большинство пациентов поступали в клинику и были оперированы в первые три недели после травмы. Все случаи квалифицировались как нестабильные повреждения позвоночника, что определяло необходимость хирургического вмешательства. Степень готовности пациента к операции определялась комплексной оценкой операционного риска, включавшей тяжесть травмы, выраженность неврологического дефицита, соматический статус и предполагаемый объем хирургического вмешательства. В основе был принцип максимально раннего выполнения операции.

Эффективность лечения оценивали в динамике, учитывая выраженность болевого синдрома, состояние неврологического статуса, данные контрольных рентгенограмм, СКТ и МРТ. Для оценки боли использовали шкалу (ВАШ) — наиболее распространенный инструмент оценки интенсивности болевых ощущений. Пациенту предлагалось выбрать число от 0 (отсутствие боли) до 10 (резко выраженная боль), соответствующее субъективному уровню болевых ощущений. СКТ-контроль был однократно выполнен всем пострадавшим. В 162 случаях (71,1%) проводили расширенный контроль через 3, 6 и 12 месяцев после операции. На основании данных СКТ оценивали степень восстановления передней и задней стенок поврежденного позвонка; высоту позвоночно-дисковых

комплексов; величину смещения костных фрагментов в просвет позвоночного канала; степень коррекции деформации позвоночного сегмента и её соответствие рассчитанному углу; функциональное состояние оперированного отдела позвоночника; процесс формирования костного блока; состояние и корректность установки транспедикулярной конструкции. В последующие годы СКТ проводилась ежегодно либо при появлении локальной боли. МРТ-контроль после операции был выполнен у 176 (77,2%) больных, при выраженных неврологических нарушениях — многократно. Количественные характеристики смещений костно-опорных структур определяли с использованием общепринятых спондилометрических критериев. Все цифровые данные подвергались статистической обработке.

После проведённого лечения выделяли следующие варианты динамики двигательных нарушений:

- полное восстановление — восстановление силы всех мышц дистальнее уровня повреждения до 5 баллов;
- значительное улучшение — увеличение мышечной силы в двух и более миотомах на 2–3 балла, сопровождающееся расширением объема активных движений;
- стабилизация с незначительным улучшением — прирост силы на 1 балл в одном-двух миотомах, появление или увеличение объема отдельных движений при выраженных парезах;
- ухудшение — снижение мышечной силы и тонуса.

В динамике чувствительных нарушений выделяли:

- полное восстановление — нормализация всех видов чувствительности с уровня поражения;
- значительное восстановление — снижение уровня гипестезии на 3–4 сегмента и более, переход анестезии в гипестезию в аналогичном диапазоне, восстановление глубокой чувствительности;
- незначительное восстановление — улучшение чувствительности на 1–2 сегмента;

- ухудшение — повышение уровня гипестезии/анестезии на два и более сегмента.

Оценка тазовых функций включала анализ ощущения наполнения мочевого пузыря, продолжительности удержания мочи и величины остаточной мочи. Психоземциональное состояние оценивали по наличию неврастенического, астенического и депрессивного синдромов или их сочетаний. Основные контрольные точки оценки неврологического статуса: момент поступления, момент выписки, 6 месяцев и 1 год после лечения. Ближайшие результаты лечения изучали в период до 6 месяцев после выписки. Это позволяло оценить эффективность выбранной хирургической тактики и определить дальнейшую программу реабилитации. Отдаленные результаты прослежены до 19 лет после операции. Их оценивали по динамике неврологического статуса, функциональному состоянию позвоночного столба и уровню трудоспособности.

Для оценки болевого, функционального и социально-экономического статуса использовали шкалу R.G. Watkins (1986) (Бикмуллин В.Н. и соавт., 2015), по которой исходы распределяли следующим образом (приложение Е):

- 0–3 балла — отличный исход;
- 4–7 баллов — хороший исход;
- 8–12 баллов — плохой исход.

Качество жизни пациентов оценивали по опроснику SF-36 (Ware J.E. Jr., Sherbourne C.D., 2004). Восемь шкал опросника отражают физическое функционирование, ролевую активность, боль, общее здоровье, жизнеспособность, социальное функционирование, эмоциональное состояние и психическое здоровье (приложение Ж). Показатели варьируют от 0 до 100, где 100 соответствует полному здоровью. На основании этих шкал формируются два интегральных показателя — физическое и психическое благополучие. Низкие значения отражают выраженные ограничения физической активности и эмоционального состояния; высокие — свидетельствуют о хороших адаптационных возможностях и высоком уровне качества жизни.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВРЕЖДЕННОГО ПОЗВОНОЧНО-ДИСКОВОГО КОМПЛЕКСА ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА

3.1 Разработка методики предоперационного планирования для расчетов исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного позвоночно-дискового комплекса

Хорошие результаты хирургического лечения деформаций позвоночника могут быть достигнуты только при соблюдении биомеханических принципов и восстановлении сагиттального баланса поражённого сегмента. Важным этапом хирургического лечения посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника является репозиция с коррекцией деформации и декомпрессией содержимого позвоночного канала. Неустранённая деформация способствует формированию патологического положения смежных сегментов, нарушению общей статики позвоночника и развитию хронического болевого синдрома (Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Mayer M. et al., 2017; Yoshihara H., 2017).

Для исправления кифотической деформации позвоночника М. Payer (2006) использовал специальную укладку пациента на операционном столе или ручную репозицию поврежденного отдела позвоночника транспедикулярным устройством с приблизительной осевой дистракцией на 3–5 мм. Недостатком предложенных методик является то, что в результате специальной укладки и ручной репозиции восстановление поврежденного отдела позвоночника выполняется приблизительно, «на глаз».

На основе анализа большого массива рентгенограмм и компьютерно-томографических данных S.M. Kwon и соавт. (2019) и A.P. Verheyden и соавт. (2011) рассчитали эталонные значения сегментарных углов грудопоясничного перехода, на которые рекомендуется ориентироваться при репозиции (табл. 9).

Таблица 9 – Эталонные значения сегментарных углов

Сегмент позвоночника	Kwon S.M. с соавт., 2019	Verheyden A.P. с соавт., 2011
ThIX-ThXI	-	-5
ThX-ThXII	6,5±3,9	-2
ThXI-LI	5,5±4,1	2
ThXII-LII	2,2±4,7	7
LI-LIII	3,3±5,3	10
LII-LIV	-	15
LIII-LV	-	25
LIV-SI	-	40

J.P. Farcy и соавт. (1990) предложили рассчитывать сагиттальный индекс — величину кифотической деформации, скорректированную на нормальный сагиттальный контур соответствующего уровня. Так, в грудном отделе необходимо вычитать 5° , в грудопоясничном переходе коррекции не требуется, в поясничном отделе — прибавлять 10° . Ограничением данных эталонов является значительная индивидуальная вариабельность, обусловленная типами сагиттального профиля по классификации Roussouly (Roussouly P. et al., 2005). Поэтому коррекция посттравматических деформаций должна быть индивидуализирована.

Тот факт, что средние передние и задние размеры тел позвонков (Ning L. et al., 2017) и межпозвоночных дисков в грудном (Fletcher J.G. et al., 2015) и поясничном (Bach K. et al., 2018) отделах позвоночника увеличиваются в каудальном направлении почти в линейной зависимости, навело на гипотезу о возможности рассчитывать размеры тел позвонков и межпозвоночных дисков по смежным сегментам.

При переломах позвонков, особенно типа A4 по классификации AOSpine, кроме размеров тела позвонка, изменяются и вертикальные размеры смежных межпозвоночных дисков. Принимая во внимание анатомические закономерности, задачей нашего исследования было создание модели позвоночника, по которой можно было бы рассчитывать исходные размеры поврежденного тела позвонка со смежными межпозвоночными дисками по соседним позвонкам и дискам. Для обозначения размеров тела позвонка со смежными дисками мы вводим понятия:

передняя и задняя высота позвоночно-дискового комплекса (Anterior/Posterior Vertebral–Disc Complex Height) или A-VDCH и P-VDCH. Кроме восстановления размеров позвоночно-дискового комплекса (VDC) для достижения первоначальной анатомии поврежденного сегмента необходимо и восстановление первоначального сегментарного угла.

Для расчёта восстановления исходных передних и задних размеров повреждённого тела позвонка со смежными межпозвоночными дисками была разработана модель здорового позвоночника, включающая три тела позвонков и четыре прилежащих межпозвоночных диска. Материалом исследования послужили данные СКТ 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин) в возрасте от 18 до 60 лет. У всех пациентов по поводу подозрения на политравму выполнялось СКТ-исследование всего позвоночника. Критериями включения являлось отсутствие врождённых аномалий, приобретённых деформаций и признаков повреждения позвоночного столба.

Измерения проводились с использованием программного обеспечения RadiAnt после мультипланарной реконструкции в формате DICOM в срединной сагиттальной проекции. За точки отсчёта принимались крайние анатомические ориентиры исследуемых тел позвонков.

В качестве примера моделирования передних и задних размеров тела L1 позвонка со смежными дисками рассматривались расстояния $|C-I|$ и $|C1-I1|$). Измерения выполнялись от диска ThXI–ThXII до диска LII–LIII — от точки A до точки L по передней поверхности и от точки A1 до точки L1 по задней поверхности позвоночника (рис. 11 а). Сегментарный угол определялся в пределах A-VDCH и P-VDCH, соответствующих расстояниям $|C-I|$ и $|C1-I1|$) (рис. 11 б).

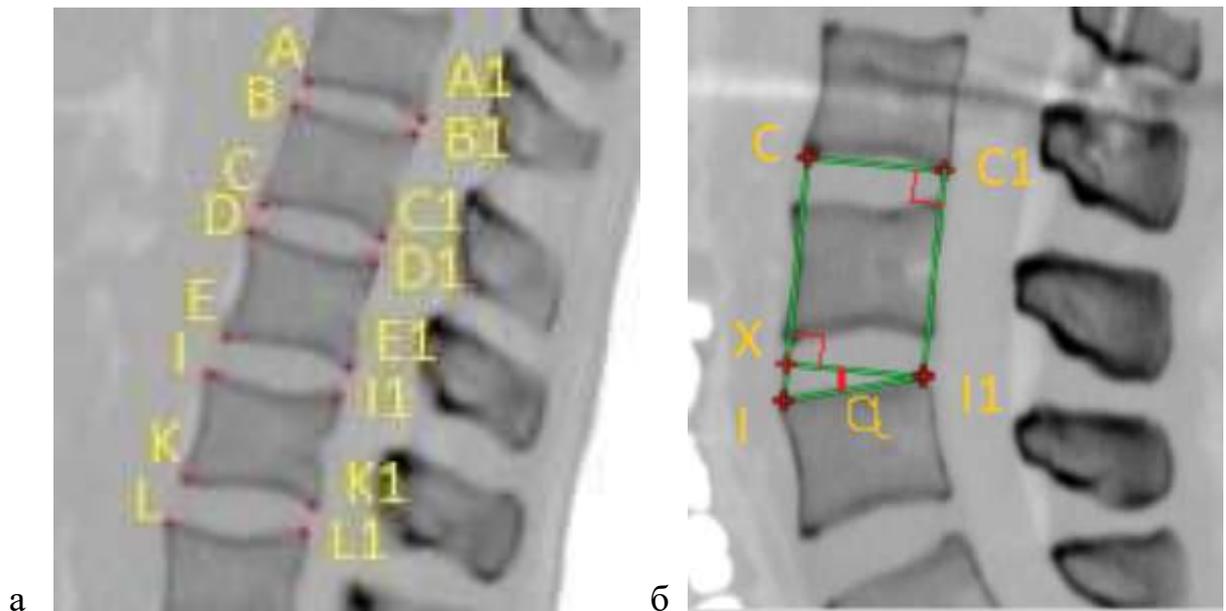


Рисунок 11 – Точки для измерения передних и задних размеров тел позвонков и межпозвонковых дисков по срединной сагиттальной проекции после мультипланарной реконструкции изучаемого отдела позвоночника (а); схема измерения угла деформации α (б)

Для измерения сегментарного угла использовали линию $|X-I1|$, проведённую параллельно нижней замыкательной пластинке вышележащего позвонка $|C-C1|$, и её пересечение с линией, соответствующей верхней замыкательной пластинке нижележащего позвонка $|I-I1|$. Измерения выполнены на 44 моделях, охватывающих сегменты от ThIV до LIV. С целью минимизации погрешностей исследуемый сегмент позвоночника увеличивали до размеров экрана. Средняя погрешность измерений составила $0,15 \pm 0,07$ мм. Ошибку измерений рассчитывали по формуле (2):

$$X = \Delta x \pm t \times m \quad (2),$$

где Δx – средняя разность измерений,

t – табличное значение (для 95% доверительной вероятности при $p=0,05$

t -критерий равен 2),

m – стандартная ошибка среднего значения.

1. На первом этапе исследования были сопоставлены измеренные и рассчитанные передние (AVH) и задние (PVH) размеры тел позвонков. Для этого сформировали две группы.

I группа — фактические измерения передней $|D-E|$ и задней $|D_1-E_1|$ поверхностей тел позвонков от ThIV до LIV, выполненные у 25 пациентов.

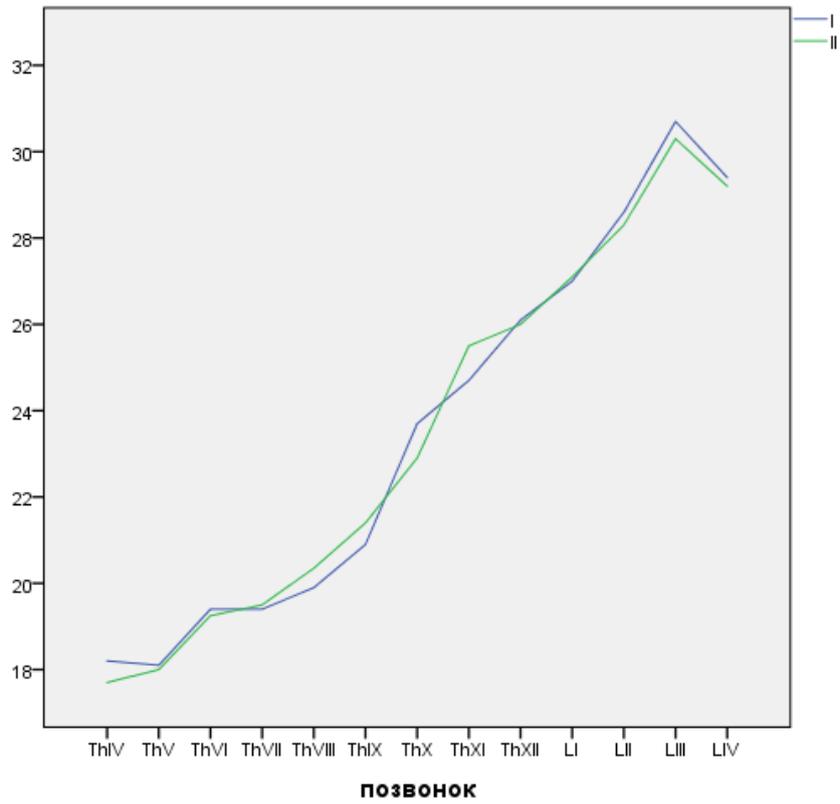
II группа — рассчитанные передние и задние вертикальные размеры тел позвонков, определяемые как полусумма соответствующих размеров двух смежных позвонков:

- передние размеры — $(|B-C| + |I-K|)/2$,
- задние размеры — $(|B_1-C_1| + |I_1-K_1|)/2$.

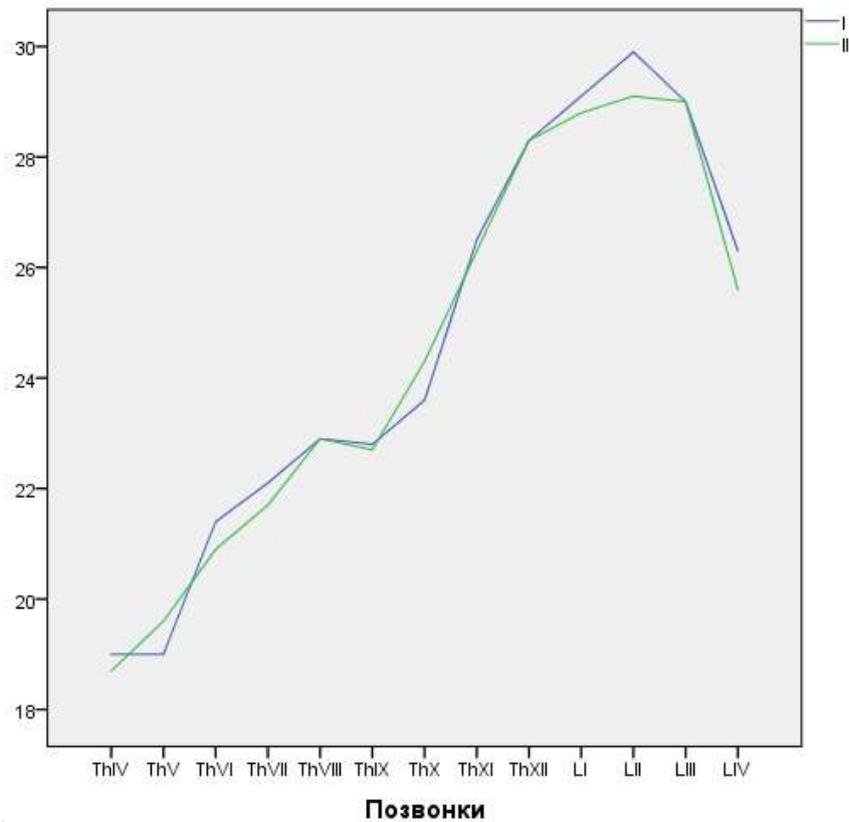
Средняя величина AVH в I группе составила 25,65 мм при стандартной ошибке 0,62 мм; во II группе — 25,58 мм при стандартной ошибке 0,60 мм (рис. 12а). После округления статистических показателей до десятых разница между фактическими и расчётными значениями AVH при 95% доверительном интервале составила $0,7 \pm 0,2$ мм. Сравнение групп с использованием t-критерия Стьюдента показало отсутствие статистически значимых различий ($t=0,403$; $p=0,689$). Между группами выявлена сильная корреляционная связь: коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,973$.

Средний размер PVH в I группе составил 26,48 мм (стандартная ошибка 0,53 мм), во II группе — 26,25 мм (стандартная ошибка 0,52 мм) (рис. 12 б). Допустимая разница между фактическими и расчётными значениями PVH составила $0,7 \pm 0,2$ мм. По данным t-критерия различия также не были статистически значимыми ($t=1,534$; $p=0,132$). Коэффициент корреляции Пирсона между группами равнялся $r = 0,959$.

Таким образом, использование полусуммы размеров смежных тел позвонков является надёжным и точным способом восстановления передних и задних вертикальных размеров повреждённого позвонка. Представленные данные подтверждают возможность применения предложенной методики в клинической практике для оценки исходной анатомии позвоночного сегмента при травматических повреждениях, что особенно важно в условиях деформации или разрушения тела позвонка, когда прямые измерения невозможны.



а



б

Рисунок 12 – Средние размеры передней (а) и задней (б) поверхностей тел позвонков в двух группах по локализации (первая группа – синий цвет, вторая группа – зеленый)

2. Для сравнения передних и задних размеров межпозвоночных дисков были сформированы три группы: I группа — фактические измерения дисков на уровне сегментов от ThIV–ThV до LIV–LV; II группа — расчётные размеры, определяемые как полусумма размеров двух смежных дисков; III группа — средние значения дисков соответствующей локализации, полученные из опубликованных данных (для грудного отдела — по J.G. Fletcher и соавт. (2015), для поясничного — по K. Bach с соавт. (2018), сопоставимые с обследованными пациентами по полу и возрасту). Группа III была сформирована для оценки степени индивидуальной вариабельности межпозвоночных дисков по сравнению с усреднёнными нормативами.

Средний передний размер диска в I группе составил 6,08 мм при стандартной ошибке 0,52 мм; во II группе — 6,02 мм (стандартная ошибка 0,48 мм); в III группе — 5,88 мм (стандартная ошибка 0,27 мм) (рис. 13а). Коэффициент корреляции Пирсона между группами I и II равнялся 0,982, между I и III — 0,870. Средняя разность между фактическими и расчётными значениями переднего размера диска составила:

- между I и II группами — $0,70 \pm 0,20$ мм,
- между I и III группами — $1,60 \pm 0,36$ мм.

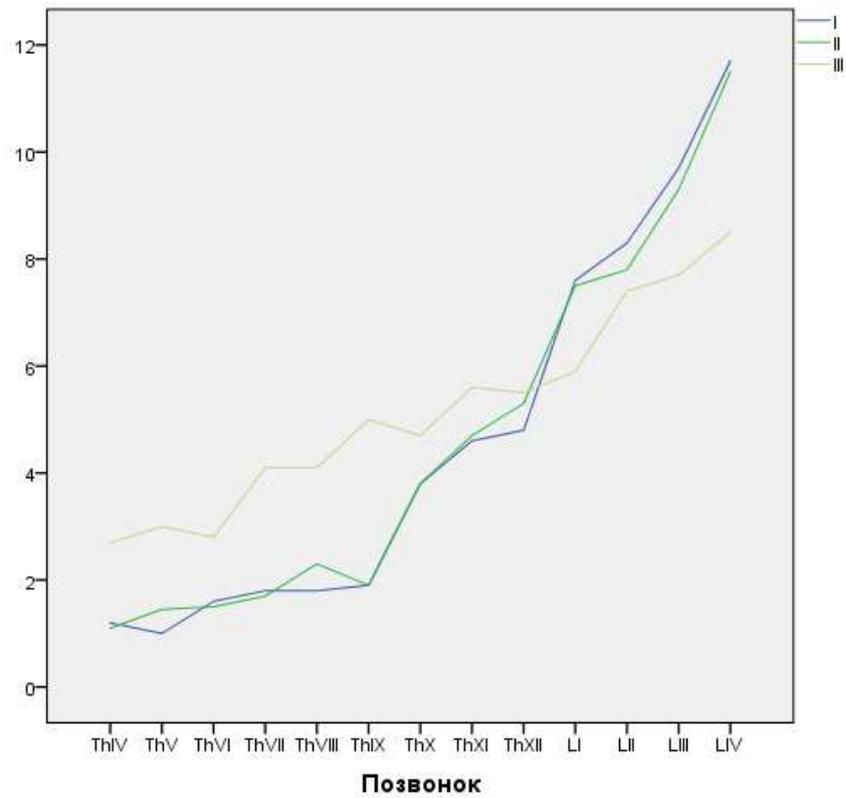
В данном и последующих расчетах средняя разность рассчитывалась от разности каждого измерения по группам.

Средний задний размер диска в I группе составлял 4,07 мм при стандартной ошибке 0,32 мм; во II группе — 3,90 мм (стандартная ошибка 0,28 мм); в III группе — 4,29 мм (стандартная ошибка 0,25 мм) (рис. 13 б). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами был 0,939, между I и III — 0,730. Средняя разность задних вертикальных размеров диска составила:

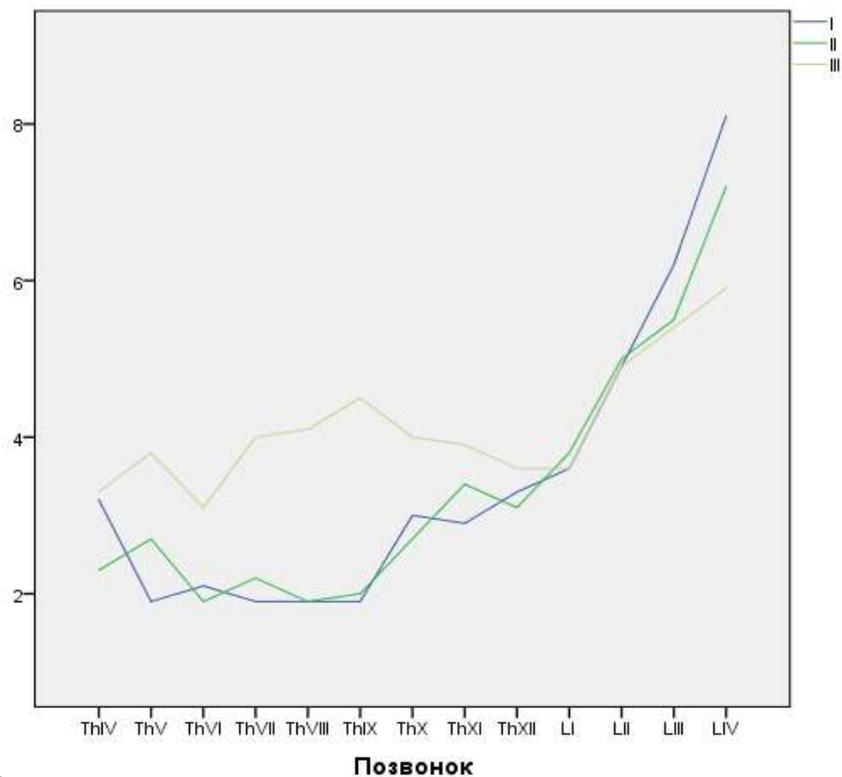
- между I и II группами — $0,60 \pm 0,20$ мм,
- между I и III группами — $1,20 \pm 0,30$ мм.

Таким образом, использование групповых средних значений, представленных в литературе, не позволяет достоверно оценивать анатомические параметры дисков

конкретного пациента и может приводить к ошибкам при реконструкции исходной геометрии повреждённых сегментов.



а



б

Рисунок 13 – Передние (а) и задние (б) размеры дисков в трех группах по локализации (I группа – синий цвет, II группа – зеленый, III группа – желтый)

3. Для расчёта восстановления размеров тел позвонков с верхним межпозвоночным диском были сформированы три группы: I группа — фактические измерения передней ($|C-E|$) и задней ($|C1-E1|$) поверхностей тела позвонка с верхним диском у исследуемых пациентов. II группа — рассчитанные размеры передней $((|B-C|+|I-K|)/2+(|A-V|+|E-I|)/2)((|B-C| + |I-K|)/2 + (|A-V| + |E-I|)/2)((|B-C|+|I-K|)/2+(|A-V|+|E-I|)/2)$ и задней $((|B1-C1|+|I1-K1|)/2+(|A1-V1|+|E1-I1|)/2)((|B1-C1| + |I1-K1|)/2 + (|A1-V1| + |E1-I1|)/2)((|B1-C1|+|I1-K1|)/2+(|A1-V1|+|E1-I1|)/2)$ поверхностей тел позвонков с верхним диском у тех же пациентов, выполненные согласно методике, изложенной в разделе 1. III группа — рассчитанные размеры передней $((|B-C|+|I-K|)/2+|C-D|)((|B-C| + |I-K|)/2 + |C-D|)((|B-C|+|I-K|)/2+|C-D|)$ и задней $((|B1-C1|+|I1-K1|)/2+|C1-D1|)((|B1-C1| + |I1-K1|)/2 + |C1-D1|)((|B1-C1|+|I1-K1|)/2+|C1-D1|)$ поверхностей тел позвонков с верхним диском у тех же пациентов, при этом средние размеры дисков $|C-D|$ и $|C1-D1|$ были заимствованы из табличных данных.

Средние фактические передние размеры тела позвонка с межпозвоночным диском (I группа) составили 31,90 мм, стандартная ошибка среднего значения — 1,40 мм; во II группе — 31,70 мм (стандартная ошибка 1,50 мм); в III группе — 31,30 мм (стандартная ошибка 1,30 мм). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами составил 0,984, между I и III группами — 0,947. Средняя разность между сравниваемыми размерами $|C-E|$ в I и II группах составила $1,00 \pm 0,40$ мм, между I и III группами — $1,80 \pm 0,50$ мм.

Средние фактические задние размеры тела позвонка с межпозвоночным диском (I группа) составили 30,40 мм, стандартная ошибка — 0,80 мм; во II группе — 30,60 мм (стандартная ошибка 0,70 мм); в III группе — 30,10 мм (стандартная ошибка 0,70 мм). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами — 0,956, между I и III группами — 0,874. Средняя разность между сравниваемыми размерами задней поверхности в I и II группах составила $1,20 \pm 0,50$ мм, между I и III группами — $1,70 \pm 0,50$ мм.

Сравнение фактических и рассчитанных размеров тел позвонков с верхним межпозвоночным диском показало высокую степень совпадения данных. Средние

значения передних и задних размеров во II группе (расчёт по смежным позвонкам) практически не отличались от фактических измерений I группы, что подтверждается высокими коэффициентами корреляции Пирсона (0,984 для передней поверхности и 0,956 для задней). Использование средних размеров дисков из табличных данных (III группа) также обеспечило достаточно точное восстановление размеров, хотя средние разности с фактическими размерами несколько увеличились (1,80 мм для передней поверхности и 1,70 мм для задней).

4. На следующем этапе исследования проводились расчёты по восстановлению размеров A-VDCH и P-VDCH. Формирование групп оставалось прежним: I группа — фактические измерения передней ($|C-I|$) и задней ($|C1-I1|$) поверхностей тела позвонка со смежными дисками; II группа — рассчитанные размеры передней ($(|B-C| + |I-K|)/2 + (|A-B| + |K-L|)$) и задней ($(|B1-C1| + |I1-K1|)/2 + (|A1-B1| + |K1-L1|)$) поверхностей позвонков со смежными дисками у тех же пациентов; III группа — рассчитанные размеры передней ($(|B-C| + |I-K|)/2 + (|C-D| + |E-I|)$) и задней ($(|B1-C1| + |I1-K1|)/2 + (|C1-D1| + |E1-I1|)$) поверхностей позвонков со смежными дисками, где средние размеры дисков $|C-D|$, $|E-I|$, $|C1-D1|$ и $|E1-I1|$ взяты из табличных данных.

Средние значения A-VDCH или ($|C-I|$) составили: I группа — 38,90 мм (стандартная ошибка 1,60 мм); II группа — 38,70 мм (1,50 мм); III группа — 38,30 мм (1,30 мм). Т-критерий парных выборок показал отсутствие статистически значимых различий: I-II: $t = 0,697$, $p = 0,49$; I-III: $t = 1,026$, $p = 0,311$. Корреляция Пирсона между I и II группами — 0,986, между I и III — 0,957. Средняя разность A-VDCH составила: I-II — $1,40 \pm 0,40$ мм, I-III — $3,20 \pm 0,80$ мм.

Средние значения P-VDCH или ($|C1-I1|$) составили: I группа — 35,40 мм (0,90 мм); II группа — 34,90 мм (0,80 мм); III группа — 35,10 мм (0,70 мм). Корреляция Пирсона между I и II — 0,953, между I и III — 0,864. Средняя разность P-VDCH: I-II группы — $1,30 \pm 0,50$ мм, I-III группы — $2,70 \pm 0,50$ мм.

Результаты показывают высокую степень соответствия рассчитанных и фактических размеров позвоночно-дискового комплекса, особенно при использовании расчёта на основе смежных позвонков (II группа), что

подтверждается высокими коэффициентами корреляции (0,953–0,986) и отсутствием статистически значимых различий по t-критерию. Использование средних размеров дисков из табличных данных (III группа) также обеспечивает достаточно точное восстановление, однако отклонения от фактических измерений несколько увеличиваются (разница до 3,2 мм для передних и 2,7 мм для задних размеров). Таким образом, расчёт размеров на основе смежных позвонков является более точным методом восстановления A-VDCH и P-VDCH, в то время как применение усреднённых табличных данных дисков может быть применено при отсутствии индивидуальных измерений дисков с небольшим снижением точности.

5. Расчёты по восстановлению сегментарного угла α , образованного между нижней замыкательной пластинкой вышележащего тела позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего тела, проводились по тому же принципу, что и расчёты размеров позвоночно-дискового комплекса. Были сформированы три группы: I группа — фактические измерения угла α между кортикальными пластинками |C–C1| и |I–I1|; II группа — рассчитанный угол α по формуле: $\sin^{-1}(|(B-C) + (I-K)|/2 + |(A-B)+(K-L)| - |(B1-C1) + (I1-K1)|/2 + |(A1-B1)+(K1-L1)|) / |I-I1|$. III группа – рассчитанный угол α по формуле: $\sin^{-1}(|(B-C) + (I-K)|/2 + |(A-B)+(K-L)| - |(B1-C1) + (I1-K1)|/2 + |(A1-B1)+(K1-L1)|) / |I-I1|$, где средние размеры всех дисков взяты из табличных данных. Средняя разность углов α между фактическими измерениями и расчетами составила: II группа — $2,5 \pm 0,6^\circ$, III группа — $3,6 \pm 1,1^\circ$.

Результаты показывают, что рассчитанные сегментарные углы α приближены к фактическим измерениям, особенно при использовании расчётов на основе размеров смежных позвонков и дисков (II группа).

Формула для расчета угла α была выбрана на основании анализа СКТ-изображений «здорового» грудного и поясничного отделов позвоночника в срединной сагиттальной плоскости. Наблюдалось, что перпендикуляры, проведённые от крайних точек нижней замыкательной пластинки вышележащего тела позвонка, опускаются на крайние точки верхней замыкательной пластинки

тела позвонка на один уровень ниже, что соответствует размерам позвоночно-дисковых комплексов (рис. 14).

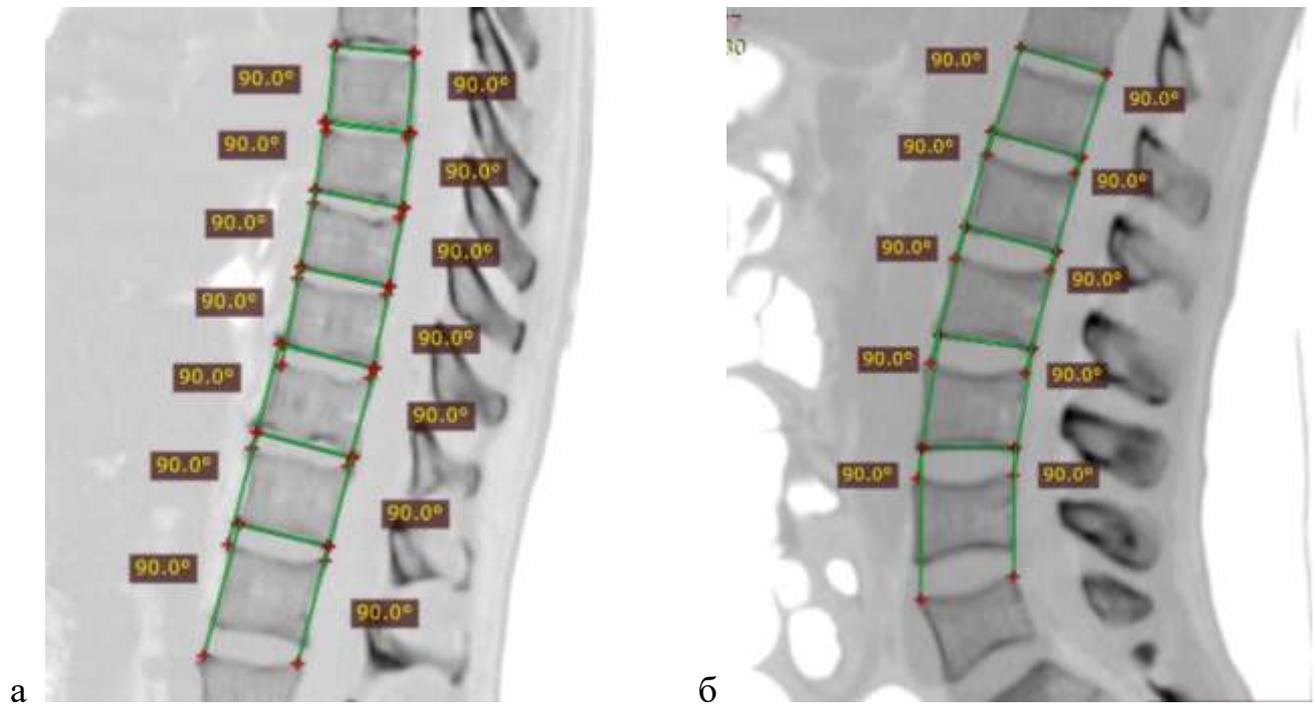


Рисунок 14 – СКТ грудного (а) и поясничного (б) отделов позвоночника в срединной сагиттальной плоскости с выделением позвоночно-дисковых комплексов

На СКТ-сканах в срединной сагиттальной плоскости сегмент позвоночника, состоящий из тела позвонка и двух смежных дисков, очерченный по крайним точкам замыкательных пластин, напоминает трапецию ABCD (рис. 15). Перпендикуляры, опущенные от точек B и C, пересекают верхнюю кортикальную пластинку нижележащего позвонка в точках A и D, которые являются крайними точками данной замыкательной пластинки. Если провести линию, параллельную |BC|, и проходящую через точку A, она пересечет |CD| в точке E. В результате получаем две фигуры: прямоугольник ABCE и прямоугольный треугольник ADE с гипотенузой |AD|. В этом треугольнике нас интересует угол DAE.

Согласно данным тригонометрии, синус острого угла в прямоугольном треугольнике определяется как отношение катета, лежащего против угла, к гипотенузе (Гельфанд И.М. с соавт., 2002). В нашем случае:

$$\sin \alpha = |DE| \div |AD|, \text{ где } |DE| = |CD| - |AB|.$$

Следовательно, сегментарный угол α можно рассчитать по формуле:

$$\text{Угол } \alpha = \sin^{-1}((|CD| - |AB|) \div |AD|).$$

На клиническом примере угол DAE, измеренный с помощью программы RadiAnt, составил $15,90^\circ$, а рассчитанный по предложенной формуле сегментарный угол α – $15,89^\circ$ (рис. 15).

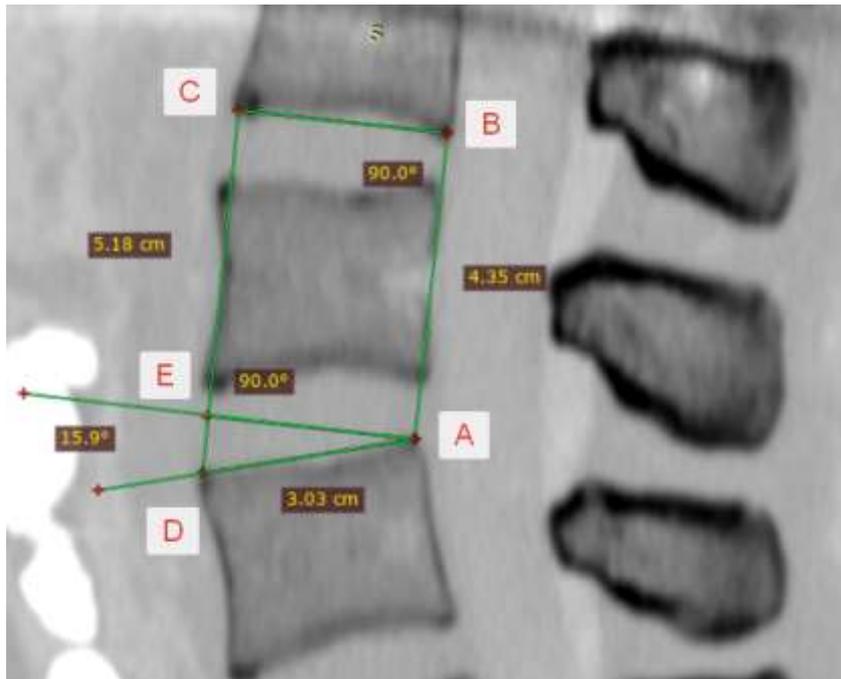


Рисунок 15 – Сегмент поясничного отдела позвоночника, состоящий из тела позвонка и двух смежных дисков

Рассчитанный сегментарный угол оказался очень близок к фактически измеренному. Поэтому угол, определяемый от нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка до верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, был выбран в качестве удобного для измерения и расчета параметра. Для восстановления исходной анатомии поврежденного тела позвонка со смежными дисками необходимо определять размеры A-VDCH и P-VDCH, а также сегментарный угол, ограниченный данными VDC.

Для расчета исходных размеров VDC и сегментарного угла α была разработана модель позвоночного сегмента, включающая тела трёх позвонков и четырёх смежных межпозвоночных диска, которая позволяет точно восстанавливать исходные размеры позвоночно-дискового комплекса и

сегментарный угол поврежденного сегмента. Высокие коэффициенты корреляции ($r=0,874-0,986$) подтверждают согласованность расчетных методов с анатомическими данными. Размеры A-VDCH и P-VDCH рассчитываются на основе размеров смежных тел позвонков и прилежащих дисков. Сегментарный угол α определяется по формуле: \sin^{-1} (от разницы в размерах позвоночно-дисковых комплексов, деленной на размер верхней замыкательной пластинки нижележащего от поврежденного тела позвонка).

Средняя разница между фактически измеренными и рассчитанными передними позвоночно-дисковыми комплексами составила $1,40 \pm 0,40$ мм, задними – $1,30 \pm 0,50$ мм. Разница между фактическим и рассчитанным сегментарным углом α составила $2,5 \pm 0,6^\circ$, что свидетельствует о высокой точности предложенного метода восстановления анатомии поврежденного сегмента позвоночника.

3.2 Факторы, влияющих на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала

По данным СКТ, для планирования восстановления индивидуальных размеров повреждённого тела позвонка со смежными межпозвоночными дисками требуется проведение математических расчётов целевых анатомических параметров. К таким параметрам относятся передние и задние размеры тела позвонка со смежными дисками, а также сегментарный угол. Оценку влияния различных факторов и размеров данных параметров на восстановление вертикальных размеров повреждённого позвонка выполняли на ретроспективном материале: СКТ 50 пациентов (31 мужчина и 19 женщин) с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника на уровнях ThVIII–LIII. Средний возраст пострадавших составил 29,4 года.

Согласно классификации АО, у 4 пациентов выявлены повреждения типа А3, у 37 – А4, у 5 – В2 и у 4 – типа С. В неврологическом статусе, по шкале ASIA, тяжесть повреждения спинного мозга распределялась следующим образом: тип А

– у 1 пациента, тип В – у 2, тип С – у 17, тип D – у 14 и тип Е – у 11 пострадавших. В исследование включали только пациентов с одноуровневыми повреждениями; исключались любые деформации или аномалии смежных тел позвонков.

Всем пациентам выполнены операции из заднего доступа. Восстановление высоты повреждённого позвонка и закрытую декомпрессию позвоночного канала производили с использованием репозиционного устройства для чрескостного транспедикулярного остеосинтеза фирмы «Синтез» (Санкт-Петербург). Во всех случаях в репозиционное устройство включали повреждённый и два смежных позвонка, что обеспечивало дозированную коррекцию многоплоскостной деформации.

Поскольку операции выполнялись в разные сроки после травмы, пациенты были разделены на две группы:

- 1-я группа (n=27) — оперативные вмешательства, выполненные в первые 10 суток после травмы;
- 2-я группа (n=23) — операции, выполненные с 11-го по 30-й день.

На дооперационных и послеоперационных СКТ проводили измерение параметров повреждённого сегмента позвоночника, включающего три смежных тела позвонков и четыре межпозвоночных диска. Измерения выполнялись в срединной сагиттальной плоскости после мультипланарной реконструкции (формат DICOM) с использованием программы RadiAnt (рис. 16).

Представленный материал формирует научно обоснованную платформу для исследования влияния индивидуальных анатомических параметров на качество восстановления повреждённого позвонка.

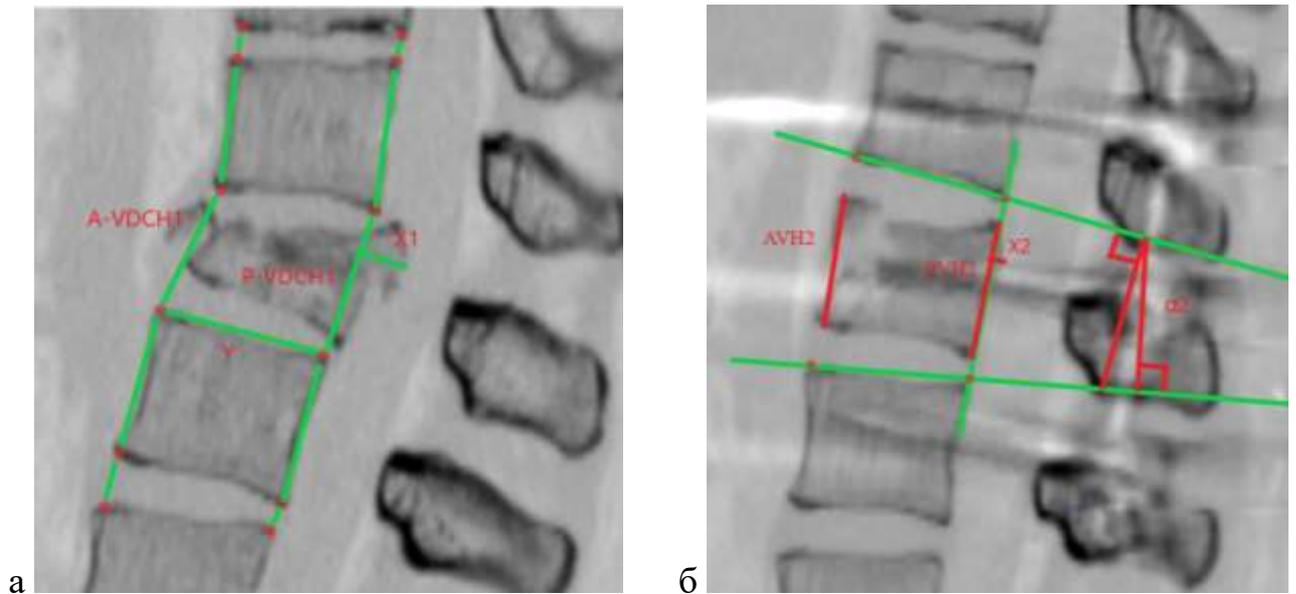


Рисунок 16 – Схема измерений поврежденного сегмента позвоночника в срединной сагиттальной проекции по данным СКТ в формате DICOM на примере перелома тела L1 позвонка: а – до операции; б – после операции

На компьютерных томограммах измерялись следующие параметры: передние (AVH) и задние (PVH) размеры тел повреждённых и смежных позвонков; передние (A-VDCH) и задние (P-VDCH) размеры позвоночно-дискового комплекса; величина деформации передней стенки позвоночного канала (X), обусловленная смещением фрагментов повреждённого позвонка; размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка (Y); сегментарный угол α .

Оптимальным параметром оценки являлась бы степень уменьшения просвета позвоночного канала при закрытой декомпрессии. Однако проведение ламинэктомии у части пациентов делает невозможным достоверное определение данного показателя, что обусловило выбор альтернативных критериев анализа.

Математические расчёты исходных индивидуальных размеров повреждённого тела позвонка и двух смежных межпозвоночных дисков представлены в предыдущем разделе. Дооперационные и послеоперационные (AVH и PVH), а также величины A-VDCH и P-VDCH оценивались в процентах относительно рассчитанных индивидуальных анатомических значений, которые принимались за 100%. Величина передней компрессии позвоночного канала выражалась в миллиметрах, а сегментарный угол α — в градусах.

1. Оценка распределения признаков с использованием графических методов и статистических критериев.

В обеих группах перед оперативным вмешательством показатели AVH1, PVH1, A-VDCH1, P-VDCH1 и X1 характеризовались нормальным распределением. Это подтверждено как визуально, при анализе графиков распределения, так и статистически: значения критерия Шапиро – Уилка находились в диапазоне 0,08–0,70, что не позволило отвергнуть гипотезу о нормальности распределения признаков.

Оценка средних величин исследуемых параметров проводилась с использованием 95% доверительных интервалов, что обеспечило статистически обоснованное сравнение между группами.

В таблице 10 представлены усреднённые значения передних и задних вертикальных размеров тел позвонков и позвоночно-дисковых комплексов, а также величина смещения костных фрагментов повреждённого позвонка в сторону позвоночного канала, характеризующая степень передней компрессии.

Таблица 10 – Средние размеры передних и задних размеров тел позвонков, позвоночно-дисковых комплексов и деформации передней стенки позвоночного канала до операции в двух группах, мм

Группа	AVH1	PVH1	A-VDCH1	P-VDCH1	X1
I (n=27)	59,6±4	91,7±1,6	72,1±4	84,5±2,5	8,1±0,9
II (n=23)	59,7±4	91,2±3,2	70,4±3,4	84,3±2,4	7,2±1,1

Анализ данных таблицы 11 показывает, что применение аппаратной репозиции обеспечивает выраженное восстановление высоты повреждённого позвонка и приводит к частичной или полной реформации передней стенки позвоночного канала в обеих группах. Однако эффективность данных процессов различается: во второй группе восстановление анатомических параметров происходит менее выражено, что указывает на снижение потенциала репозиции при более поздних сроках оперативного вмешательства.

Полученные результаты подтверждают влияние временного фактора на возможность полноценной коррекции деформации и восстановления параметров повреждённого позвоночно-дискового комплекса.

Таблица 11 – Средние передние и задние размеры тел позвонков, межтеловых промежутков и деформации передней стенки позвоночного канала после операции в двух группах, мм

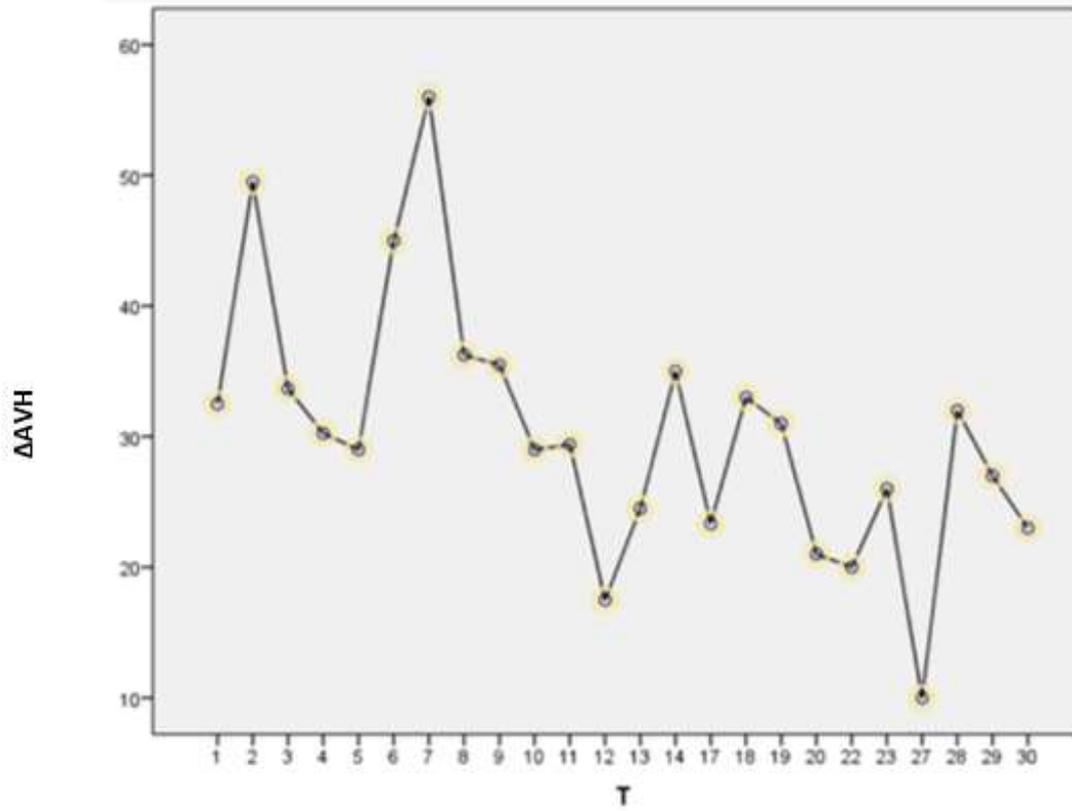
Группа	AVH2	PVH2	A-VDCH2	P-VDCH2	X2
I (n=27)	95,3±1,9	96,9±1,4	93,1±7,2	98,5±2	3,5±0,8
II (n=23)	87,4±4,2	96,6±1,8	92,1±2,8	95,7±2,4	4,0±0,9

2. Восстановление передних (ΔAVH) и задних (ΔPVH) размеров тел поврежденных позвонка в зависимости от времени (Т) после травмы.

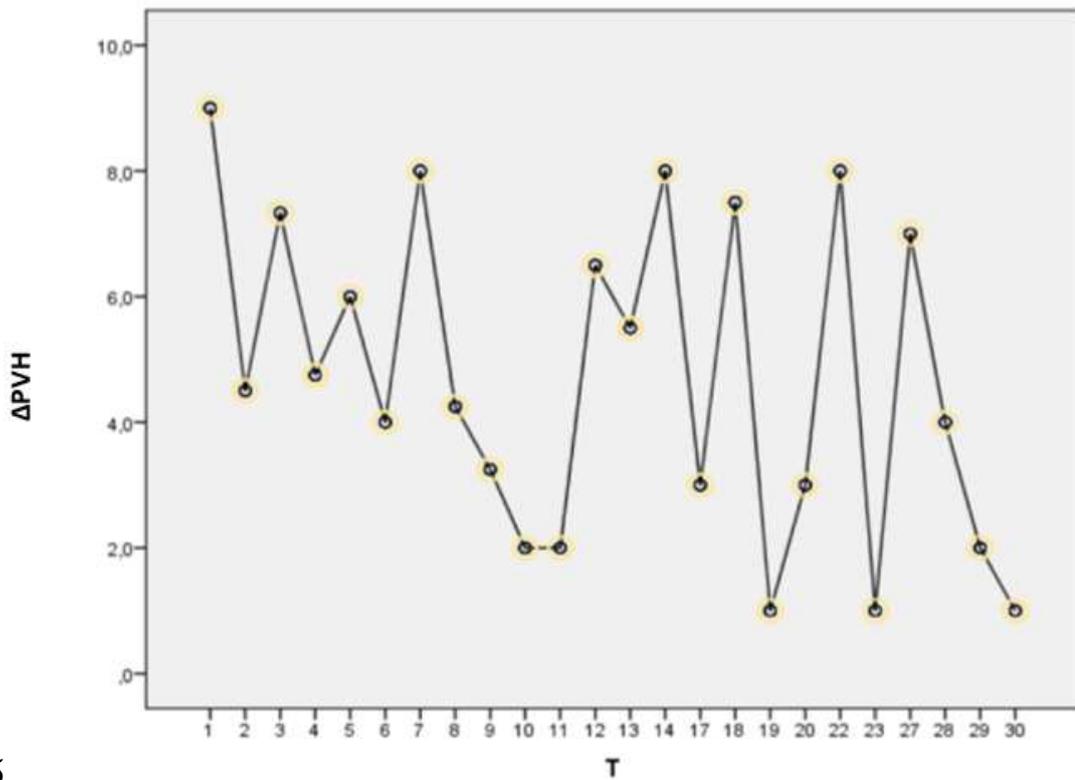
Оценка влияния времени (Т), прошедшего после травмы, на восстановление анатомических параметров повреждённого позвонка, показала различия в динамике коррекции передних и задних размеров тела позвонка.

Для анализа изменений переднего размера ($\Delta AVH = AVH2 - AVH1$) был использован t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Значение критерия Ливиня ($p=0,16$) подтвердило равенство дисперсий, что позволяет корректно применять параметрический тест. Полученный показатель $t=4,6$ при $p<0,001$, а также соответствующее значение критерия Манна – Уитни ($p<0,001$) свидетельствуют о значительно более эффективном восстановлении передней стенки тела позвонка у пациентов, оперированных в ранние сроки (рис. 17 а).

Корреляционный анализ продемонстрировал среднюю отрицательную связь между временем, прошедшим после травмы, и величиной восстановления передней высоты позвонка ($r = -0,51$; $p<0,001$). Это указывает на то, что увеличение интервала между травмой и оперативным вмешательством приводит к уменьшению объёма возможной репозиции. При оценке влияния времени после травмы на восстановление задних размеров тела позвонка $\Delta PVH = PVH2 - PVH1$ не получено статистических различий между двумя группами (рис. 17 б).



а



б

Рисунок 17 – Восстановление высоты передней (ΔAVH) (а) и задней (ΔPVH) (б) стенок поврежденного позвонка в зависимости от времени (T) после травмы, %

Полученные результаты анализа восстановления задних размеров тела позвонка (ΔPVH) свидетельствуют об отсутствии статистически значимых различий между группами, оперированными в разные сроки после травмы.

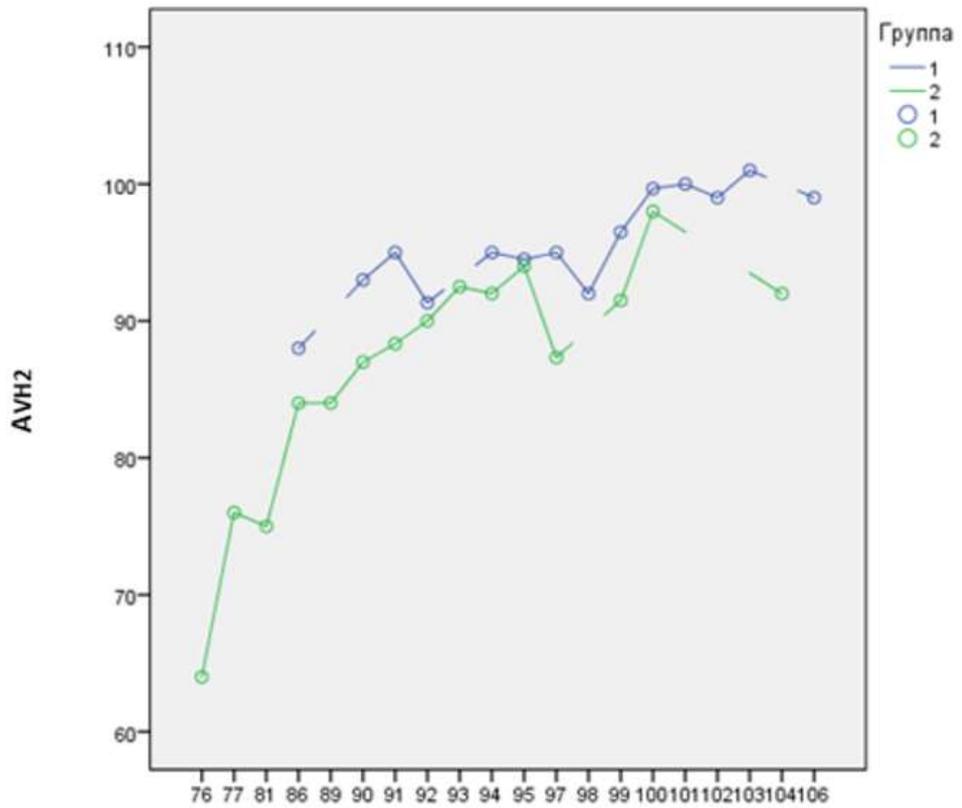
3. Восстановление передних ($AVH2$) и задних ($PVH2$) размеров тел позвонков в зависимости от величины distraction позвоночно-дискового комплекса (VDC).

Анализ показателей восстановления передних размеров тел позвонков ($AVH2$) показал, что их величина была статистически значимо выше при адекватной distraction позвоночно-дискового комплекса спереди ($A-VDCH2$) в первой группе. Значение t-критерия Стьюдента составило 3,64 при $p = 0,001$, данные критерия Манна – Уитни также подтвердили статистически значимое различие между группами ($p < 0,001$).

Как следует из графической зависимости (рис. 18 а), максимальное восстановление передних размеров тел позвонков достигается в тех случаях, когда величина distraction $A-VDCH2$ составляет величину, близкую к 100% от исходного анатомического размера как в первой, так и во второй группах. При этом дальнейшая distraction (свыше 100%) не приводит к дополнительному увеличению $AVH2$, что указывает на наличие физиологически обусловленного предела восстановления. Корреляционный анализ выявил сильную прямую зависимость между $A-VDCH2$ и $AVH2$: коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,683$ при $p < 0,010$.

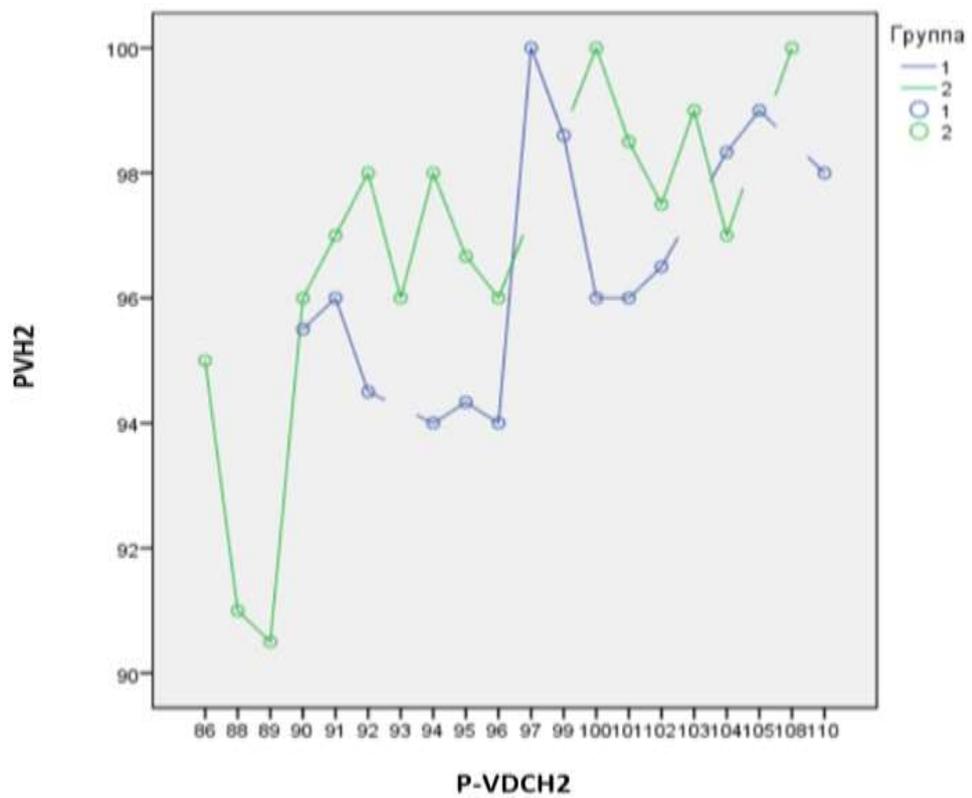
Максимальное восстановление задних размеров тел позвонков ($PVH2$) наблюдалось при distraction позвоночно-дискового комплекса сзади ($P-VDCH2$), достигающей 97% и выше от индивидуального исходного значения (рис. 18б).

Различия между группами при оценке восстановления $PVH2$ не достигли статистической значимости: $t = 1,72$ при $p = 0,091$; критерий Манна – Уитни — $p = 0,09$. В то же время корреляционный анализ продемонстрировал наличие средней прямой связи между степенью distraction $P-VDCH2$ и восстановлением $PVH2$: $r = 0,523$ при $p = 0,010$.



а

A-VDCH2



б

P-VDCH2

Рисунок 18 – Восстановление передних (AVH2) (а) и задних (PVH2) (б) размеров тел позвонков при дистракции передних (A-VDCH2) и задних (P-VDCH2) позвоночно-дисковых комплексов, %

4. Оценка размеров оставшейся (X2) деформации передней стенки позвоночного канала в зависимости от величины distraction VDC.

В первой группе пациентов реформация передней стенки позвоночного канала происходила статистически эффективнее ($p = 0,030$), что указывает на преимущество раннего оперативного вмешательства. Анализ зависимости величины смещения костных фрагментов от степени distraction A-VDCH2 показал, что при достижении distraction, составляющей около 95% от исходного анатомического размера, наблюдается выраженное уменьшение степени компрессии позвоночного канала в обеих группах (рис. 19 а).

Дальнейшее увеличение A-VDCH (в пределах 100–102% от исходного размера) обеспечивало максимальное устранение сместившихся фрагментов, однако превышение порога 102% не приводило к дополнительному улучшению реформации передней стенки канала. Это указывает на существование физиологически обусловленного «эффективного диапазона» distraction, за пределами которого дальнейшее увеличение A-VDCH не даёт рентгенологически значимого результата.

Корреляционный анализ подтвердил наличие слабой обратной связи между остаточной деформацией передней стенки канала (X2) и величиной distraction A-VDCH2: $r = -0,295$ при $p = 0,030$. Несмотря на слабую силу ассоциации, направление связи указывает, что увеличение A-VDCH2 способствует уменьшению компрессии, однако вклад данного фактора ограничен.

При анализе влияния distraction P-VDCH также установлено, что реформация передней стенки позвоночного канала в первой группе происходила более эффективно ($p = 0,010$). При увеличении P-VDCH до 95% от исходного размера наблюдалось значительное снижение смещения костных фрагментов в обеих группах (рис. 19 б). Дальнейшая distraction приводила лишь к минимальному дополнительному эффекту, достигая максимального уровня при величине P-VDCH 101–102% от исходной длины. Как и в случае с передними размерами позвоночно-дискового комплекса, дальнейшее увеличение P-VDCH не сопровождалось значимым улучшением состояния позвоночного канала.

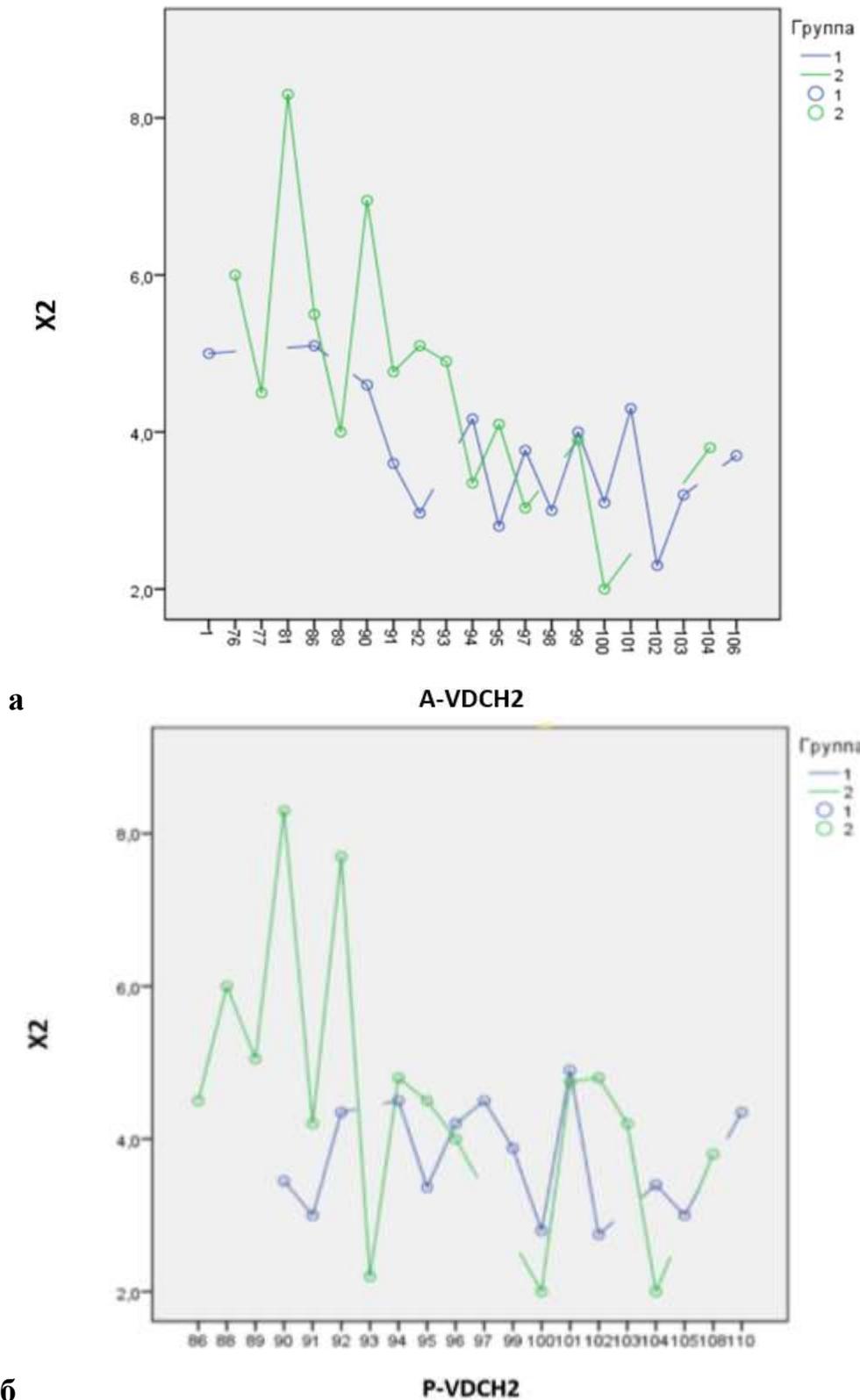


Рисунок 19 –Влияние distraction A-VDCH2 (%) на оставшуюся деформацию передней стенки позвоночного канала (X2) (а); влияние distraction P-VDCH2 (%) на оставшуюся деформацию передней стенки позвоночного канала (X2) (б), мм

5. Влияние угла деформации α на реформацию передней стенки позвоночного канала.

Угол $\Delta\alpha$ представляет собой разницу между измеренным после репозиции сегментарным углом и его рассчитанным (исходным) значением. Поскольку эта разность может принимать как положительные, так и отрицательные значения, она служит индикатором качества угловой коррекции. В случаях когда послеоперационный угол α превышает исходный, $\Delta\alpha$ приобретает отрицательное значение, что отражает гиперкоррекцию. При недостаточной коррекции сегментарного угла наблюдаются положительные значения $\Delta\alpha$.

Анализ показал, что величина остаточной деформации передней стенки позвоночного канала (X_2) возрастает по мере увеличения расхождения между исходным и полученным после репозиции углом (рис. 20).



Рисунок 20 – Разница послеоперационного фактического и рассчитанного сегментарного углов ($\Delta\alpha$) в градусах в зависимости сохранявшейся деформации передней стенки позвоночного канала (X_2), мм

Минимальная выраженность деформации отмечалась при отрицательных значениях $\Delta\alpha$, то есть при лёгкой гиперкоррекции угла, обеспечивающей оптимальное анатомическое восстановление передних отделов позвоночного канала. Напротив, при положительных значениях $\Delta\alpha$, превышающих 5° , наблюдалось увеличение остаточной компрессии канала, что указывает на недостаточную коррекцию деформации в сагиттальной плоскости.

Статистический анализ подтвердил значимое влияние величины угловой коррекции на состояние передней стенки позвоночного канала: значение t-критерия составило 3,21 при $p = 0,002$. Корреляционный анализ выявил слабую, но статистически значимую прямую связь между величиной угловой недостаточности ($\Delta\alpha$) и выраженностью остаточной деформации - X: коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,32$ при $p = 0,020$.

При восстановлении анатомии поврежденного сегмента позвоночника в грудном и поясничном отделах важно учитывать не только величину дистракции позвоночно-дисковых комплексов, но и сегментарный угол α . Анализ контрольных СКТ показал, что приближение сегментарного угла после репозиции к рассчитанному индивидуальному значению α обеспечивает минимальную деформацию передней стенки позвоночного канала.

В первые 10 дней после травмы восстановление передних размеров тел поврежденных позвонков достигало в среднем $95,3 \pm 1,9\%$ от рассчитанных величин, задних размеров – $96,0 \pm 1,4\%$. Средняя дистракция VDC составила: передних – $93,1 \pm 7,2\%$, задних – $98,5 \pm 2,0\%$. В группе пациентов, оперированных с 11-го по 30-й день после травмы, восстановление передних размеров тел позвонков составило $87,4 \pm 4,2\%$, задних – $96,6 \pm 1,8\%$ при дистракции передних VDC $92,1 \pm 2,8\%$ и задних – $95,7 \pm 2,4\%$.

Ретроспективный анализ показал, что как размеры дистрагированных VDC, так и сегментарный угол α оказывают значимое влияние на восстановление поврежденного тела позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала. Максимальное восстановление передних и задних размеров тел позвонков наблюдалось при VDC, близкой к индивидуально рассчитанным

значениям. Остаточная деформация передней стенки позвоночного канала (X2) зависела одновременно от величины дистракции VDC и точности коррекции сегментарного угла α .

Таким образом, для точного восстановления анатомии поврежденного позвонка и эффективной декомпрессии содержимого позвоночного канала необходимо учитывать как величину дистракции VDC, так и сегментарный угол α , приоритетно выполняя операцию в ранние сроки после травмы.

3.3 Влияние размеров и положения внутриканальных костных фрагментов на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала

В основе лечения переломов позвоночника с повреждением спинного мозга лежит декомпрессия содержимого позвоночного канала. Костные фрагменты задней части тела позвонка играют основную роль в создании компрессии и повреждении спинного мозга. Непрямая декомпрессия может быть эффективной при смещении костного фрагмента в позвоночный канал не более 50% при сохранной задней продольной связке (Huang J. et al., 2020; Benek H.V. et al., 2021). При этом не все костные фрагменты можно сместить с помощью лигаментотаксиса (Dai J. et al., 2015; Benek H.V. et al., 2021). Прогнозирование эффективности лигаментотаксиса имеет важное значение для выбора оптимальной хирургической тактики. Несмотря на это, пока изучено недостаточно факторов, влияющих на эффективность репозиции позвоночника.

На ретроспективном материале 45 пациентов (25 мужчин и 20 женщин) с повреждениями на уровне тела L1 позвонка было выполнено исследование, направленное на оценку влияния размеров и положения внутриканального костного фрагмента на эффективность закрытой декомпрессии позвоночного канала. В исследование включались пациенты с многооскольчатыми переломами L1 позвонка, сопровождавшимися формированием внутриканальных костных фрагментов, исходящих из задне-верхних отделов тела позвонка.

Критериями исключения служили: множественные повреждения позвонков, нетравматический характер переломов, а также в позднем периоде травмы. Средний возраст пациентов составил $38,2 \pm 3,9$ года.

Согласно классификации AO Spine, у 3 пациентов отмечены повреждения типа A3, у 39 — типа A4, и у 3 — типа B2. В неврологическом статусе по шкале ASIA распределение было следующим: тип C — у 20 пациентов, тип D — у 13, тип E — у 12.

Все пациенты были оперированы из заднего доступа с применением пяти- или шестивинтовой транспедикулярной конструкции. Винты устанавливались в тела позвонков ThXII, LI и LII. С использованием репозиционного устройства выполнялась коррекция угловой деформации повреждённого сегмента, восстановление вертикальных размеров тела LI позвонка, а также закрытая декомпрессия позвоночного канала путём смещения костных фрагментов.

По величине смещения костного фрагмента (X) после операции пациенты были разделены на две группы: первая группа (n=25) – смещение $\geq 50\%$ от первоначального размера фрагмента; вторая группа (n=20) – смещение $< 50\%$. Характеристика групп по типам повреждения позвоночника, полу, возрасту и неврологическому статусу представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристика групп сравнения

Группа	Тип повреждения по АО			Пол		Возраст, лет	Неврологический статус ASIA		
	A3	A4	B2	М	Ж		C	D	E
1 (n=25)	1	22	2	15	10	$31,6 \pm 5,4$	13	9	3
2 (n=20)	2	17	1	10	10	$32,5 \pm 5,8$	7	4	9

На дооперационных и послеоперационных СКТ с помощью программы RadiAnt выполняли мультипланарную реконструкцию (формат DICOM). Проводили расчет и оценку дефицита просвета и площади позвоночного канала на уровне повреждения. Измеряли длину и ширину костных фрагментов, заднюю

высоту поврежденного и смежных тел позвонков (PVH), угол инверсии костного фрагмента (β) и угол между нижней кортикальной пластинкой тела ThXII и кортикальной частью отломка (λ).

Также измеряли и рассчитывали поперечный диаметр позвоночного канала (L) и ширину костного фрагмента относительно этого диаметра. Для уменьшения погрешности все измерения выполнялись дважды и усреднялись.

На рисунке 21 показано измерение длины смещенного костного фрагмента и просвета позвоночного канала. Расчетный диаметр позвоночного канала (Y) на уровне повреждения определялся путем усреднения диаметров каналов соседних позвонков выше и ниже уровня повреждения.

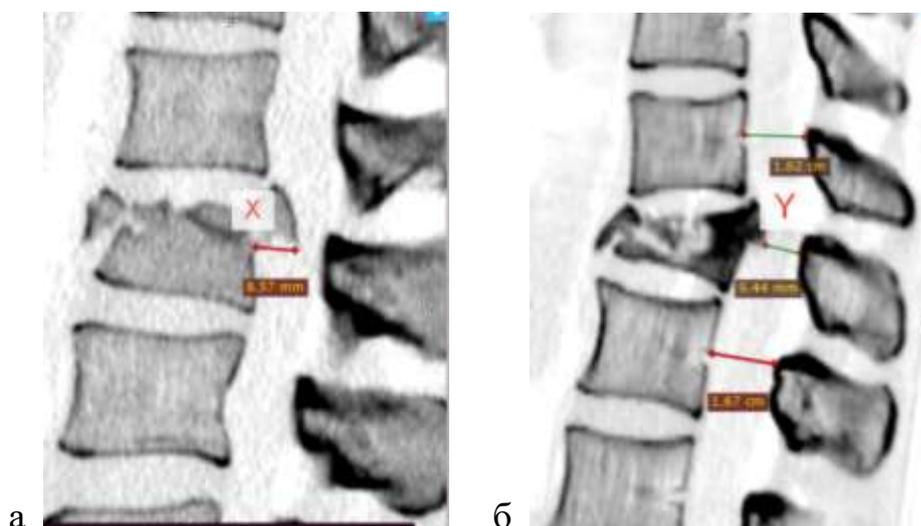


Рисунок 21 – Измерение длины смещения костного фрагмента в сторону позвоночного канала (а); измерение просвета позвоночного канала (б)

Дефицит просвета позвоночного канала рассчитывали по формуле:

$$(Y - Y_1) / Y \times 100\%, \quad (3)$$

где Y_1 – размер позвоночного канала на уровне LI позвонка.

Измерение поперечного диаметра позвоночного канала (L) представлено на рисунке 22а. Расчет дефицита площади позвоночного канала проводили аналогично дефициту просвета. На аксиальных срезах СКТ измеряли площадь позвоночного канала на уровне повреждения и смежных позвонков (рис. 22 б).

Расчет дефицита площади проводили по формуле:

$$(S - S_1) / S \times 100\%, \quad (4)$$

где S_1 – площадь позвоночного канала на уровне LI позвонка.

Высоту задней стенки тела позвонка (PVH) на уровне повреждения рассчитывали в процентах от средней задней высоты тел смежных позвонков. Сегментарный угол α измеряли между нижней замыкательной пластинкой тела ThXII и верхней замыкательной пластинкой тела LI позвонка (рис. 22 в).

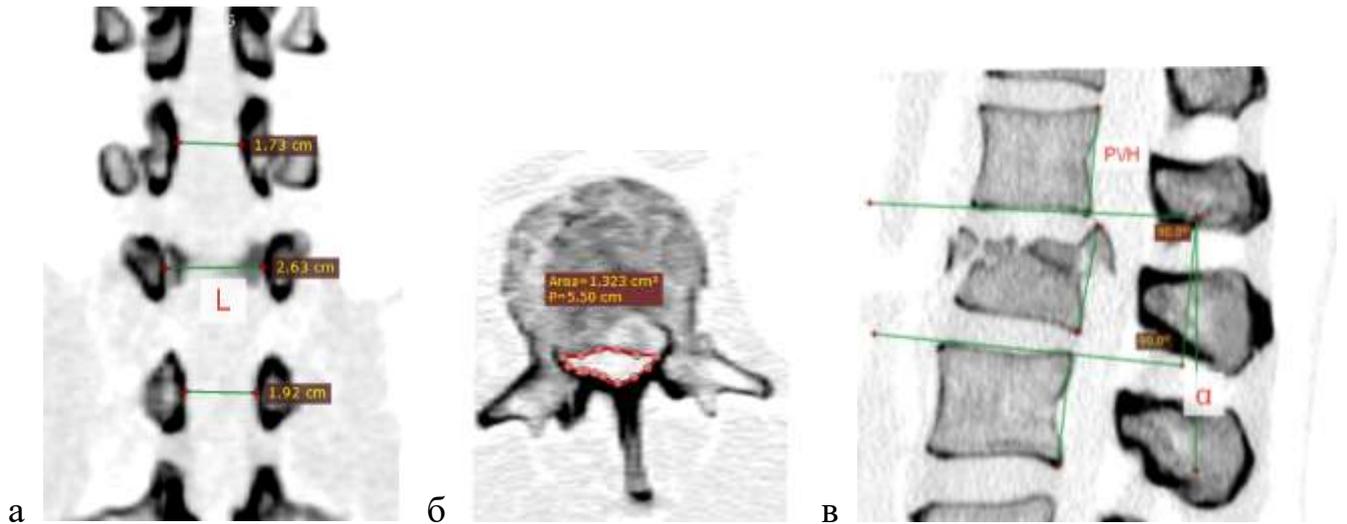


Рисунок 22 – Измерение поперечного диаметра позвоночного канала (L) (а); измерение площади позвоночного канала (S) (б); измерение высоты задней стенки тела позвонка (PVH) и угла сегментарной деформации α (в)

Измерение длины и ширины костного фрагмента представлено на рисунке 23.



Рисунок 23 – Измерение размеров костного фрагмента: ширины в аксиальной плоскости (а); длины в сагиттальной плоскости (б); ширины в фронтальной плоскости (в)

Угол разворота костного фрагмента (β) образуется при пересечении линии, проведенной вдоль задней стенки поврежденного позвонка, и линии на костном фрагменте, являющейся продолжением задней стенки позвонка (рис. 24 а).

В исследование также был введен угол (λ), образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и частью верхней кортикальной пластинки поврежденного позвонка, находящейся на костном фрагменте (рис. 24 б). Установлено, что этот угол практически не изменяется в процессе репозиции позвоночника.

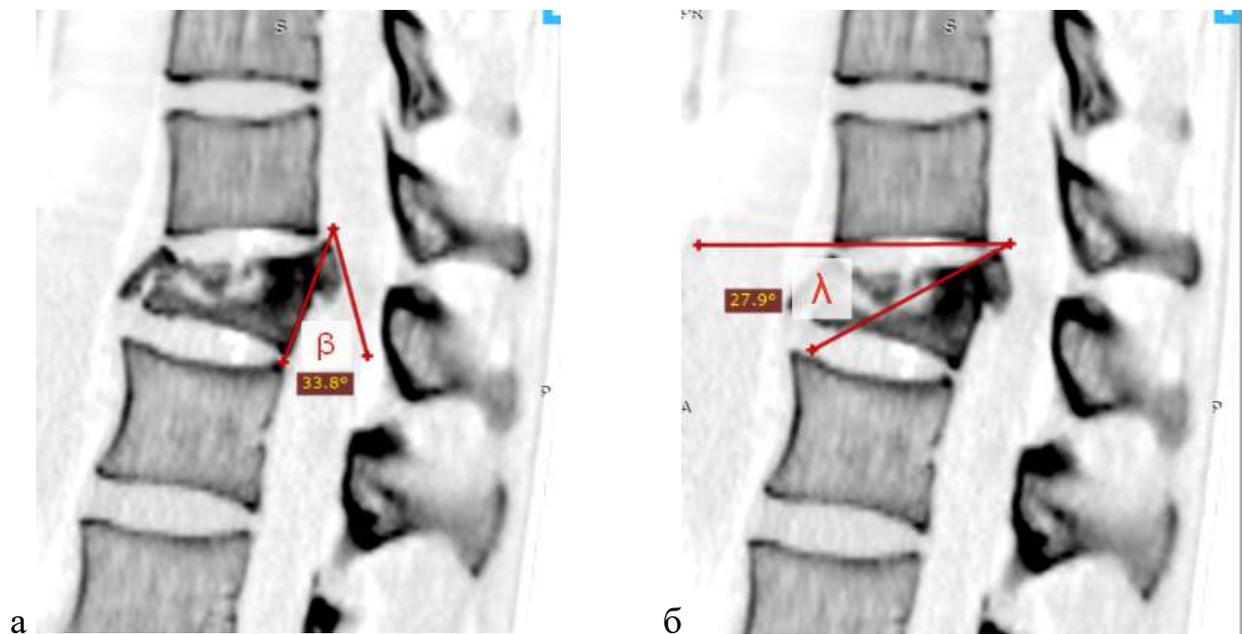


Рисунок 24 – Измерение угла разворота костного фрагмента (β) (а); измерение угла (λ) (б)

Анализ клинико-рентгенологических данных показал, что выявленный у пациентов неврологический статус не демонстрировал достоверной зависимости от степени дефицита просвета позвоночного канала. На диаграмме размаха (рис. 25а) видно, что распределение пациентов по категориям неврологических нарушений не формирует выраженных тенденций, которые могли бы свидетельствовать о прямой взаимосвязи между величиной сужения канала и выраженностью неврологического дефицита.

Для статистической проверки этой связи был применён метод однофакторного дисперсионного анализа, результаты которого не выявили значимых различий между группами пациентов с различным уровнем неврологических расстройств ($p = 0,270$).

В первой группе наблюдался статистически значимо больший дефицит просвета позвоночного канала ($p=0,018$), однако это не оказало влияния на эффективность реформации позвоночного канала. На диаграмме размаха представлена также зависимость неврологических нарушений от дефицита площади позвоночного канала (рис. 25 б). Визуально отмечен больший дефицит площади при неврологических нарушениях степени D, однако статистического подтверждения это не получило ($p=0,170$).

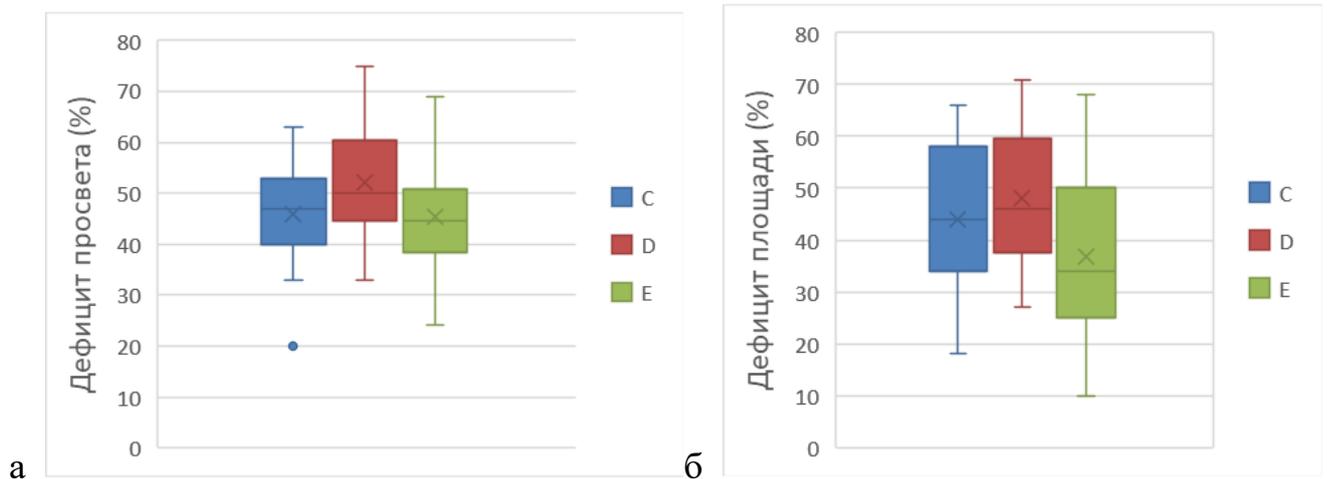


Рисунок 25 – Дефицит просвета позвоночного канала и неврологический статус по ASIA (а); дефицит площади позвоночного канала и неврологический статус по ASIA (б), %

Дефицит площади позвоночного канала преобладал в первой группе и составил $47,2 \pm 5,8\%$ против $38,4 \pm 6,7\%$ во второй группе ($p=0,05$). В таблице 13 представлен статистический анализ сравниваемых параметров. Пациенты с двумя костными фрагментами встречались как в первой, так и во второй группах, при этом их количество было больше в первой группе; критерий χ^2 Пирсона – 0,0938 ($p=0,759$). На неврологический статус пациентов не оказывают влияния длина ($p=0,512$), ширина ($p=0,638$) и количество костных отломков ($p=0,481$), что наглядно отражено на рисунке 26.

Таблица 13 – Результаты статистического анализа сравниваемых параметров в двух группах до и после операции

Параметры	Группа 1 (среднее и 95% ДИ)	Группа 2 (среднее и 95% ДИ)	Значимость (p)
Срок от травмы до операции, дни	6,7±3,0 (3,6-9,8)	15,5±5,6 (9,6-21,5)	0,010
Высота отломка, мм	14,4±1,2 (13,2-15,5)	13,9±1,1 (12,8-15,1)	0,560
Ширина отломка, мм	18,2±2,3 (15,5-20,9)	22,3±2,6 (19,5-25,1)	0,030
Дефицит просвета позвоночного канала, %	51,3±4,6 (46,5-56,2)	42,9±5,0 (37,7-48,1)	0,018
Дефицит площади позвоночного канала, %	47,2±5,8 (41,2-53,3)	38,4±6,7 (31,3-45,5)	0,050
РВН до операции, %	92,0±1,5 (90,4-93,5)	93,5±1,5 (92,0-95,0)	0,150
Х до операции, мм	8,2±0,7 (7,5-9,0)	6,7±0,8 (5,8-7,5)	0,006
Угол α до операции, град.	-5,9±1,6 (-7,6-(-4,2))	-6,6±2,3 (-9,1-(-4,2))	0,600
Угол β до операции, град.	31,2±4,2 (26,9-35,8)	29,8±4,2 (25,2-34,4)	0,380
Угол λ до операции, град.	42,1±5,0 (36,9-47,4)	38,9±3,2 (35,4-42,4)	0,280
Поперечный диаметр позвоночного канала рассчитанный, мм	22,2±0,34 (21,8-22,5)	22,1±0,38 (21,7-2,6)	0,810
Истинный поперечный диаметр позвоночного канала, мм	26,0±0,9 (25,1-26,9)	25,2±1,0 (24,2-26,2)	0,790
Ширина костного фрагмента относительно истинного поперечного диаметра позвоночного канала, %	69,2±9,2 (59,5-78,9)	86,2±9,6 (76,1-96,2)	0,015
Х после операции, мм	3,2±0,5 (2,7-3,8)	4,9±0,5 (4,3-5,4)	0,0001
РВН после операции, %	97,7±1,8 (95,7-99,7)	96,1±2,0 (93,8-98,3)	0,310
Угол α после операции, град.	6,1±1,3 (4,8-7,5)	3,8±2,0 (1,6-6,0)	0,420
Угол β после операции, град.	14,8±2,7 (12,0-17,6)	23,6±4,1 (19,1-28,1)	0,002
Угол λ после операции, град.	42,6±4,0 (38,5-46,8)	41,1±4,0 (36,6-45,5)	0,580
Средний угол исправления деформации, град.	11,7±1,2 (10,4-13,1)	10,6±2,8 (7,5-13,7)	0,850

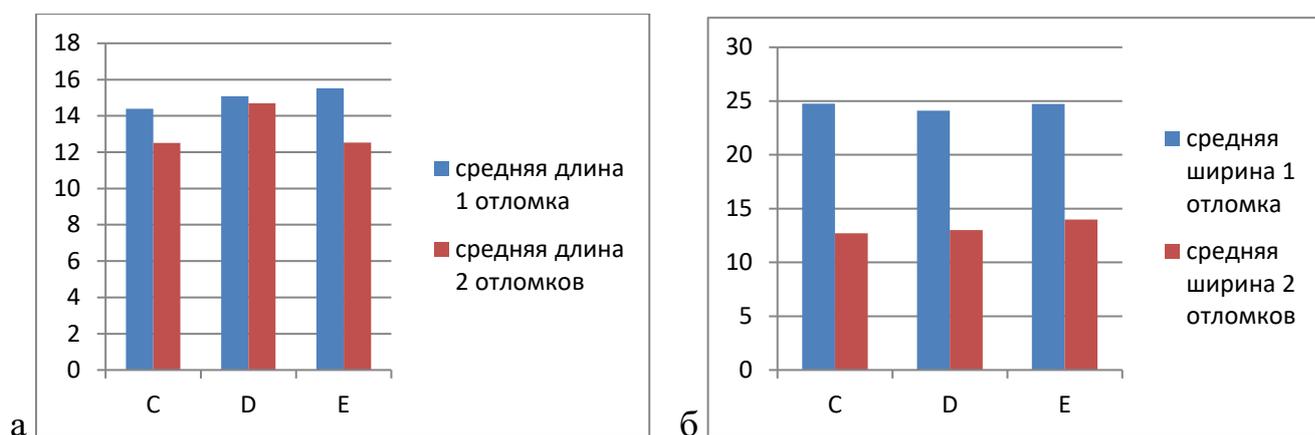


Рисунок 26 – Средняя длина одного или двух отломков (мм) и неврологический статус по ASIA (а); средняя ширина одного или двух отломков (мм) и неврологический статус по ASIA (б)

На изменение положения костных фрагментов, смещённых в позвоночный канал, значительное влияние оказывают сроки проведения операции с момента получения травмы. Более раннее оперативное вмешательство в первой группе позволило достичь лучших результатов ($p=0,010$).

Высота задней стенки повреждённого тела позвонка (PVH) как до, так и после операции была сопоставима в обеих группах. Восстановление высоты задней стенки позвоночного канала статистически значимо не влияло на положение внутриканального костного фрагмента ($p=0,310$), однако задняя стенка в обеих группах была восстановлена почти на 100,0%. Результаты статистического анализа сравниваемых параметров до и после операции представлены в таблице 11.

Средняя ширина позвоночного канала на уровне L1 составила: $22,20 \pm 0,34$ мм в первой группе и $22,20 \pm 0,38$ мм во второй группе.

Величина смещения костных фрагментов в позвоночный канал (X) не оказывала влияния на эффективность закрытой декомпрессии. В первой группе значение X до операции было статистически значимо больше ($p=0,006$), а после операции — значительно меньше ($p<0,001$). Это может быть связано с временем начала операции, поскольку при более позднем вмешательстве репаративные процессы в позвоночном канале ограничивают смещение костных фрагментов.

Различия в углах кифотической деформации (α) до и после операции были статистически не значимыми. В первой группе средний угол до операции составлял

$5,9 \pm 1,6^\circ$, во второй – $6,6 \pm 2,3^\circ$; после операции – $6,1 \pm 1,3^\circ$ и $3,8 \pm 2,0^\circ$ соответственно.

Средние углы разворота костных фрагментов (β) до операции были сопоставимы в обеих группах ($p=0,38$). В первой группе разброс средних величин угла разворота с 95% ДИ составлял $26,9-35,8^\circ$, во второй группе – $25,2-34,4^\circ$. После операции угол разворота костных фрагментов значительно уменьшился в первой группе, что способствовало более эффективной реформации позвоночного канала.

Углы между нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и кортикальной пластинкой костного фрагмента (λ) в обеих группах были близки ($p=0,28$). После операции в первой группе угол практически не изменился, а во второй группе наблюдалось незначительное, статистически несущественное увеличение с $38,9 \pm 3,2^\circ$ до $41,1 \pm 4,0^\circ$. Причины данного феномена остаются невыясненными.

Статистически значимых различий в высоте костных отломков между группами не выявлено ($p=0,56$). При этом наблюдалась значимая разница по ширине отломка ($p=0,03$): во второй группе средняя ширина составляла $22,3 \pm 2,6$ мм, тогда как в первой – $18,2 \pm 2,3$ мм. Расчёт отношения ширины костного фрагмента к истинному поперечному диаметру позвоночного канала также выявил статистически большую величину во второй группе ($p=0,015$). При отношении ширины костного фрагмента к поперечному диаметру позвоночного канала более $86,2 \pm 9,6\%$ смещение фрагмента из позвоночного канала более чем на 50 % не удавалось. Если ширина фрагмента составляла менее $69,2 \pm 9,2\%$ от поперечного диаметра канала, смещение превышало 50 %.

Таким образом, ретроспективный анализ СКТ пациентов с повреждением тела L1 позвонка и смежных межпозвоночных дисков показал, что дефицит просвета и дефицит площади позвоночного канала, а также длина и ширина внутриканального костного фрагмента не оказывали статистически значимого влияния на неврологические нарушения типов C, D и E по шкале ASIA.

На эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала при повреждении тела L1 позвонка кроме времени оказывали ширина и угол

разворота внутриканального костного фрагмента. Данные результаты подтверждают, что сместить костный фрагмент из позвоночного канала более чем на 50% не удавалось при отношении ширины фрагмента к поперечному диаметру канала выше $86,2 \pm 9,6 \%$, тогда как при отношении менее $69,2 \pm 9,2\%$ смещение превышало 50%. Эти научные результаты были опубликованы в нашей статье (Усиков В.Д., Куфтов В.С., 2023).

3.4 Способ интраоперационного контроля восстановления исходных вертикальных и угловых параметров позвоночно-дискового комплекса

На основании ретроспективного анализа пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника проведено исследование контроля восстановления повреждённого сегмента позвоночника, включающего тело позвонка и два смежных межпозвоночных диска. Получены закономерности восстановления вертикальных размеров повреждённого тела позвонка и реформации передней стенки позвоночного канала в зависимости от величины VDC и сегментарного угла.

По данным СКТ пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника выполнялось предоперационное планирование. С помощью программы RadiAnt производили мультипланарную реконструкцию изображений в формате DICOM. На аксиальных срезах измерялись: AVH и PVH тел повреждённых и смежных позвонков; передняя и задняя высота межпозвоночных дисков на уровне выше и ниже повреждения; длина верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка (Y); а также сегментарный угол (α), образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего от поврежденного позвонков.

На основе полученных измерений выполнялись расчёты исходных индивидуальных параметров позвоночника, включающие восстановление AVH, PVH, A-VDCH, P-VDCH и сегментарного угла.

Суть разработанного метода восстановления исходных параметров заключается в интраоперационном контроле репозиции позвоночника

транспедикулярной системой под визуализацией с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОП). На экране ЭОП линейкой измерялся размер верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка. Путём сравнения с данными предоперационного планирования определялся коэффициент увеличения после каждого снимка ЭОПом. Планируемые размеры A-VDCH и P-VDCH умножались на этот коэффициент, после чего производились измерения фактических размеров на мониторе ЭОП. При расхождении с расчётными величинами выполнялась коррекция позвоночно-дисковых комплексов и сегментарного угла посредством репозиционной системы.

Оптимальная репозиция достигалась при формировании между линией вдоль нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка и линией заднего межтелового промежутка угла, близкого к 90° . В процессе репозиции правильность восстановления контролировалась визуально на мониторе ЭОП с помощью прямоугольного шаблона, при этом сегментарный угол вычислялся по тригонометрической формуле: \sin^{-1} (разница длины позвоночно-дисковых комплексов / длина верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка).

Возможности метода рассмотрены на клиническом примере. Пациент Д., 30 лет. ОПСМТ. Компрессионно-оскольчатый перелом тела LIII позвонка (тип А4 по классификации АО). Нижний парапарез (степень С по ASIA). Нарушение функции тазовых органов. Выполнено предоперационное планирование по данным СКТ.

На рисунке 27а показано, что перпендикуляры, опущенные из точек В и С, расположенных на нижней замыкательной пластинке тела LII позвонка, не совпадают с крайними точками верхней замыкательной пластинки тела LIV позвонка. Сегментарный угол составил $6,5^\circ$. После расчёта исходных параметров получены предполагаемые размеры A-VDCH и P-VDCH (рис. 27 б): передний ($|CD|$) — 51,7 мм, задний ($|AB|$) — 46,0 мм, сегментарный угол — $9,7^\circ$.

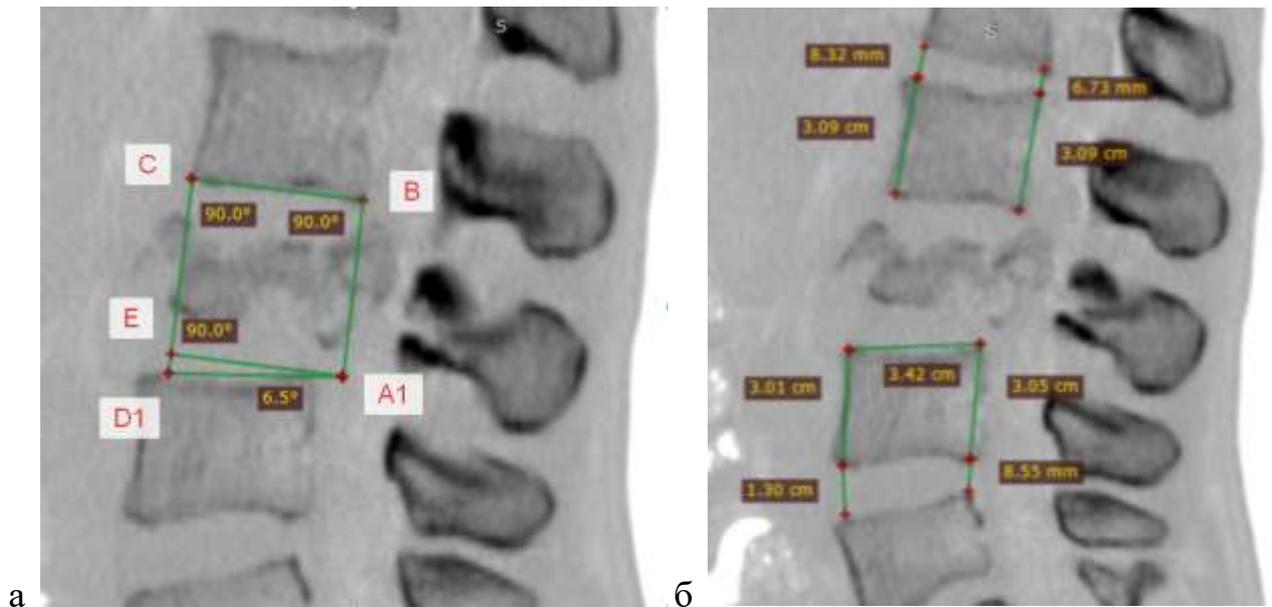


Рисунок 27 – СКТ пациента Д. Срединный сагиттальный срез поясничного отдела позвоночника: выделение сегмента позвоночника, состоящего из тела позвонка и двух прилегающих дисков (а); измерения для предполагаемых размеров А-VDCH, Р-VDCH и сегментарного угла (б)

Во время оперативного вмешательства, ещё до выполнения репозиции, при контроле под ЭОП было выявлено несоответствие перпендикуляров, восстановленных из точек В и С, с соответствующими точками А и D на верхней замыкательной пластинке тела LIV позвонка (рис. 28а). Это указывало на сохраняющуюся угловую деформацию повреждённого сегмента, соответствующую предоперационному состоянию пациента.

Однако благодаря положению больного на животе с опорными валиками под грудиной и тазом сегмент позвоночника подвергался частичному разгибанию. В результате этого расстояния $|A-A1|$ и $|D-D1|$ заметно уменьшались по сравнению с предоперационными данными КТ, что свидетельствовало о частичном самопроизвольном восстановлении анатомических взаимоотношений под действием позиционных факторов.

При предоперационном планировании для подбора имплантов по рентгенограммам применялись прозрачные шаблоны. Существует множество методов измерения углов на рентгеновских снимках; различия между ними минимальны, а средняя погрешность составляет $\pm 3^\circ$ (Wang J. et al., 2018).

Измерения на цифровых рентгенограммах с использованием специализированных программ отличаются большей точностью по сравнению с традиционными методами (Sun Y. et al., 2022).

В процессе интраоперационной репозиции контроль положения точек А и D относительно перпендикуляра $|BC|$ осуществлялся с помощью прямоугольного шаблона. Репозиционная система позволяла изменять размеры А-VDCH и Р-VDCH до достижения оптимального положения. После завершения репозиции перпендикуляры из точек В и С совпали с точками А и D (рис. 28 б).

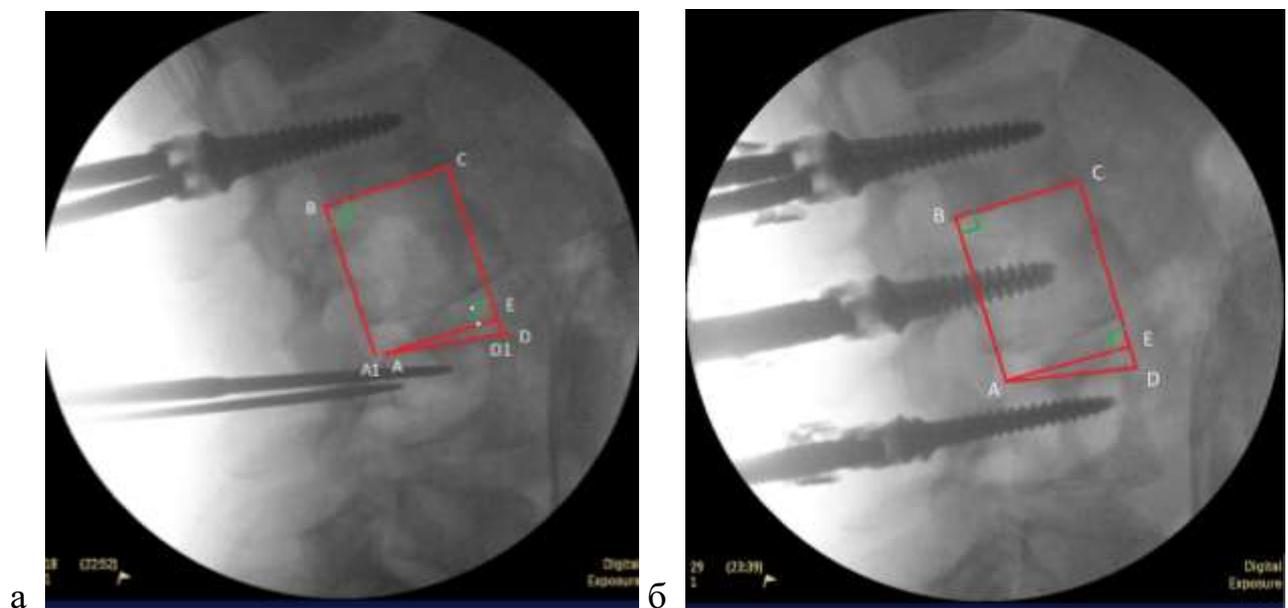


Рисунок 28 – Снимок поврежденного сегмента позвоночника пациента Д. на экране монитора перед репозицией (а) и после репозиции позвоночника (б)

Коэффициент увеличения по размеру $|AD|$ составил 1,84 (СКТ: 34,2 мм; монитор ЭОП: 63,0 мм). Измеренные на экране ЭОП размеры $|AB| = 85,0$ мм и $|CD| = 95,0$ мм после деления на коэффициент увеличения соответствовали расчётным величинам 46,2 мм и 51,6 мм. Угол DAE, вычисленный на мониторе ЭОП, составил $9,2^\circ$, что близко к прогнозируемому ($9,7^\circ$).

По данным послеоперационного СКТ, размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарный угол совпадали с рассчитанными при предоперационном и интраоперационном планировании (рис. 29; табл. 14).

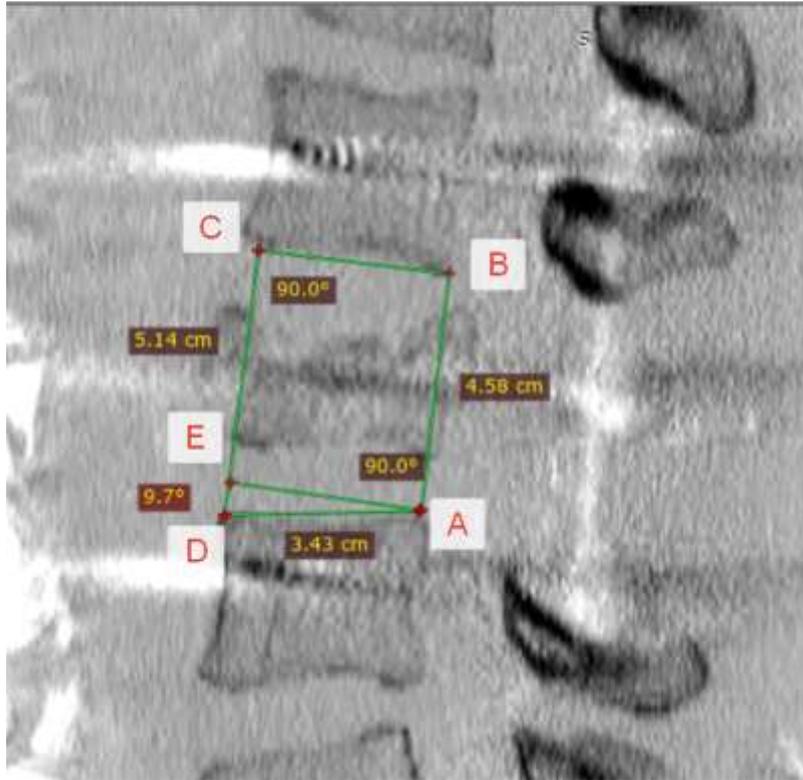


Рисунок 29 – СКТ пациента Д.: срединный сагиттальный срез позвоночника после операции

Таблица 14 – Сравнение межтеловых промежутков, сегментарного угла деформации по данным СКТ и экрану монитора ЭОП у пациента Д.

Виды исследования	$ AB $, мм	$ CD $, мм	Угол α , °.
СКТ до операции (рассчитанные)	51,7	46,0	9,7
Экран монитора	51,6	46,2	9,1
СКТ после операции	51,4	45,8	9,6

Размеры $|AB|$ и $|CD|$ и сегментарный угол α на экране монитора и СКТ-контроле близки к индивидуальным или рассчитанным на этапе операционного планирования.

Таким образом, разработан способ интраоперационного восстановления исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах во время репозиции позвоночника по экрану монитора ЭОПа.

3.5 Разработка компьютерной программы для расчёта необходимых линейных и угловых параметров на уровне повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника

Для минимизации расчетов необходимых параметров на этапах предоперационного планирования и интраоперационного контроля мы разработали компьютерное программное обеспечение «Помощник хирурга» на базе Windows. Приложение «Помощник хирурга» состоит из 4 страниц. Первая страница представляет собой главное меню с тремя кнопками, расположенными по центру экрана друг под другом:

- «Расчеты по восстановлению исходной анатомии позвоночника»;
- «Интраоперационный контроль за восстановлением исходной анатомии позвоночника»;
- «Сохраненные данные о пациентах».

Каждая из кнопок является переходом на другие страницы. После нажатия на кнопку «Расчеты по восстановлению исходной анатомии позвоночника» осуществляется переход на вторую страницу. Сверху страницы расположен заголовок: «Расчеты по восстановлению исходной анатомии позвоночника».

Ниже расположена надпись: «Введите данные пациента:» и поле для ввода информации. Рядом расположена кнопка «Ок», после нажатия которой (при условии наличия хотя бы одного символа в поле для ввода информации) появляется фраза: «Введите следующие параметры поврежденного отдела позвоночника, обозначенные на рисунке, для расчета параметров исходной анатомии позвоночника».

Ниже расположены следующие ячейки, а также рисунок справа (табл. 15). В первой колонке – ячейки для ввода числовой информации, во второй колонке – результаты расчетов по обозначенным формулам (цифры в кавычках – номера строк второй колонки, из которых используется введенная пользователем числовая информация, подстрочные индексы – номера граф), в третьей колонке – наименования ячеек.

Таблица 15 – Содержимое второй страницы приложения

Параметры сло- манного отдела позвоночника	Расчетные параметры исходной анатомии позвоночника	Параметры для измерения позвоночника	Схема позвоночника
1	2	3	4
(Обязательно для ввода)		1 – передняя высота межпозвоночного диска над телом вышележащего позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		2 – задняя высота межпозвоночного диска над телом вышележащего позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		3 – передняя высота вышележащего тела позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		4 – задняя высота вышележащего тела позвонка, мм	
	$\frac{"3_1" + "7_1"}{2}$	5 – передняя высота тела поврежденного позвонка, мм	
	$\frac{"4_1" + "8_1"}{2}$	6 – задняя высота тела поврежденного позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		7 – передняя высота нижележащего тела позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		8 – задняя высота нижележащего тела позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		9 – передняя высота межпозвоночного диска под телом нижележащего позвонка, мм	

1	2	3	4
(Обязательно для ввода)		10 – задняя высота межпозвоночного диска под телом нижележащего позвонка, мм	
(Обязательно для ввода)		11 – размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка, мм	
		12 – минимальный размер позвоночного канала на уровне тела вышележащего позвонка, мм	
	$\frac{"12_1" + "14_1"}{2}$	13 – минимальный размер позвоночного канала на уровне тела поврежденного позвонка, мм	
		14 – минимальный размер позвоночного канала на уровне тела нижележащего позвонка, мм	
	$\sin^{-1} \frac{"16_2" - "17_2"}{"11_1"}$	15 – угол сегментарной деформации, образованной нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего позвонка, градусов	

1	2	3	4
	$"5_2" + "1_1" + "9_1"$	16 –расстояние от переднего края нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка до переднего края верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка, мм	
	$"6_2" + "2_1" + "10_1"$	17 –расстояние от заднего края нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка до заднего края верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка, мм	
	$\left(\frac{"13_2" - "13_1"}{"13_2"}\right) \times 100\%$	Дефицит просвета позвоночного канала, %	
	$\frac{"5_2" - "5_1"}{"5_2"} \times 100\%$	Потеря передней высоты тела позвонка, %	
	$\frac{"6_2" - "6_1"}{"6_2"} \times 100\%$	Потеря задней высоты тела позвонка, %	

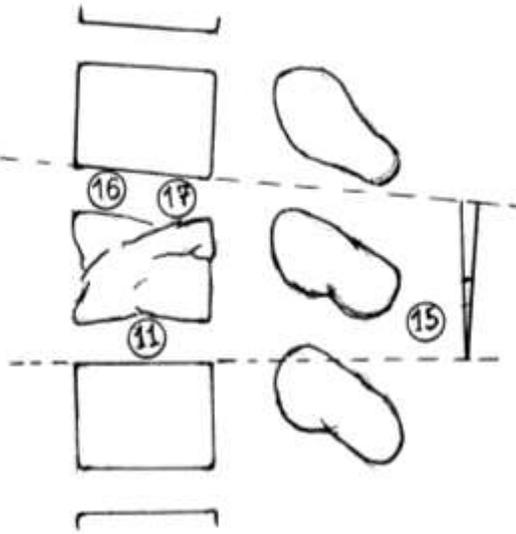
Ниже расположены кнопка «Рассчитать», после нажатия на которую во втором столбце отображаются расчеты; кнопка «Сохранить», после которой введенная и рассчитанная информация сохраняется, а также кнопка «Вернуться», возвращающая пользователя на первую страницу.

После нажатия на первой странице кнопки «Интраоперационный контроль за восстановлением исходной анатомии позвоночника» осуществляется переход на третью страницу.

Сверху третьей страницы расположен заголовок: «Интраоперационный контроль за восстановлением исходной анатомии позвоночника». Ниже расположена кнопка: «Выберите пациента:», после нажатия на которую появляется перечень сохраненных ранее данных пациентов.

После выбора пациента появляется рисунок, расположенный, как и на второй странице, а также фраза «Введите размеры параметров 11, 16 и 17, измеренные с экрана монитора». Ниже расположены следующие ячейки, а также рисунок справа. В первой колонке – ячейки для ввода числовой информации 11, 16 и 17 параметра, во второй колонке – результаты расчетов по обозначенным формулам (где цифры в кавычках – номера строк второй колонки, из которых используется введенная пользователем числовая информация, подстрочные индексы – номера граф), в третьей колонке – результаты расчетов со второй страницы, в четвертой колонке – наименования ячеек (табл. 16).

Таблица 16 – Содержимое третьей страницы приложения

Интраоперационные параметры для ввода	Расчетные интраоперационные параметры	Расчетные параметры исходной анатомии позвоночника	Параметры для измерения позвоночника	Схема позвоночника
1	2	3	4	5
(Обязательно для ввода)		="11 ₁ "	11 – размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка, мм	
(Убрать белое окошко)	$\sin^{-1} \frac{"16_4" - "17_4"}{"11_4"}$	="15 ₂ "	15 – угол сегментарной деформации, образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего позвонка, градусы	

1	2	3	4	5
(Обязательно для ввода)	$"16_4"/\frac{"11_4"}{"11_1"}$	="16 ₂ "	16 – переднее межтеловое расстояние (от переднего края нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка до переднего края верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка), мм	
(Обязательно для ввода)	$"17_4"/\frac{"11_4"}{"11_1"}$	="17 ₂ "	17 – заднее межтеловое расстояние (от заднего края нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка до заднего края верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка), мм	

Ниже расположены кнопка «Рассчитать», после нажатия на которую во втором столбце отображаются расчеты, кнопка «Сохранить», после которой введенная и рассчитанная информация сохраняется, а также кнопка «Вернуться», возвращающая пользователя на первую страницу.

После нажатия на первой странице на кнопку «Сохраненные данные о пациентах» появляется окно с выбором сохраненных ранее пациентов. После выбора пациента на экране появляется сохраненная информация с заголовком «Математические расчеты по восстановлению исходной анатомии поврежденного тела позвонка со смежными дисками на модели позвоночника, состоящей из 3 тел позвонков и 4 межпозвоночных дисков» и расположенной ниже информацией.

Ниже расположены кнопка «Экспорт», позволяющая экспортировать данные в указанном формате, и кнопка «Отправить данные на email», после нажатия которой данные отправляются на указанный адрес с возможностью распечатать все измерения и расчеты.

Таким образом, разработанное компьютерное программное обеспечение облегчает расчеты основных целевых показателей восстановления исходной анатомии поврежденного тела позвонка со смежными дисками.

ГЛАВА 4. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНЫХ ШТАНГ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ В ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ УСТРОЙСТВАХ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ФИКСАЦИИ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1 Изучение влияния материала изготовления и диаметра продольных штанг в транспедикулярных устройствах на их прочностные характеристики

Позвоночник представляет собой основную опорную структуру человеческого организма, обеспечивающую выполнение как силовой функции, так и подвижности туловища. Соотношение этих функций определяется жесткостью позвоночника, которая зависит от пола, возраста и индивидуальных анатомических особенностей человека. Снижение жесткости вследствие травмы, заболевания или хирургического вмешательства приводит к нестабильности позвоночного столба (Шевченко Е.Г., 2018; Щедренюк В.В. с соавт., 2010). Напротив, чрезмерное повышение жесткости вследствие патологического процесса или установки ригидного имплантата нарушает биомеханику позвоночника, вызывая перегрузку смежных сегментов (Усиков В.Д. с соавт., 2009; Azadi A., Arjmand N., 2021).

В связи с этим важно понимать, как травма и хирургическое вмешательство влияют на изменение жесткости позвоночника, а также как она варьирует при установке имплантатов. Наиболее распространённым методом фиксации позвоночника являются транспедикулярные системы. Жесткость оперированного отдела напрямую зависит от конструкции транспедикулярного устройства (длины и диаметра винтов, соединительных штанг) и материала их изготовления. Следовательно, оптимизация конструкции и выбор материала имплантата представляют собой значимую научную и практическую задачу.

Экспериментальное определение жесткости ТПУ выполнялось в соответствии с международным стандартом ASTM F1717 (La Barbera L. et al., 2014).

В блоки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, имитирующие тела позвонков по спондилоэктомической модели, вводились транспедикулярные винты, соединённые штангами (балками) из различных сплавов. Конструкции устанавливали в шарнирные захваты испытательной машины TIRAtest 2300 и подвергали циклам нагружения методом сжатия-растяжения. По результатам испытаний определялись значения жесткости конструкции и предельной нагрузки, при которой происходило необратимое изменение формы ТПУ либо повреждение полиэтиленовых блоков.

В эксперименте использовались транспедикулярные винты производства «Синтез», «Конмет» и «КИМПФ». Фиксирующие балки изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, титанового сплава ВТ6 и сплава на основе никелида титана ТН1. Диаметр штанг составлял 5,5; 6,0 и 7,0 мм. Полученные данные показали, что механическое поведение ТПУ определяется прежде всего материалом изготовления штанг и их диаметром.

При использовании нержавеющей стали или титановых сплавов кривая деформации имеет выраженные участки упругого и пластического поведения. Граница между ними соответствует критической нагрузке, при которой начинается текучесть материала конструкции. При разгрузке до этого уровня форма ТПУ практически полностью восстанавливается (рис. 30). При больших деформациях происходит пластический изгиб продольных балок и винтов в зоне их фиксации в полиэтиленовых блоках.

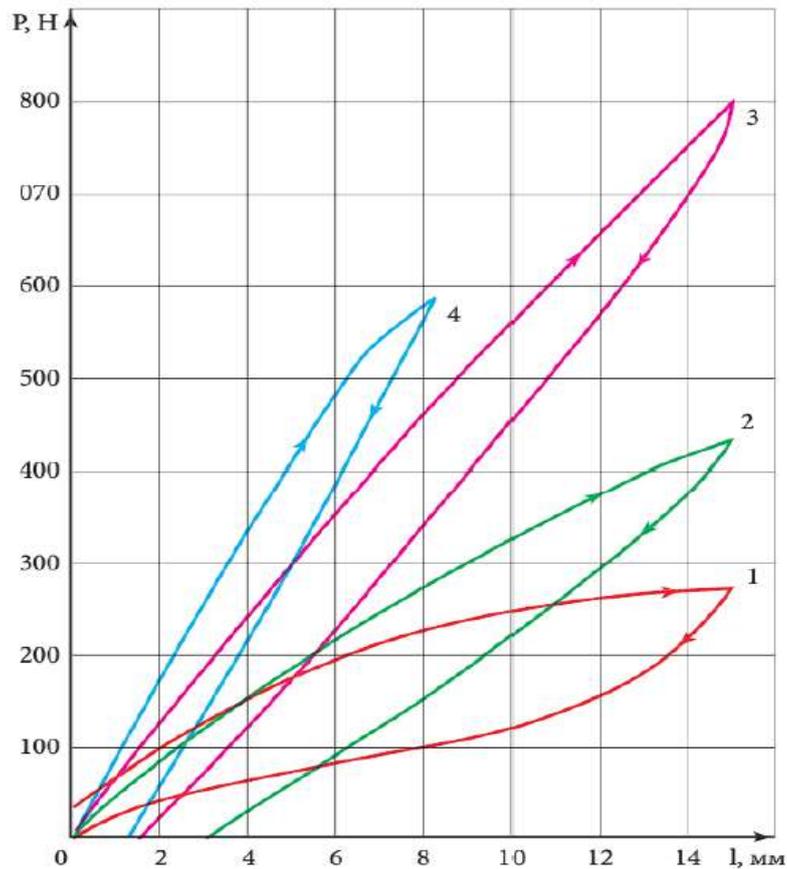


Рисунок 30 – Кривые деформации: 1 – ТПУ «КИМПФ» с балками $\varnothing 5,5$ мм из сплавов ТН1; 2 – ВТ6; 3 – ТПУ «Синтез» с балками $\varnothing 7,0$ мм из сплава ВТ6; 4 – стали 12Х18Н10Т

При больших деформациях полного восстановления исходной формы не происходит. Это обусловлено пластическим изгибом как продольных балок, так и транспедикулярных винтов на границе их погружения в полиэтиленовые блоки. Таким образом, верхней границей области работоспособности ТПУ с балками из различных материалов можно считать нагрузки, отвечающие началу текучести (P_T), и соответствующие им смещения полиэтиленовых блоков (Δl_T). Эти смещения включают в себя упругую составляющую (Δl_y) и составляющую, которая обусловлена пластической деформацией элементов конструкции (рис. 31). Предельно допустимая величина пластической составляющей деформации равна 1,52 мм, т.е. 2% от расстояния между точками закрепления балок, равного 76 мм, в соответствии со стандартом ASTM F1717. Относительно этой остаточной деформации и определяют величину P_T .

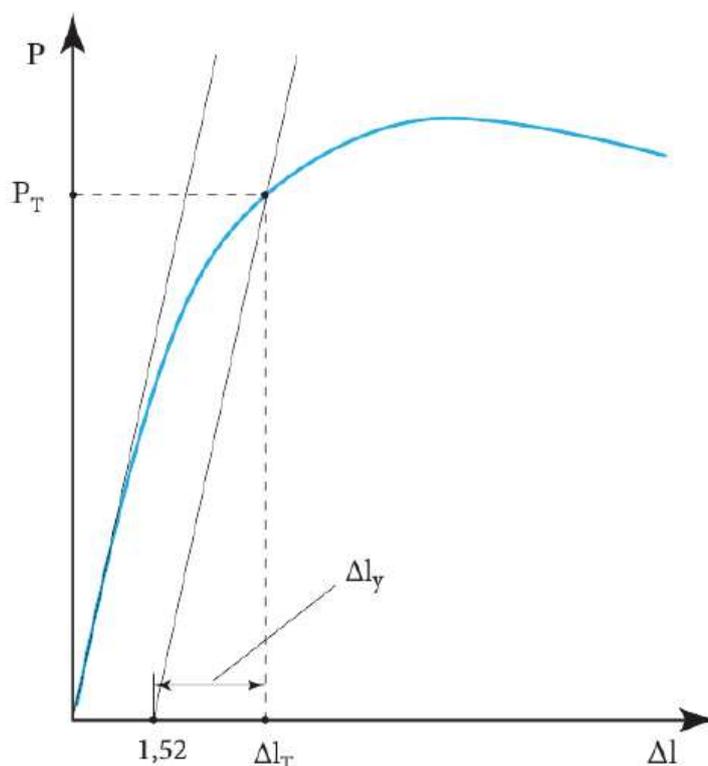


Рисунок 31 – Схематичное изображение кривой деформации и характеристики работоспособности ТПУ

Работоспособность соединительных штанг зависит от их геометрии и свойств материала: чем больше диаметр штанги и предел текучести материала, тем выше допустимая нагрузка и, следовательно, работоспособность ТПУ. В проведенных испытаниях наибольшая нагрузка зарегистрирована у конструкции производства «Синтез» с балками из сплава ВТ6 диаметром 7,0 мм.

Максимальные упругие смещения, помимо указанных факторов, определяются модулем упругости материала. При равных диаметрах минимальные смещения наблюдались при использовании нержавеющей стали, обладающей примерно в два раза большим модулем упругости и на 30% меньшим пределом текучести по сравнению с титаном ВТ6.

Жесткость конструкции в упругой области характеризуется тангенсом угла наклона упругого участка кривой нагружения и вычисляется по формуле: $K = P_t / \Delta l_y$. Максимальная жесткость отмечена у ТПУ со штангами диаметром 7,0 мм из нержавеющей стали, минимальная — у штанг диаметром 5,5 мм из титанового сплава (табл. 17).

Таблица 17 – Характеристики работоспособности транспедикулярного аппарата

Производитель	Материал балок	Диаметр продольных балок, мм	Характеристики по ASTM 1717			Характеристики работоспособности		
			Нагрузка Текущей, Н	Упругое смещение, мм	Жесткость, Н/мм	Максимальные нагрузки, Н	Максимальное смещение, мм	Эффективная жесткость, Н/мм
Синтез	12Х18Н10Т	7,0	540	6,8	92,0	540	7,4	73,0
		6,0	380	5,0	68,0	380	6,7	57,0
	ВТ6	7,0	770	12,6	61,0	770	14,0	53,5
		6,0	530	11,5	45,0	530	13,0	42,5
	ТН1	6,0	280	7,0	42,0	340	15,5	22,0
Конмет	ВТ6	5,5	390	10,5	38,0	390	13,5	29,0
КИМПФ	ВТ6	6,0	520	12,0	59,0	520	14,0	30,5
		5,5	380	10,2	37,5	380	12,5	28,0
	ТН1	6,0	270	7,2	41,0	330	16,0	20,6
		5,5	220	6,3	35,0	280	15,5	18,0

ТПУ со штангами из никелида титана демонстрируют иное механическое поведение. После нагружения выше предела текучести конструкция полностью восстанавливает исходную форму при разгрузке (см. рис. 31). Кривые нагружения и разгрузки при этом имеют выраженные нелинейные участки, что обусловлено сверхупругостью, связанной с прямым и обратным мартенситным превращением материала в цикле «нагрузка – разгрузка».

Поэтому оценка таких систем в рамках стандарта ASTM F1717 не представляется корректной. В данном случае область работоспособности ТПУ будет определяться максимальными нагрузками и смещениями (P_{\max} и Δl_{\max}), после которых происходит полное восстановление исходной формы ТПУ и положения полиэтиленовых блоков, имитирующих позвонки после разгрузки. Эти критические характеристики работоспособности ТПУ определяются напряжениями и деформациями при температуре ее эксплуатации (36–37°C) (Коллеров М.Ю. с соавт., 2002). В этом случае жесткость ТПУ будет определяться отношением величин максимальной нагрузки к максимальному смещению и определяться «эффективным» модулем упругости материала изготовления штанги: $K_{\text{эф}} = P_{\max} / \Delta l_{\max}$ (Коллеров М.Ю. с соавт., 2010). Для штанг из титановых сплавов и стали характеристики текучести (P_T и Δl_T) эквивалентны характеристикам (P_{\max} и Δl_{\max}).

Таким образом, проведенные испытания показали, что механическое поведение ТПУ определяется предельной нагрузкой, смещением позвонков и жесткостью конструкции, а также в значительной степени зависит от материала и геометрии соединительных штанг. Эти параметры могут варьировать в широком диапазоне и должны подбираться индивидуально — в зависимости от характера повреждения или заболевания позвоночника и предполагаемого объема хирургического вмешательства.

Итак, увеличение диаметра фиксирующих штанг и предела текучести материала их изготовления приводит к повышению жесткости и допустимых нагрузок, определяющих работоспособность транспедикулярной системы.

4.2 Оценка устойчивости фиксации при использовании различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах посредством математического моделирования методом конечных элементов

Анализ биомеханического поведения травмированного и стабилизированного поясничного отдела позвоночника проводили методом конечных элементов в пакете программ Ansys. Была разработана геометрическая модель поясничного отдела позвоночника L1-LV, в которой воспроизводили костные (тела позвонков, отростки, дужки), хрящевые (межпозвонковые диски) и связочные (продольные, желтые, меж- и надостистые связки) структуры (Yamada H., Evans F.G., 1973).

Для определения оптимальных характеристик работоспособности ТПУ проводили математическое моделирование методом конечных элементов поясничного отдела позвоночника с различными видами травм и заболеваний (рис. 32). Моделировали клиновидный компрессионный перелом тел позвонков с потерей на $1/3$, $1/2$ и $2/3$ высоты передней стенки позвонка, разрывы меж- и надостистых связок, ламинэктомию (резекция дужки позвонка и желтых связок). К моделям прикладывали сжимающие и растягивающие усилия (до 300 Н) вдоль оси позвоночника, а также в сагиттальной плоскости. Для определения ротационной стабильности прикладывали крутящий момент до 5,0 Н/м. По результатам расчетов определяли линейные и угловые перемещения элементов позвоночника, напряжения и деформации, возникающие в костных структурах и деталях ТПУ. Фиксирующим штангам и винтам задавались физико-механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, наиболее часто используемого для изготовления транспедикулярных аппаратов, или нитинола.

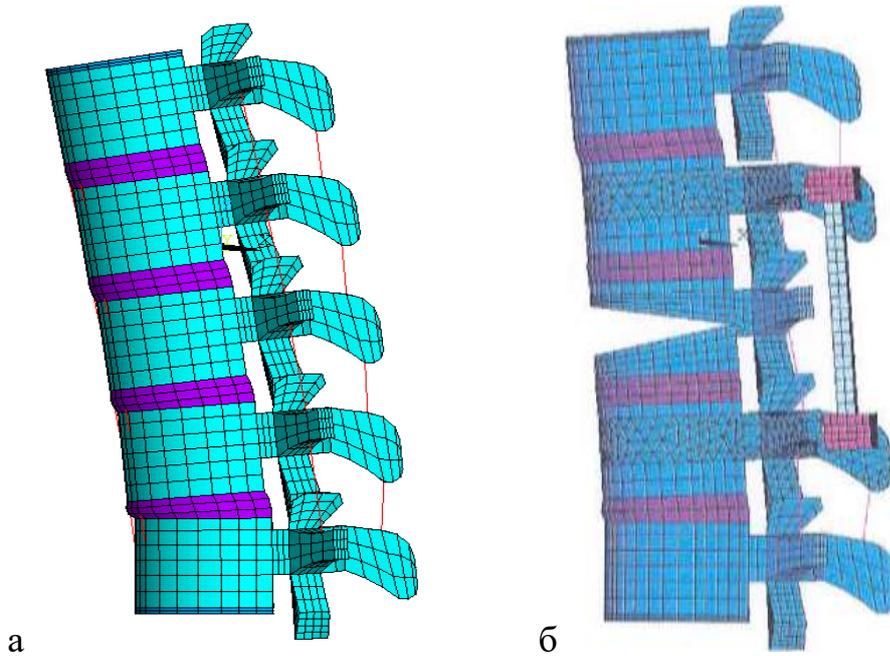


Рисунок 32 – Конечно-элементная модель поясничного отдела позвоночника L1-LV при приложении флексионной нагрузки на уровне LIII (а); компрессионный перелом LIII с ламинэктомией на этом уровне и транспедикулярной фиксацией LII-LIV (б)

Для оценки состояния позвоночника использовали соотношение функциональной подвижности (линейные или угловые перемещения при равных функциональных нагрузках) в травмированном и оперированном состоянии к аналогичной подвижности в нормальном (интактном) состоянии. Поэтому при моделировании здорового позвоночника его стабильность определяется как 100,0%, а после внесения в модель изменений, отвечающих определенной травме или заболеванию, стабильность к соответствующим видам нагрузки уменьшалась. При моделировании позвоночника, укрепленного ТПУ с различными соединительными штангами, вновь определяли стабильность фиксированного позвоночно-двигательного сегмента, а когда требовалось – и смежных сегментов. Данные этого раздела диссертации были опубликованы в статье (Усиков В.Д. с соавт., 2018).

В процессе моделирования к поясничному отделу позвоночника прикладывался изгибающий момент, воспроизводящий функциональную нагрузку, возникающую в позвоночнике при флексии и экстензии (рис. 33). Такой подход позволял максимально приблизить условия виртуального эксперимента к

биомеханическим ситуациям, характерным для повседневной двигательной активности человека.

Оценку стабильности позвоночника выполняли на основе концепции трёхколонного строения остеолигаментарного комплекса, предложенной F. Denis (1984). Согласно данной модели, передняя, средняя и задняя колонны позвоночника обладают различным вкладом в обеспечение стабильности сегмента, и повреждение двух или более колонн свидетельствует о формировании механически нестабильного состояния.

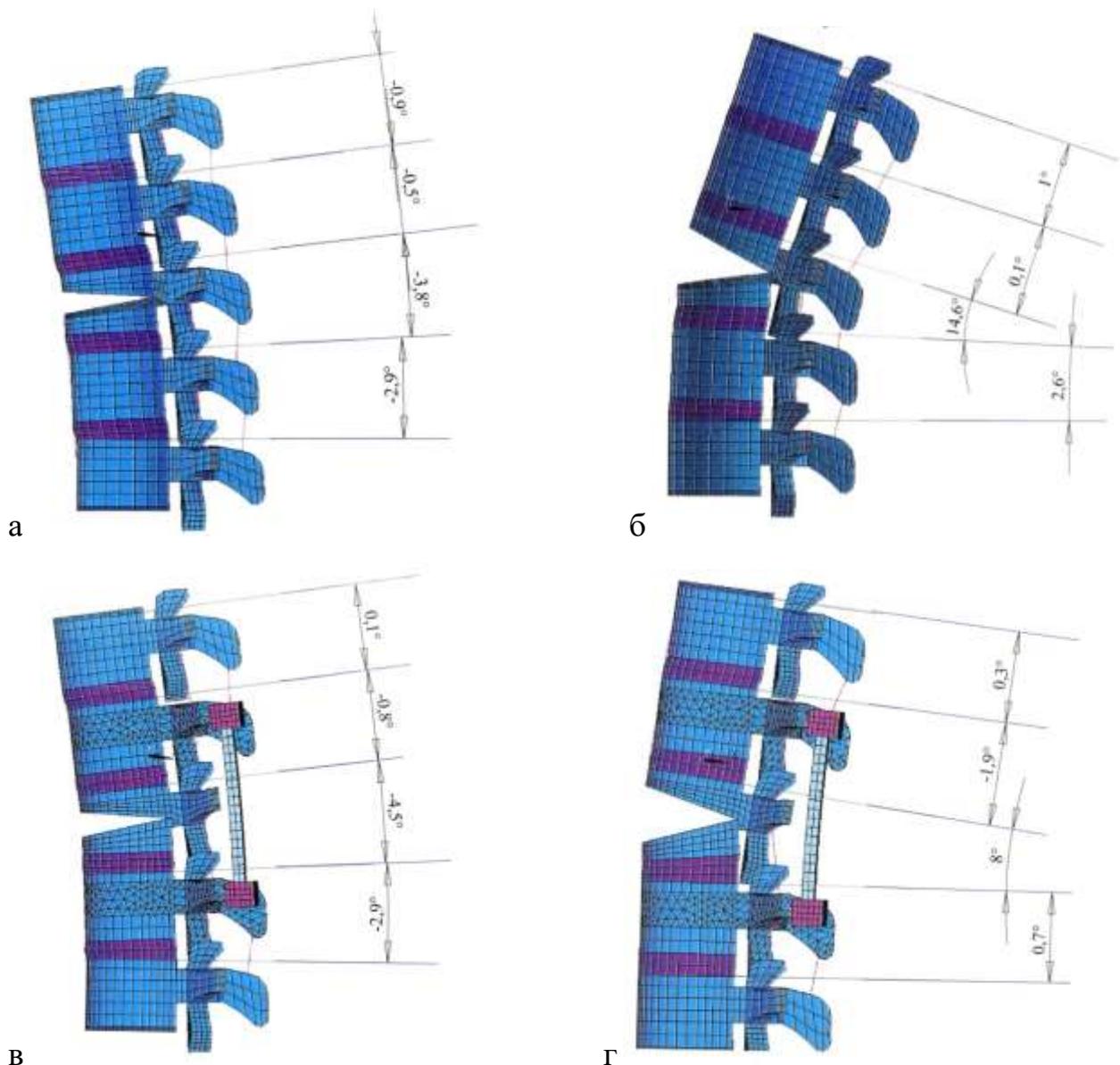


Рисунок 33 – Примеры моделирования подвижности поясничного отдела позвоночника с нестабильным переломом LIII позвонка до и после выполнения ламинэктомии с транспедикулярной фиксацией при флексионных (а, в) и экстензионных (б, г) нагрузках

На первом этапе были проведены расчеты стабильности пораженного сегмента позвоночника при различных типах травм, заболеваний и видах функциональной нагрузки. Данные расчетов приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Стабильность позвоночного сегмента при различных видах травм и заболеваний

Вид травмы или заболевания	Стабильность при функциональных нагрузках, %					
	Сжатие	Растяжение	Флексия	Экстензия	Боковые наклоны	Ротация
Взрывной перелом тела позвонка	16	28	75	14	82	86
Клиновидный перелом 1/3	30	42	78	26	91	96
Клиновидный перелом 2/3	22	38	63	12	84	92
Разрыв меж- и надостистых связок	91	76	62	100	92	96
Ламинэктомия	90	63	43	91	83	91
Спондилолистез	94	81	65	84	87	90

Расчеты показали, что при нестабильном переломе позвонка, сопровождаемом повреждением передней и средней опорных колонн позвоночника, наблюдается резкое уменьшение стабильности на уровне травмированного позвонка как при флекссионных, так и к экстензионных нагрузках. Анализ проведенного моделирования показал, что целесообразно выделить две группы случаев: 1) потеря несущей способности позвоночника в результате разрушения тела позвонка при взрывных переломах, резекции тела позвонка; 2) нарушения связочно-хрящевых структур позвоночника (спондилолистез, ламинэктомия и т.п.).

В первом случае наблюдается значительная нестабильность при осевых нагрузках (растяжение, сжатие); во втором случае осевая стабильность остается на достаточно высоком уровне. В то же время как в первом, так и втором случаях происходит нарушение стабильности при флекссионных нагрузках, а ротация и боковые наклоны не приводят к значительным перемещениям. В первом случае

лимитирующей характеристикой ТПУ будет нагрузка текучести, которая должна превышать, по крайней мере, половину веса больного (более 500 Н). Во втором случае ТПУ должно обеспечивать повышение стабильности при флексионных нагрузках. Поэтому на втором этапе моделирования определяли стабильность поврежденного и смежных сегментов позвоночника при флексионных и экстензионных нагрузках. Результаты расчетов приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Стабильность поврежденного и смежных сегментов, напряжения в позвонках и ТПУ

Вид повреждения и стабилизации	Стабильность при флексии, %			Стабильность при экстензии, %			Напряжения, МПа		
	LI-LI	LI-LIV	LIV-LV	LI-LI	LI-LIV	LIV-LV	Позвонок	Винт	Балка
КП+ЛЭ+фиксация 12X18H10T	210	372	56	36	92	380	1,9	137	123
КП+ЛЭ+фиксация TH1	285	103	112	99	87	180	1,2	111	88
КП+ЛЭ+фиксация BT6	385	169	96	154	97	320	1,4	130	114
ЛЭ+фиксация TH1	208	151	139	110	193	150	0,9	86	65
ЛЭ+фиксация BT6	345	426	85	75	316	156	1,0	139	122

КП – компрессионный перелом; ЛЭ – ламинэктомия.

По результатам моделирования определяли подвижность отдельных сегментов позвоночника по коэффициенту стабильности (К) (Коллеров М.Ю. с соавт., 2013), который отвечает отношению угловых или линейных перемещений сегмента при функциональных нагрузках в нормальном (здоровом) состоянии к таким же перемещениям сегмента в травмированном или стабилизированном состоянии, а также напряжения и деформации, возникающие в элементах транспедикулярного аппарата и в костной ткани вокруг винтов. Результаты расчета коэффициента стабильности в зависимости от вида травмы и используемого материала приведены на рисунке 34.

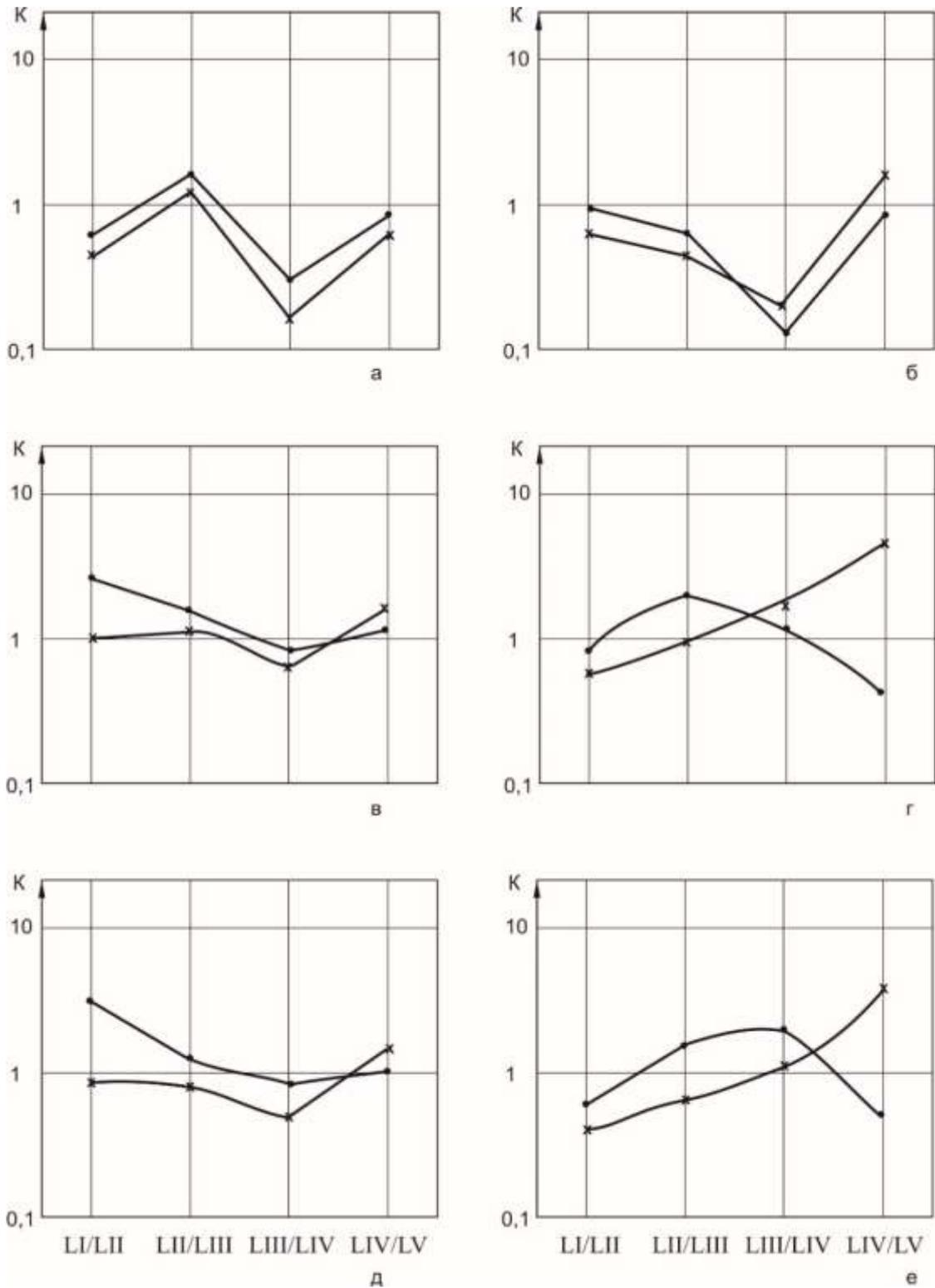


Рисунок 34 – Изменения коэффициента стабильности по сегментам поясничного отдела: а – нестабильный перелом LII; б – нестабильный перелом LIII и ламинэктомия; в – нестабильный перелом LIII с фиксацией конструкцией с балками из нитинола; г – нестабильный перелом LIII с фиксацией конструкцией с балками из сплава Ti-6Al-4V; д – нестабильный перелом LIII и ламинэктомия с фиксацией конструкцией с балками из нитинола; е – нестабильный перелом LIII и ламинэктомия с фиксацией конструкцией с балками из сплава Ti-6Al-4V

После компрессионного перелома и ламинэктомии стабильность поврежденного сегмента при флекссионных и экстензионных нагрузках снижается примерно в 7-8 раз. При этом напряжения в сломанном позвонке возросли в 20 раз по сравнению с напряжениями в нормальном позвонке (0,6 МПа). Фиксация поврежденного сегмента балками из стали обеспечивает высокую ригидность оперированного сегмента к флекссионным нагрузкам и снижение напряжений в позвонке в 4-5 раз. Однако при этом стабильность смежных с оперированным сегментов нарушается: при флекссионных нагрузках она уменьшается почти в 2 раза в нижерасположенном сегменте, а при экстензионных нагрузках – в 3 раза в вышерасположенном сегменте.

Значительные напряжения в костной ткани вокруг винтов приводят к риску резорбции кости тел позвонков вокруг винтов. Кроме того, ригидная стабилизация поврежденного сегмента приводит к чрезмерной перегрузке элементов транспедикулярной конструкции, которая в данном случае вынуждена сопротивляться функциональным движениям без перераспределения нагрузки на структуры стабилизированного сегмента позвоночника. Использование балки из титанового сплава позволяет предотвратить снижение стабильности как в оперированном, так и в смежных сегментах. Проведенные нами расчеты по описанной модели поясничного отдела позвоночника с нестабильным переломом тела LIII и ламинэктомией на этом уровне, стабилизированного системой из 4 винтов, установленных в смежные позвонки и соединенных балками диаметром 6,0 мм из титанового сплава ВТ6 или нитинола, позволили определить максимальные деформации балок (табл. 20)

Так, при обычной ходьбе, когда циклическая составляющая изгибающей нагрузки находится в пределах 50Н, максимальная деформация в титановых балках составляет 0,1%, а для нитиноловых балок – 0,4%. При более значимых функциональных нагрузках (бег, наклоны, приседания) или неконтролируемых движениях (падения и т.п.) деформации могут увеличиваться до 5 раз. В наиболее значимый для реабилитации больного двухлетний период количество таких циклов может быть различно. Необходимо учитывать, что рассмотренный случай является

некоторой усредненной ситуацией, так как при взрывных переломах тел позвонков и повреждении задних структур позвонков опорная способность позвоночника резко снижается и нагрузка на фиксирующие балки увеличивается. В этом случае возрастает и опасность повреждения балок, особенно изготовленных из нитинола.

Таблица 20 – Величина деформации и циклической стойкости продольных балок из титанового сплава и нитинола

Вид движения	Деформация балок, %		Число циклов до разрушения	
	Титановый сплав	Нитинол	Титановый сплав	Нитинол
Ходьба	0,1	0,4	$>5 \cdot 10^6$	$>5 \cdot 10^6$
Наклоны, приседания без нагрузки	0,2	0,8	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Наклоны, приседания с нагрузкой	0,3	1,3	$2 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$
Падение	0,5	2,3	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$

Учитывая тот факт, что основной целью фиксации поврежденного позвоночника является получение надежного спондилодеза, биомеханические тесты благоприятствуют использованию ригидных транспедикулярных систем. Проведение ранней реабилитации также оправдывает использование жестких систем.

Следует отметить, что представленные расчёты обладают относительной точностью, поскольку в модели не учитывались изменения биомеханических свойств костной ткани позвонков и связочного аппарата, возникающие в процессе регенерации и ремоделирования после травмы. Известно, что регенеративные процессы приводят к постепенному изменению плотности, эластичности и структурной организации костной ткани, а также к изменению прочностных характеристик связок. Эти факторы неизбежно влияют на общую стабильность травмированного сегмента позвоночника и, соответственно, должны учитываться при анализе долгосрочных результатов фиксации.

Следует также подчеркнуть, что стабилизированные транспедикулярной конструкцией двигательные сегменты не представляют собой абсолютно ригидную систему. Даже при надёжной фиксации они продолжают испытывать определённые циклические деформации под действием функциональных нагрузок, связанных с повседневной активностью пациента. Повторяющиеся деформации могут приводить к возникновению усталостных напряжений в элементах системы — винтах и продольных балках, что потенциально повышает риск усталостного разрушения конструкции. Величина деформаций винтов и балок определяется уровнем функциональной нагрузки и жесткостью транспедикулярной конструкции, которая зависит от геометрии конструкции и материала, из которого она изготовлена.

По результатам сравнительной оценки вариантов транспедикулярных устройств с фиксирующими штангами, отличающимися модулями упругости, было установлено, что конструкции с титановыми балками из сплава ВТ6 диаметром 7,0 мм обладают оптимальной жёсткостью при действии максимальных функциональных нагрузок. Такая комбинация параметров обеспечивает достаточную механическую стабильность сегмента, что существенно снижает риск усталостных повреждений или переломов элементов фиксации и позволяет поддерживать достигнутую коррекцию деформации позвоночника на протяжении всего периода консолидации.

Таким образом, полученные данные обосновывают целесообразность применения транспедикулярных устройств из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм при выполнении одноэтапного вмешательства из заднего доступа, поскольку такая конструкция сочетает необходимый уровень жёсткости с надёжностью, требуемой для стабильного поддержания коррекции и минимизации вероятности механических осложнений.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СПОСОБА РЕПОЗИЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ОСКОЛЬЧАТЫХ ПЕРЕЛОМАХ И ПЕРЕЛОМОВЫВИХАХ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА

Основной задачей при лечении пациентов с нестабильными повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника является устранение возникшего сдавления сосудисто-нервных образований позвоночного канала, восстановление анатомических взаимоотношений в травмированном отделе позвоночника с его надежной фиксацией (Корнилов Н.В., Усиков В.Д., 2000; Лавруков А.М., Томилов А.Б., 2002; Усиков В.Д. с соавт., 2013). Оптимальным способом фиксации является остеосинтез винтовыми транспедикулярными спинальными системами с одномоментной коррекцией посттравматических деформаций (Усиков В.Д., 1998; Farcy J.P. et al., 1990; Kose K.C. et al., 2014; Pellisé F. et al., 2015). Широкие репозиционные возможности отличают ТПФ от других видов фиксации. За счет эффективной репозиции можно добиться хорошей не прямой декомпрессии позвоночного канала, которая будет сопоставима с декомпрессивной ламинэктомией (Афаунов А.А. с соавт., 2016; Кузьменко А.В., 2017; Venek Н.В., 2021). Для осуществления полноценной репозиции обязательно необходимо проведение разнонаправленных контролируемых редуционных перемещений позвонков поврежденных ПДС с возможностью деротационного маневра (Зарецков В.В. с соавт., 2014; Дулаев А.К. с соавт., 2019; Hadgaonkar S. et al., 2017; Zeng J. et al., 2018).

На основании анализа литературных данных и собственного практического опыта нами был разработан способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов, улучшающий возможности репозиционного устройства «Синтез» (патент РФ на изобретение № 2753133). Задачами изобретения являлось улучшение репозиционных возможностей внутренней транспедикулярной системы «Синтез» (г. Санкт-Петербург) при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов позвоночника.

Для этого необходимо:

- исключить перемонтаж репозиционной системы при уже достигнутой репозиции в поврежденном отделе позвоночника транспедикулярными винтами, введенными в здоровые позвонки, смежными с поврежденным, и тем самым предупредить смещения отломков тела поврежденного позвонка в просвет позвоночного канала и появление неврологических осложнений, которые могут возникнуть при сбросе достигнутой фиксации в поврежденном отделе позвоночника во время демонтажа репозиционной системы и включения в нее редуцированных винтов;
- повысить точность установки редуцированных винтов в поврежденный позвонок за счет проведения последних через отверстия в муфтах, расположенных на наружных продольных штангах;
- упростить остеосинтез позвоночника и уменьшить время оперативного вмешательства, исключив демонтаж и перемонтаж репозиционной системы с включением в нее редуцированных винтов.

Новизна предлагаемого способа заключается в том, что при начальном монтаже репозиционной системы на ее наружных продольных штангах собираются муфты с гайками для установки в них центральных штанг с редуцированными винтами. Затем через отверстия этих муфт производится разметка и последующее введение винтов в расправленный поврежденный позвонок. Муфты в данной ситуации служат своеобразным навигатором для точной установки редуцированных винтов в поврежденный позвонок.

За счет перемещения муфт по наружным продольным штангам в проксимальном или в дистальном направлении устраняется угловая деформация поврежденного позвонка, а перемещением редуцированных винтов в переднем направлении осуществляется редукация позвонка в горизонтальной плоскости с реформацией передней стенки позвоночного канала и закрытой декомпрессией дурального мешка.

Способ осуществляют следующим образом. После подготовки точек введения транспедикулярных винтов в здоровые позвонки (1, 3), смежные с поврежденным позвонком (2), под ЭОП-контролем производится установка транспеди-

ЭОП-контролем, в поврежденный позвонок с двух сторон вводится шило, затем метчиком в позвонке нарезается резьба (рис. 36).

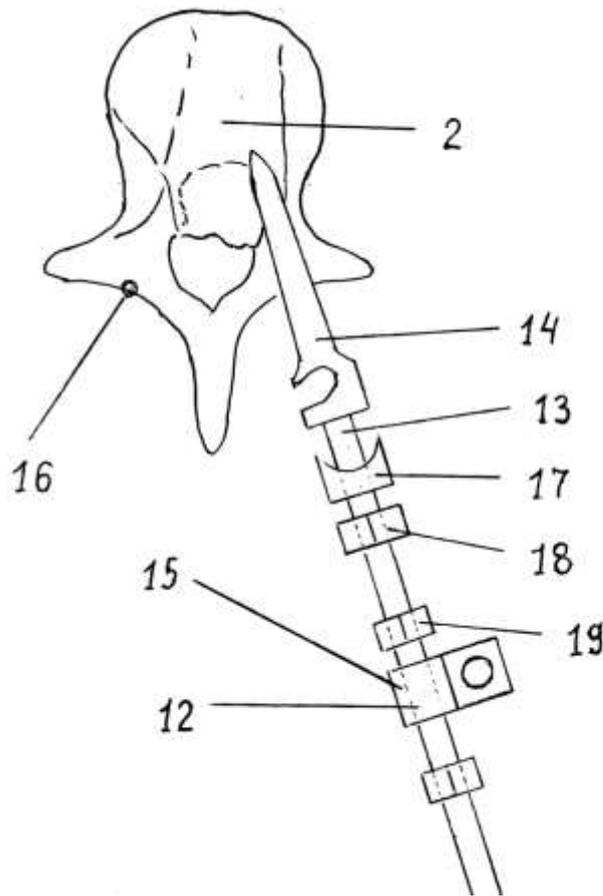


Рисунок 36 – Введение винта в поврежденный позвонок через заранее собранную муфту на наружной продольной штанге

На центральные штанги (13), которые вкручены в головки редуцированных винтов (14), помещаются шайбы (17) и гайки (18), а также накручивается по одной гайке (19), кпереди от муфт (15), которые будут участвовать в перемещении поврежденного позвонка (2). В таком собранном виде центральные штанги (13) свободными концами проводятся через отверстия (12) в средних муфтах (15) в направлении от позвоночника кнаружи. Редуцированные винты (14) на центральных штангах (13) за счет вращения муфт (15) на наружных продольных штангах (9) подводятся к определенным точкам введения в поврежденном позвонке (2).

Затем, как по навигации, проводится введение редукционных винтов (14) через отверстия (12) муфт (15) в поврежденный позвонок (2) до передней кортикальной пластинки тела поврежденного позвонка (2). За счет перемещения муфт (15) по наружным продольным штангам (9) в проксимальном или в дистальном направлении устраняется угловая деформация поврежденного позвонка (2) (рис. 37, 38). При перемещении редукционных винтов (14) в переднем направлении осуществляются редукция поврежденного позвонка (2) в горизонтальной плоскости, восстановление передней стенки позвоночного канала и закрытая декомпрессия дурального мешка. После закрытой декомпрессии дурального мешка винты соединяются с двух сторон отмоделированными фиксирующими штангами (20). Репозиционная система демонтируется, осуществляется послойное ушивание и дренирование раны.

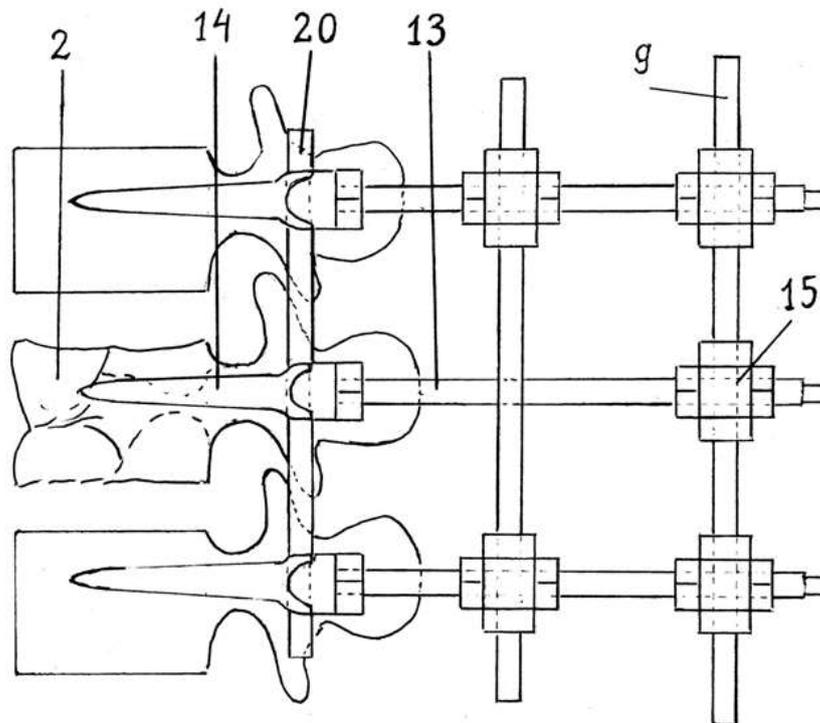


Рисунок 37 – Завершение этапа репозиции и установка фиксирующих штанг, боковая проекция

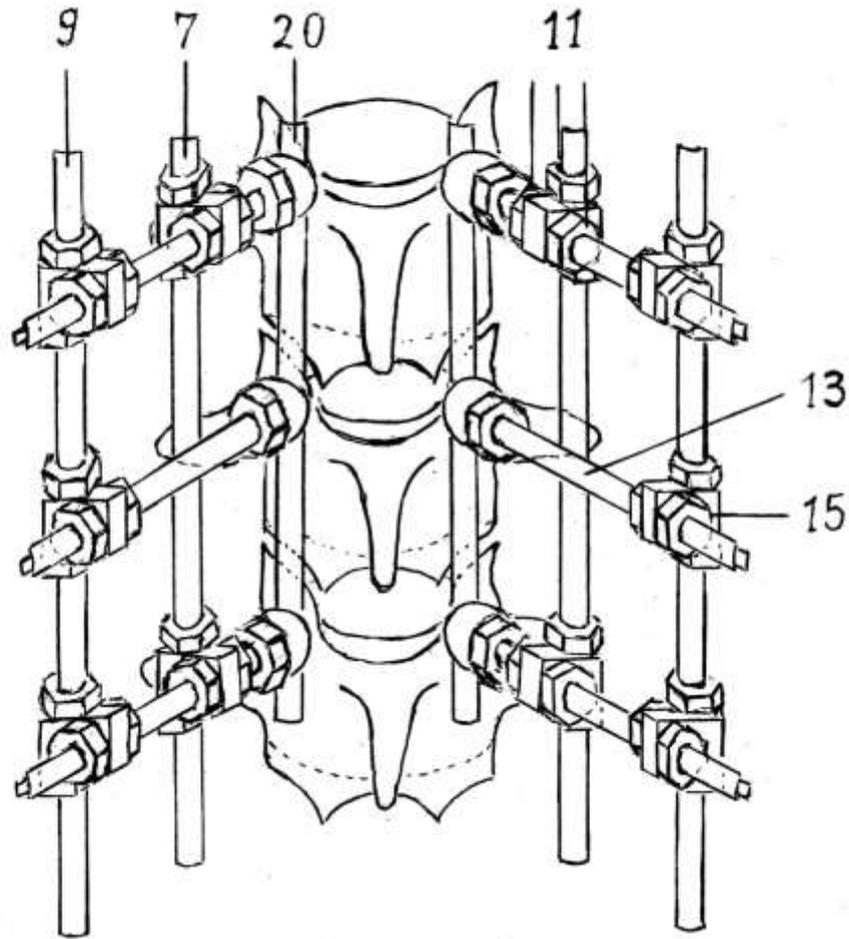


Рисунок 38 – Завершение этапа репозиции и установка фиксирующих штанг, прямая проекция

Предлагаемый способ применен нами при лечении больных с повреждениями позвоночника в грудном и поясничном отделах.

Клинический пример

Пациент И. 32 лет поступил на лечение в нейрохирургическое отделение после кататравмы с диагнозом: ОПСМТ; компрессионно-оскольчатый перелом тела L1 позвонка; вывих ThXII с кифотической деформацией позвоночника (тип С по АО Spine), сдавление спинного мозга; нижний парапарез. После предоперационной подготовки в экстренном порядке выполнен репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез. Анестезия – эндотрахеальный наркоз. Выполнен послойный задний доступ к поврежденному отделу позвоночника. Под ЭОП-контролем через точки введения винтов в тела ThXII и LII

введены винты под углами конвергенции, определенными данными СКТ. Наложена репозиционная система, произведена тракция позвоночника по оси, получено значительное расправление тела L1 позвонка и исправление кифотической деформации позвоночника. Через заранее собранные муфты на наружных продольных штангах под ЭОП-контролем произведена разметка точек введения редукционных винтов. Затем шилом и метчиками намечена траектория введения редукционных винтов. На следующем этапе готовили к сбору редукционные винты: накручивались центральные штанги, компоновались шайбами и гайками для винтов, а на центральные штанги накручивалось по одной гайке. В собранном виде центральные штанги с редукционными винтами, шайбами и гайками для головки винтов и одной гайкой, накрученной на штангах, своими свободными концами проведены в направлении от позвоночника через отверстия в средних муфтах, расположенных на наружных продольных штангах. На свободные концы центральных штанг накручено по одной гайке. Винты в собранном виде с шайбой и гайкой опускались к подготовленным точкам введения L1 позвонка. Далее по сформированным каналам винты были вкручены в тело L1 позвонка, причем конвергенция редукционного винта приняла среднее положение между углами конвергенции винтов в телах ThXII и LII позвонков. Под ЭОП-контролем за счет перемещения муфт на верхних продольных штангах была окончательно устранена угловая деформация L1 позвонка, а дальнейшими манипуляциями с гайками на центральных штангах полностью устранена деформация передней стенки позвоночного канала. Транспедикулярные винты с двух сторон были соединены между собой отмоделированными фиксирующими штангами. Демонтирована репозиционная система, рана послойно ушита с дренажами, наложена асептическая повязка. Со вторых суток отмечался регресс неврологических нарушений, пациент быстро вертикализирован. Рана зажила первичным натяжением, и через 10 дней пациент выписан на амбулаторное долечивание.

ГЛАВА 6. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА

6.1 Усовершенствованная система лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника

Анализ данных литературы, а также неудовлетворительные результаты лечения, разработка методики предоперационного планирования и способа репозиции позвоночника побудили нас к совершенствованию системы хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

Система лечения включает три основных этапа: морфометрию, предоперационное планирование и непосредственно хирургическое вмешательство. В процессе обследования пострадавшего уточняются жалобы, собирается анамнез, проводится оценка общесоматического состояния и неврологический осмотр. При подозрении на сочетанную травму выполняется компьютерная томография предполагаемых зон повреждения, охватывающая голову, все отделы позвоночника, грудной клетку, брюшную полость и таз. Скелетная травма подтверждается данными рентгенографических исследований. Дополнительно проводится лабораторная диагностика. Пациенты в тяжёлом состоянии помещаются в отделение реанимации для стабилизации жизненно важных функций, где им проводится углублённое обследование совместно со смежными специалистами. Основные элементы усовершенствованной системы представлены в таблице 21. Для уточнения характера повреждения спинного мозга, выявления мягкотканых компонентов в позвоночном канале и оценки целостности задней продольной связки при наличии технических возможностей выполняется МРТ позвоночника.

На этапе морфометрии по разработанной методике с использованием программного обеспечения RadiAnt, после выполнения мультипланарной реконструкции (формат DICOM), в срединной сагиттальной проекции проводятся

необходимые измерения. Для определения размеров тел позвонков и межпозвоночных дисков используются крайние точки соответствующих позвонков.

Таблица 21 – Усовершенствования в системе лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника

Этапы системы лечения	Усовершенствования
Этап морфометрии	<ul style="list-style-type: none"> • Введение понятия «позвоночно-дисковый комплекс» (VDC) — структурного блока, включающего тело позвонка и два смежных межпозвоночных диска • Измерения линейных и угловых параметров по данным СКТ с учетом предложенной модели позвоночника, включающей тела трёх позвонков и четырёх смежных межпозвоночных дисков
Этап планирования	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка методики предоперационного планирования восстановления исходных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, на основе результатов морфометрии • Планирование размеров педикулярных винтов • Создание карты разметки с траекториями проведения педикулярных винтов • Разработка компьютерной программы для математических расчетов исходных линейных и угловых параметров при повреждении тела позвонка и смежных дисков
Этап хирургического лечения	<ul style="list-style-type: none"> • Усовершенствование способа репозиции позвоночника и закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала • Разработка способа интраоперационного контроля восстановления рассчитанных размеров позвоночно-дисковых комплексов и сегментарного угла

В основе разработанного предоперационного планирования лежат данные литературы по морфометрии интактного позвоночника и собственные наблюдения, позволившие выявить закономерности, ставшие фундаментом для восстановления

исходного положения повреждённого отдела позвоночника. Во-первых, установлено увеличение размеров тел позвонков и межпозвонковых дисков в грудном и поясничном отделах от ThIV до LIV (Guglielmi G. et al., 2008; Kaur K. et al., 2016; Zhang F. et al., 2018; Machino M. et al., 2021). Во-вторых, анализ интактных сегментов показал, что перпендикуляры, опущенные от крайних точек нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка, проходят через соответствующие крайние точки верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка. Соединение этих точек формирует трапециевидную фигуру, разделяемую на прямоугольник и прямоугольный треугольник. Это послужило основанием для применения тригонометрических функций при математическом расчёте позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла. Подробные методы расчётов приведены в главах 2 и 3.

Проведенные нами математические расчёты подтвердили высокую точность предложенного метода. Разница между фактическими и рассчитанными величинами составила: по передним позвоночно-дисковым комплексам — $1,4 \pm 0,4$ мм, по задним — $1,3 \pm 0,5$ мм, по сегментарному углу — $2,5 \pm 0,6^\circ$.

Предоперационное планирование осуществляется на основе данных обследования и выполненной морфометрии. При этом учитываются не только угловые параметры, но и предложенные нами передние и задние размеры тел позвонков со смежными дисками — передние и задние позвоночно-дисковые комплексы. С помощью программы RadiAnt также оцениваются минеральная плотность смежных позвонков, размеры предполагаемых педикулярных винтов и траектории их введения. Оптимальная последовательность диагностического и лечебного процесса отражена на рисунке 39.

Для упрощения и ускорения выполнения необходимых математических расчётов была создана специализированная компьютерная программа (регистрационное свидетельство № 2023668665). Программный продукт обеспечивает автоматизированный расчёт параметров повреждённого отдела позвоночника. Возможность сохранения и сравнения данных в до-, интра- и послеоперационном периодах обеспечивает объективизацию динамического

наблюдения и позволяет формировать индивидуальный морфометрический профиль каждого пациента.

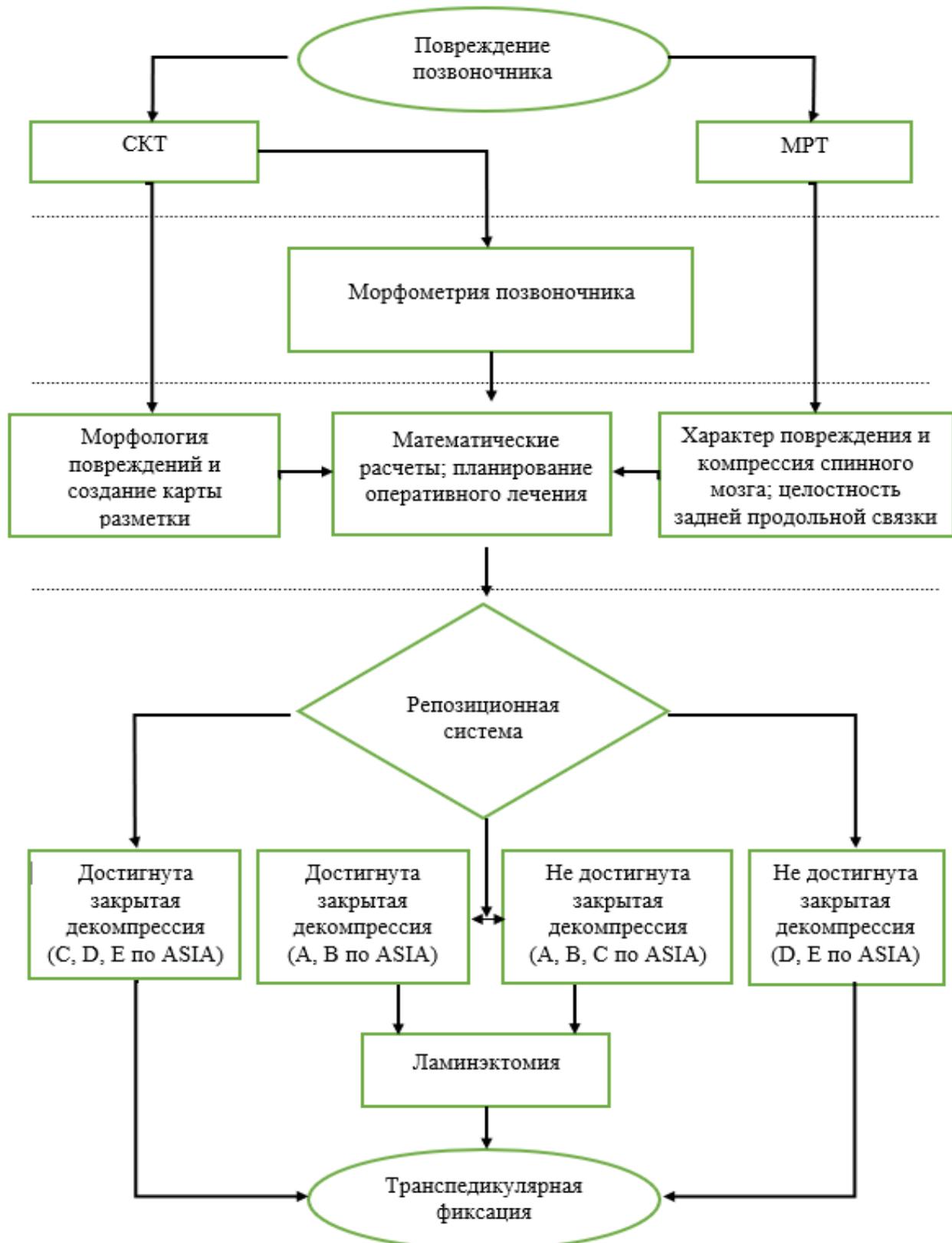
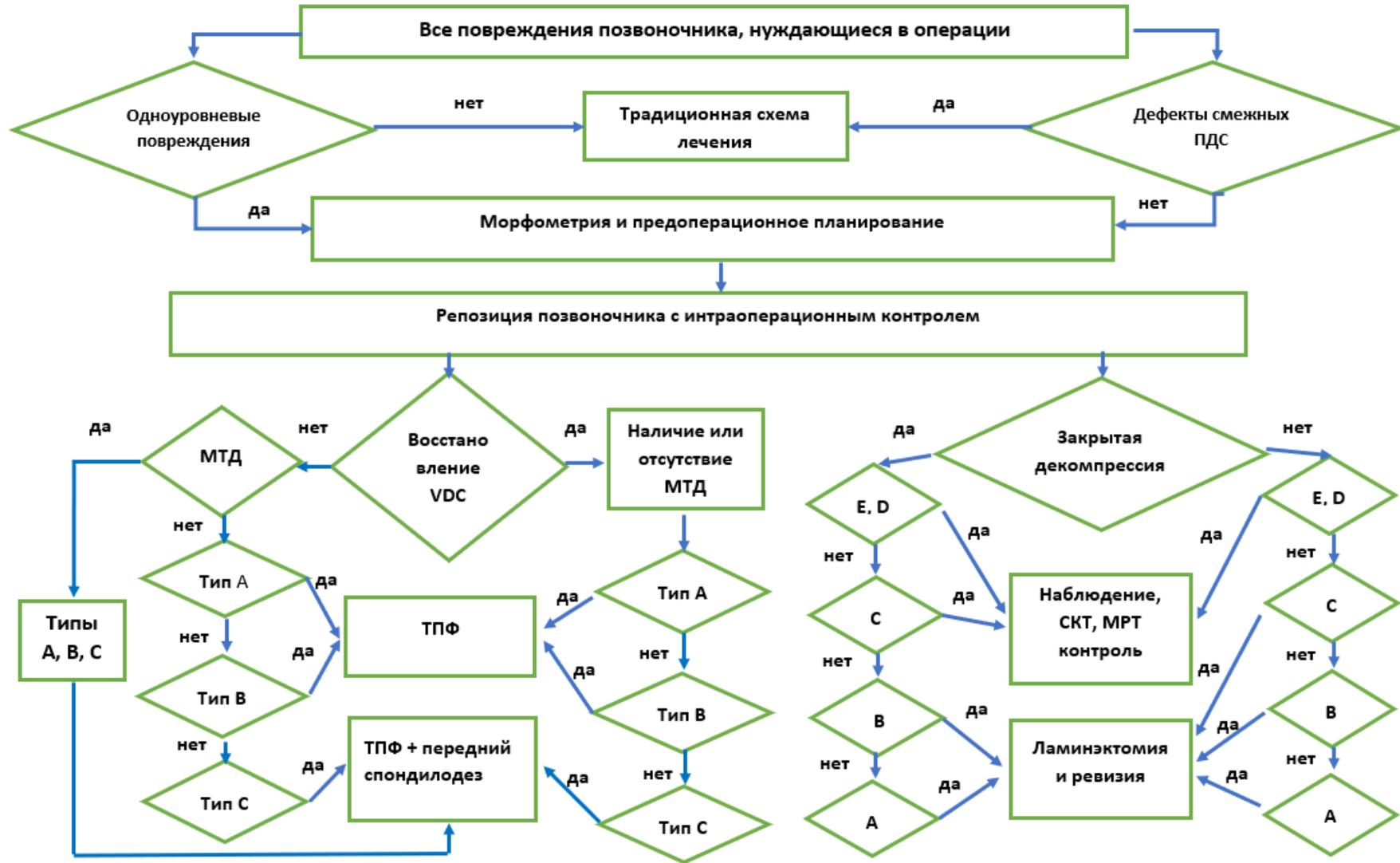


Рисунок 39 – Этапы использования усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника

После установки винтов монтируется репозиционная система, предназначенная для поэтапной дозированной коррекции многоплоскостных деформаций позвоночного столба. Усовершенствованный способ аппаратной репозиции (патент РФ № 2753133) исключает необходимость перемонтажа конструкции и снижает риск смещения костных фрагментов тела повреждённого позвонка в просвет позвоночного канала, что особенно важно при наличии неврологического дефицита. Повышение точности установки редуцированных винтов достигается благодаря их проведению через отверстия в муфтах наружных продольных штанг, что стабилизирует направление и снижает вероятность технических ошибок. Такая конструкция облегчает выполнение остеосинтеза и уменьшает продолжительность операции, а так же способствует снижению операционной кровопотери.

Ключевой задачей исследования являлось не только определение исходных параметров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, но и создание надёжного метода контроля их восстановления в ходе аппаратной репозиции. Поскольку стандартные прозрачные шаблоны ограниченно применимы при травматических повреждениях позвоночника, была предложена оригинальная методика, основанная на определении коэффициента увеличения. Он вычисляется путём сопоставления размеров верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, измеренных на ЭОП в ходе операции, с аналогичными параметрами, полученными при предоперационной морфометрии. Такой подход позволяет минимизировать ошибку, связанную с оптическим увеличением, и обеспечивает более точную оценку достигнутой коррекции.

Таким образом, в результате предоперационного планирования на основании размеров смежных тел позвонков и межпозвоночных дисков определяются исходные размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, оцениваются морфология и степень нестабильности повреждения. Указанные принципы положены в основу алгоритма применения усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника (рис. 40).



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 40 – Алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника

Коррекция размеров позвоночно-дисковых комплексов выполняется поэтапно с применением репозиционной системы. Восстановить расчётные значения удаётся не всегда, что обусловлено временем, прошедшим с момента травмы, выраженностью посттравматического фиброза и степенью снижения минеральной плотности костной ткани. Репозицию прекращали при появлении признаков миграции винтов в направлении замыкательных пластинок или угрозы нарушения их фиксации.

Восстановление морфометрических параметров позвоночно-дискового комплекса является ключевым фактором стабилизации повреждённого сегмента позвоночника и определяет выбор объёма хирургического вмешательства. При повреждениях типов А и В по классификации АО Spine достижение расчётных размеров позвоночно-дискового комплекса обеспечивает адекватную перераспределённую нагрузку между колоннами позвоночника. В этих условиях даже при наличии сохраняющегося межтелового дефекта выполнение транспедикулярного остеосинтеза является достаточным для поддержания достигнутой коррекции деформации и предотвращения вторичного коллапса повреждённого сегмента.

В отличие от этого, повреждения типа С, характеризующиеся нарушением всех трёх колонн и выраженной нестабильностью, требуют дополнительного укрепления вентральной колонны. Отсутствие её реконструкции в подобных случаях существенно повышает риск утраты коррекции, прогрессирования кифотической деформации и несостоятельности задней фиксации в отдалённом послеоперационном периоде.

В ситуациях, когда восстановление параметров позвоночно-дискового комплекса до расчётных значений не достигнуто, однако межтеловой дефект отсутствует, показания к выполнению вентрального этапа хирургического лечения также определяются типом повреждения. Так, при повреждениях типов А и В допустимо ограничение объёма вмешательства задней стабилизацией, тогда как при повреждениях типа С выполнение вентрального этапа является обоснованным

и патогенетически оправданным, поскольку позволяет компенсировать дефицит опороспособности передних отделов позвоночного сегмента.

При всех типах повреждений, сопровождающихся невозможностью коррекции позвоночно-дискового комплекса и сохранением межтелового дефекта, показано выполнение переднего спондилодеза вторым этапом хирургического лечения. Реализация данного подхода направлена на восстановление несущей способности вентральной колонны, создание условий для формирования межтелового костного блока и снижение нагрузки на элементы задней фиксации.

У пациентов с неврологическими нарушениями степеней С–Е по шкале ASIA после восстановления морфометрических параметров повреждённого отдела позвоночника и устранения деформации позвоночного канала либо уменьшения вентральной компрессии более чем на 50% завершающим этапом была транспедикулярная фиксация.

При сохраняющейся вентральной компрессии содержимого позвоночного канала свободными костными отломками тела повреждённого позвонка и наличии неврологических нарушений степеней D и E выполняли транспедикулярную фиксацию, а декомпрессию оставляли для возможного вентрального этапа хирургического вмешательства. Такой двухэтапный подход оправдан при выраженной нестабильности и необходимости восстановления передней опорной колонны.

Для выполнения вентрального этапа применялся разработанный способ остеосинтеза позвоночника (патент РФ № 2559275), позволяющий обеспечить дополнительную стабилизацию позвоночного столба.

У пациентов с неустраненной вентральной компрессией и неврологическими нарушениями степени С выполнялась декомпрессивная ламинэктомия, объём которой определяли интраоперационно. При тяжёлых формах поражения (А и В по ASIA) ламинэктомию и ревизию эпидурального пространства проводили даже при анатомическом восстановлении геометрических параметров позвоночного сегмента, учитывая риск персистирующей компрессии и выраженность отёчно-

контузионных изменений спинного мозга. Этап декомпрессии завершался установкой транспедикулярной конструкции.

Для фиксации применялись транспедикулярные конструкции из титанового сплава ВТ6 диаметром 7 мм. Выбор данного диаметра обусловлен результатами стендовых испытаний и моделирования методом конечных элементов, которые подтвердили оптимальное сочетание жёсткости и допустимой нагрузки. Конструкции такого типа обеспечивают надёжную стабилизацию, особенно при выполнении одноэтапных вмешательств с выраженными деформациями.

Разработанная и внедрённая система хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, основанная на предложенном алгоритме и включающая этапы морфометрии, предоперационного планирования и интраоперационного контроля восстановления индивидуальных параметров, позволила существенно повысить точность коррекции посттравматической деформации. Восстановление анатомического и функционального баланса позвоночника способствует улучшению клинических исходов, снижению длительности операции, уменьшению объёма интраоперационной кровопотери и снижению частоты послеоперационных осложнений. Использование данной системы создаёт предпосылки для стандартизации подходов к лечению повреждений позвоночника и внедрения персонализированных методов хирургической коррекции.

6.2 Особенности лечения пациентов основной группы с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника

В основную группу пациентов были включены 108 больных, хирургическое лечение которых начиналось с предоперационного планирования и расчёта целевых показателей, определяющих оптимальные параметры репозиции позвоночного канала при помощи внутреннего репозиционного устройства. При выборе тактики вмешательства учитывались тяжесть и динамика неврологических нарушений; сроки, прошедшие с момента травмы; спондилометрические характеристики повреждённых сегментов позвоночника; неврологический статус,

а также величина резервного пространства позвоночного канала на уровне травмированных позвоночно-двигательных сегментов (ПДС). Указанные параметры определялись у всех больных на этапе предоперационного обследования, что позволило прогнозировать возможность выполнения не прямой репозиционной декомпрессии за счёт эффекта лигаментотаксиса.

В основной группе оперативные вмешательства выполнялись в различные сроки после травмы: в остром периоде (первые трое суток) – у 41 (38,0%) пострадавшего, в раннем (до четырёх недель) – у 62 (57,4%), в промежуточном периоде (от 4 недель до 3 месяцев) – у 5 (4,6%) пациентов. Операции в позднем периоде (более 3 месяцев) не проводились.

Предоперационное планирование включало построение траекторий введения транспедикулярных винтов по данным СКТ. После мультипланарной реконструкции изображений в формате DICOM в программе RadiAnt траектории определялись в аксиальной и сагиттальной проекциях через центры корней дуг. Для каждого винта рассчитывалась индивидуальная линия проведения, что обеспечивало высокую точность имплантации.

Дополнительно на основании СКТ проводились измерения исходных анатомических параметров: передней и задней высоты тел повреждённого и смежных позвонков, размеров межпозвонковых дисков выше и ниже уровня поражения, минимального просвета позвоночного канала на уровне травмы и смежных сегментов, а также угла сегментарной деформации, образованного замыкательными пластинками смежных тел позвонков. Для систематизации и хранения данных была разработана специализированная компьютерная программа, выполняющая расчёт индивидуальных размеров тел позвонков, позвоночно-дисковых комплексов и сегментарного угла.

Перед проведением измерений подтверждалось наличие одноуровневого повреждения (с вовлечением одного-двух ПДС) и отсутствие аномалий развития позвоночника в исследуемом отделе. По данным О.Ю. Богдановой (2019), именно такие повреждения составляют почти 89% случаев, требующих оперативного

лечения грудного и поясничного отделов позвоночника. При многоуровневых повреждениях расчёт индивидуальных параметров является недостоверным.

Размеры транспедикулярных винтов подбирались с учётом приближения их дистальных концов к передней кортикальной пластинке тела позвонка, особенно при снижении минеральной плотности костной ткани. Это повышало репозиционные возможности конструкции. В верхне- и среднегрудном отделах применялись винты длиной 35–40 мм, в нижнегрудном — 45–50 мм, в поясничном — 50–55 мм. Диаметр винтов составлял 6 мм для верхне- и среднегрудного, и 7 мм — для нижнегрудного и поясничного отделов.

В большинстве наблюдений использовались шестивинтовые транспедикулярные конструкции – у 85 (78,7%) пациентов, у 18 (16,7%) — пятивинтовая, у 4 (3,7%) — четырёхвинтовая и у 1 (0,9%) — восьмивинтовая. В повреждённый позвонок устанавливали один или два винта (104 наблюдения; 96,3%).

Пациентов укладывали на операционном столе на валики под грудиной и тазом, что обеспечивало адекватную поддержку, снижало давление на переднюю брюшную стенку и уменьшало деформацию позвоночного сегмента. Такая позиция способствовала частичному восстановлению высоты повреждённого позвонка за счёт лигаментотаксиса. Оптимальное положение обеспечивало надлежащую вентиляцию лёгких и снижало внутрибрюшное давление, что уменьшало риск эпидурального кровотечения (Cunha P.D. et al., 2023). После ЭОП-разметки выполнялся задний срединный доступ. Средняя длина разреза при доступе на два ПДС составляла 9–10 см, на три ПДС — до 13 см.

Отмечено, что кровопотеря значительно снижалась при последовательном выполнении этапов доступа. После рассечения апоневроза мышцы отслаивались тупым путём с минимальной травматизацией, обеспечивая выделение остистых отростков, дуг и суставов (рис. 41). Дополнительное использование коагуляции при отделении мышц от краёв дуг позволяло снизить интраоперационное кровотечение на доступе до 100 мл.

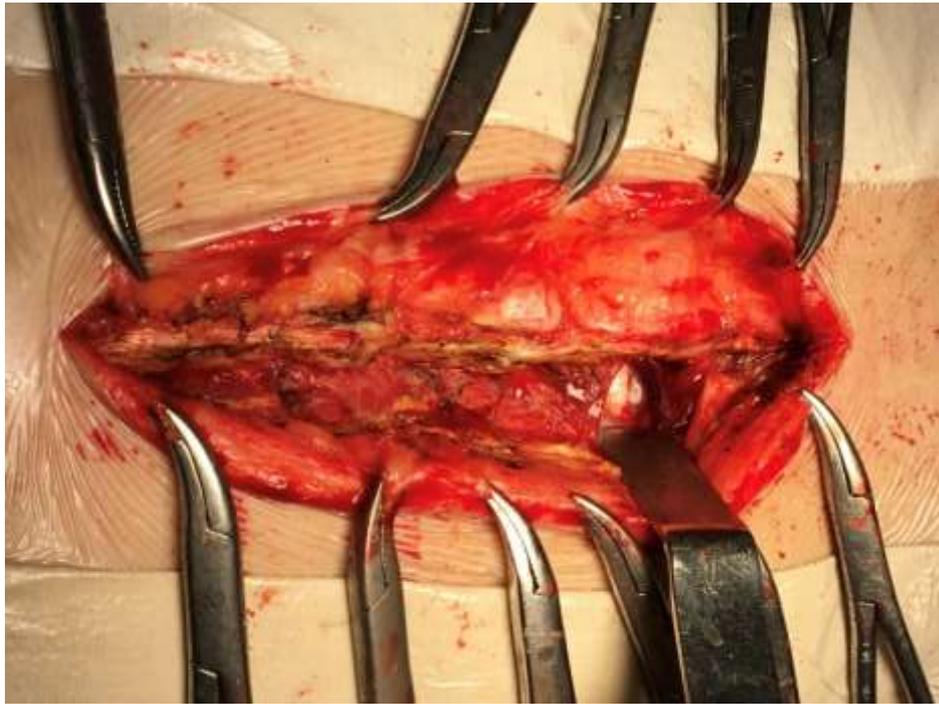


Рисунок 41 – Этап заднего доступа: обнажение межпозвоночного сустава на уровне остистого отростка

С целью уменьшения травматизации кожных покровов при использовании внутренней репозиционной системы края операционной раны обшивались стерильными полотенцами (рис. 42), что позволяло снизить давление металлических элементов конструкции на мягкие ткани и уменьшить риск краевых некрозов кожи.

Установка транспедикулярных винтов выполнялась в соответствии с данными предоперационной карты разметки: фиксационные элементы вводили по предварительно рассчитанным траекториям в тела позвонков, смежные с повреждённым сегментом. Данный подход обеспечивал оптимальное позиционирование винтов с учётом индивидуальных анатомических особенностей и способствовал повышению стабильности фиксации.

При наличии узких корней дуг, преимущественно в грудном отделе позвоночника, допускалось введение винтов через латеральную стенку корня, что рассматривалось как технически оправданная альтернатива стандартному транспедикулярному проведению и позволяло избежать повреждения медиальных структур позвоночного канала.

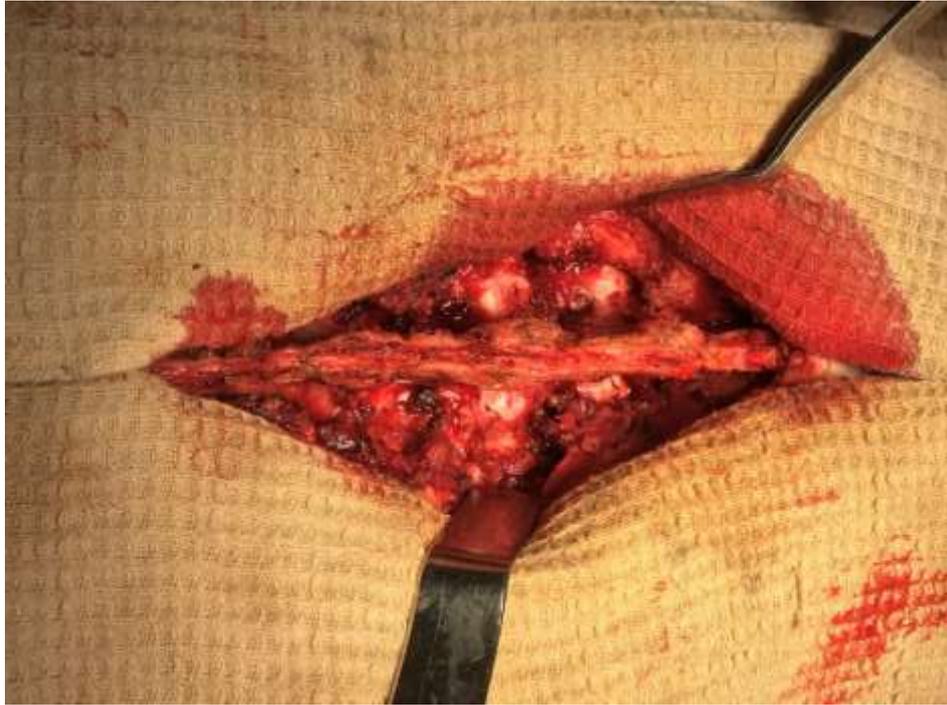


Рисунок 42 – Вид операционной раны после ее отграничения

После установки винтов монтировали внутреннюю репозиционную систему «Синтез» (Санкт-Петербург). Для повышения эффективности закрытой реформации позвоночного канала была усовершенствована конструкция системы, что позволило сократить время операции за счёт исключения необходимости её повторного монтажа (патент № 2753133). Усовершенствованный вариант предусматривал первоначальную установку системы на четырёх винтах с последующим выполнением дозированной дистракции позвоночника, коррекции во фронтальной и аксиальной плоскостях, а также восстановлением позвоночно-дисковых комплексов и сегментарного угла. При этом происходило сопоставление повреждённых корней дуг и «расправление» тела позвонка, что позволяло безопасно провести редукционные винты через повреждённые корни дуг.

Если редукционные винты устанавливались до монтажа системы, их приходилось делать короче, либо изменять угол введения в сагиттальной проекции, что снижало прочность фиксации и усложняло установку штанг. В усовершенствованной системе предусмотрены две свободные муфты, через которые выполняется разметка и установка редукционных винтов в повреждённый позвонок.

Репозиция тела позвонка осуществлялась за счёт эффекта лигаментотаксиса. Эффективность закрытой декомпрессии контролировалась интраоперационно по данным ЭОП: измерялись межтеловые расстояния между замыкательными пластинками смежных позвонков (рис. 43), что позволяло дозированно управлять процессом репозиции, приближая фактические значения к рассчитанным при планировании.

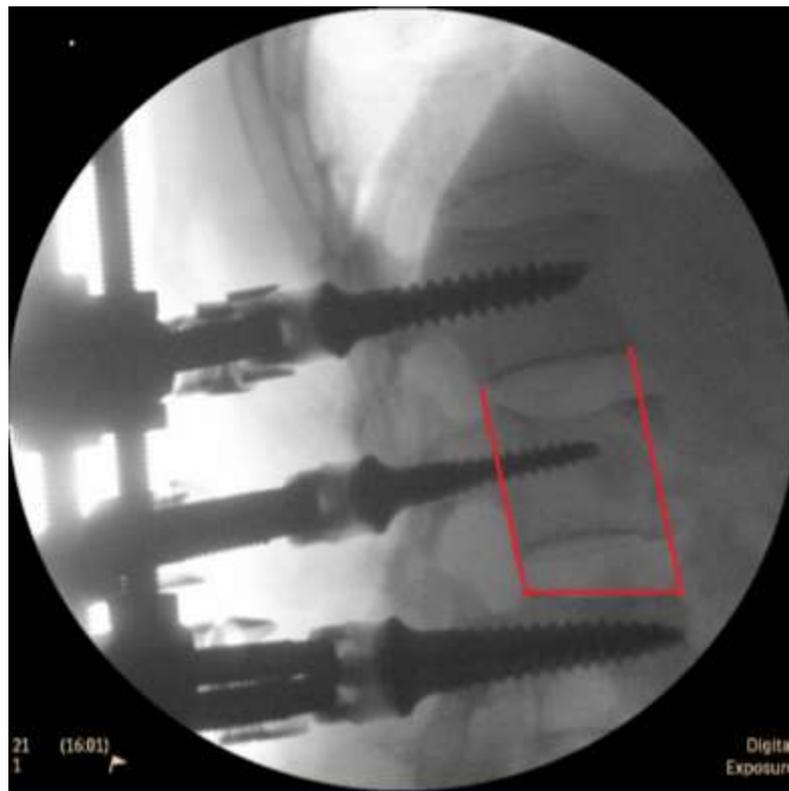


Рисунок 43 – Измерение на экране монитора ЭОПа размеров верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка и позвоночно-дискового комплекса

Для каждого пациента рассчитывался коэффициент увеличения по размеру верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка, с учётом которого определялись фактические размеры позвоночно-дисковых комплексов и сегментарного угла. Разработанное программное обеспечение позволяло выполнять все расчёты автоматически и в режиме реального времени корректировать параметры репозиции. Послеоперационная оценка, основанная на данных контрольного КТ-исследования, показала высокое совпадение результатов:

погрешность между измерениями на экране ЭОПа и по данным СКТ составила 1,20 ± 0,34 мм.

В ряде случаев достичь рассчитанных параметров не удавалось: репозицию прекращали при признаках смещения винтов к замыкательным пластинкам, что наблюдалось при минеральной плотности костной ткани ниже 130 НУ (по данным программы RadiAnt). У 78 (72,2%) пациентов удалось полностью восстановить рассчитанные параметры, у 30 (27,8%) — на 85–99%. Контроль за коррекцией осуществлялся также во фронтальной плоскости, ориентируясь на параллельность замыкательных пластинок смежных позвонков.

Выбор метода декомпрессии дурального мешка определялся индивидуально. Приоритет отдавался наименее травматичным вариантам, основанным на эффекте лигаментотаксиса. Ламинэктомия выполнялась у 33 (30,6%) пациентов со степенью неврологических расстройств А–С по ASIA — при заднем или заднебоковом сдавлении дурального мешка, а также при грубом переднем сдавлении, когда эффективность закрытой репозиционной декомпрессии могла быть недостаточной.

В 22 (20,4%) случаях производилась открытая циркулярная декомпрессия дурального мешка с удалением фрагментов диска и репозицией костных отломков. У одного пациента выявлен анатомический разрыв спинного мозга, у трёх (2,8%) — линейные разрывы твёрдой мозговой оболочки (ТМО), которые были ушиты до полной герметизации.

Сохраняющийся стеноз позвоночного канала в пределах резервного пространства (25,9 % наблюдений) расценивался как допустимый при отсутствии неврологических нарушений или положительной динамике. У 46 (42,6%) пациентов после репозиционно-стабилизирующей транспедикулярной фиксации (ТПФ) форма позвоночного канала была полностью восстановлена, что исключало необходимость ламинэктомии.

У 7 (6,5%) пациентов с вентральной компрессией в поясничном отделе выполнялась передняя декомпрессия из трансфораминального доступа под микроскопом, обеспечивающим визуализацию корешка и контроль гемостаза; в 5

случаях доступ был двусторонним, что также позволяло провести межтеловой корпородез.

У одного пациента после ТПФ выполнена передняя декомпрессия и корпородез для формирования межтелового блока. Комбинированный задне-передний доступ применялся при сохраняющейся передней деформации позвоночного канала с неврологическими расстройствами, а также при необходимости протезирования передней опорной колонны. В 5 (4,6%) случаях вентральное протезирование было показано, но пациенты отказались от второго этапа вмешательства.

Разработанный нами способ остеосинтеза нестабильных повреждений позвоночника из вентрального доступа обеспечивает надёжный спондилодез грудных и поясничных ПДС (патент РФ № 2559275). Операция выполняется в положении пациента на боку через переднебоковой доступ. На грудном и грудопоясничном уровнях он выполняется трансторакально, на поясничном — внебрюшинно. После маркировки повреждённого позвонка под контролем ЭОПа осуществляется скелетирование его боковой поверхности с обнажением смежных дисков. Повреждённые фрагменты удаляются, а в образовавшийся дефект вводится костный трансплантат или эндопротез, наполненный костной крошкой либо костным цементом. Под контролем ЭОПа через лимбы «здоровых» позвонков под углом 45 устанавливаются винты, ориентированные вверх (в вышележащем) и вниз (в нижележащем) позвонке (рис. 44).

Резьбовая часть винтов проходила сквозь противоположный кортикальный слой на 2–3 мм, обеспечивая надёжную фиксацию. Два продольных стержня, установленные параллельно оси позвоночника, фиксировались гайками к головкам винтов. На завершающем этапе выполнялся интраоперационный контроль под ЭОПом и оценка гемостаза.

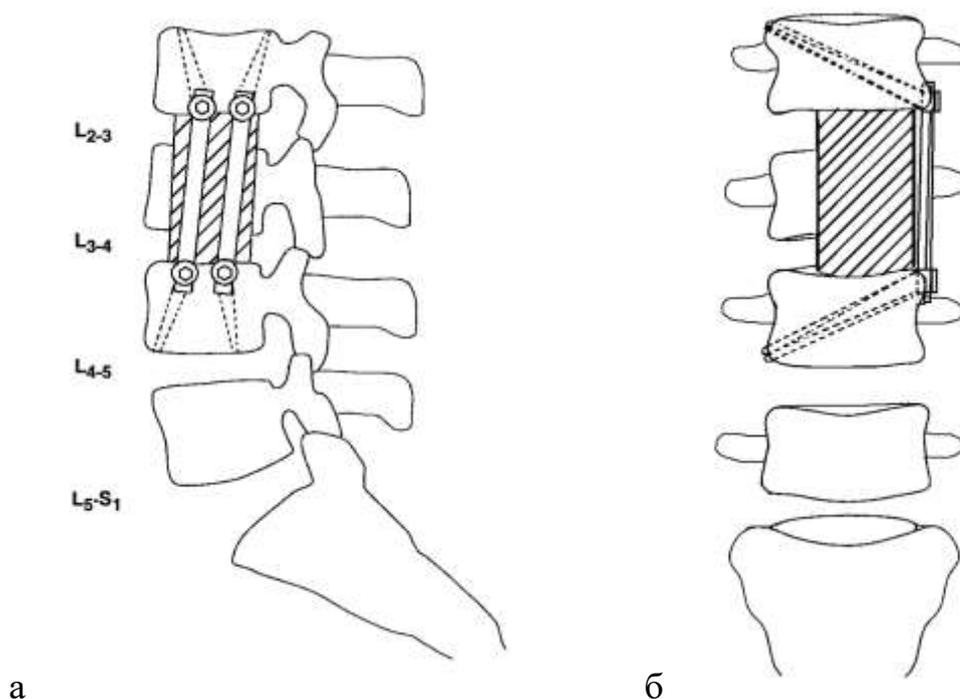


Рисунок 44 – Схема спондилодеза LII-LIV позвонков четырехвинтовой системой: а – вид сбоку; б – вид спереди. Трансплантат расположен под фиксирующей металлоконструкцией

Не всем пациентам проводился комбинированный доступ, что объяснялось отказом от вентрального вмешательства при удовлетворительном состоянии, восстановлением формы тела позвонка после ТПФ, наличием противопоказаний или тяжёлой сопутствующей патологии.

В завершение представлены клинические наблюдения, иллюстрирующие тактику хирургического лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника, разработанную и внедрённую в рамках настоящего исследования.

Пациентка У. 43 лет получила травму при падении с высоты собственного роста за три недели до поступления в стационар. Жалобы: боли в грудопоясничном отделе позвоночника и умеренная слабость в нижних конечностях. В течение трёх недель за медицинской помощью не обращалась, передвигалась без иммобилизации, и боли периодически снимала алкоголем. При обследовании выявлен компрессионно-оскольчатый перелом тела LI позвонка типа A4 по классификации AOSpine, неврологические нарушения степени D по шкале ASIA (рис. 45).



Рисунок 45 – СКТ пациентки У. при поступлении
(мультипланарная реконструкция)

Первоначально был заподозрен патологический перелом на фоне остеопороза или объемного процесса. Для дифференциальной диагностики выполнено МРТ с контрастным усилением (рис. 46). По данным СКТ проведена морфометрия позвонков, измерена минеральная плотность костной ткани в соседних сегментах в программе RadiAnt — 140–160 HU, что несколько выше порогового значения остеопении – 135 HU (Zaidi Q. et al., 2019).

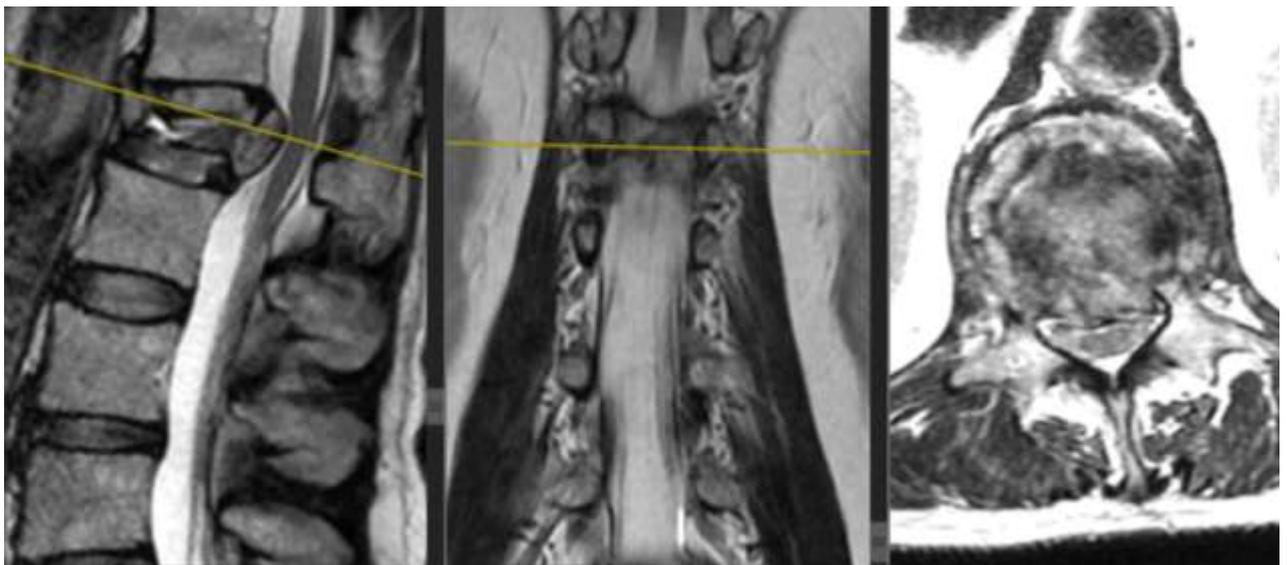


Рисунок 46 – МРТ груднопоясничного отдела позвоночника пациентки У.
с контрастным усилением

На этапе предоперационного планирования определены траектории введения винтов, проведены измерения тел позвонков, позвоночно-дискового комплекса и угла деформации: передний размер тела L1 — 26,3 мм, задний — 27,4 мм, передний позвоночно-дисковый комплекс — 43,4 мм, задний — 41,6 мм, сегментарный угол — 5,3° (рис. 47).

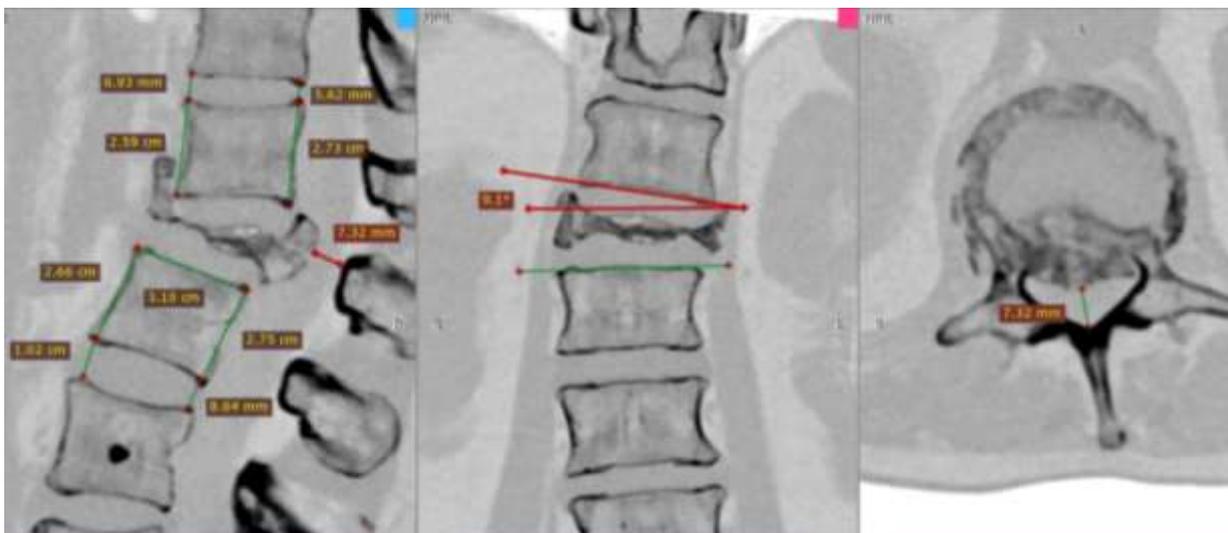


Рисунок 47 – Измерение вертикальных размеров смежных тел позвонков, межпозвоночных дисков и сегментарного угла в сагиттальной и фронтальной плоскостях

В соответствии с предоперационными расчётами установлено, что передние размеры тела позвонка снижены на 40,7%, задние – на 29,6%, а средние – на 86,0%. Дефицит просвета позвоночного канала – 58,3% (рис. 48).



Рисунок 48 – Измерение размеров поврежденного тела позвонка и минимального диаметра позвоночного канала на уровне повреждения и смежных уровнях

Пациентка на 23-й день с момента травмы взята на открытую операцию. Транспедикулярные винты установлены в тела ThXI, ThXII и LII позвонков с двух сторон. На примере данной пациентки подробно демонстрируем этапы операции. Вначале было осуществлено проведение метчиков, затем и винтов в тело LII позвонка (рис. 49, 50).



Рисунок 49 – Проведение метчиков в тело LII позвонка.
Вид с экрана монитора ЭОПа



Рисунок 50 – Проведение винтов в тело LII позвонка.
Вид с экрана монитора ЭОПа

Затем были проведены винты в тела ThXI и ThXII позвонков (рис. 51, 52).

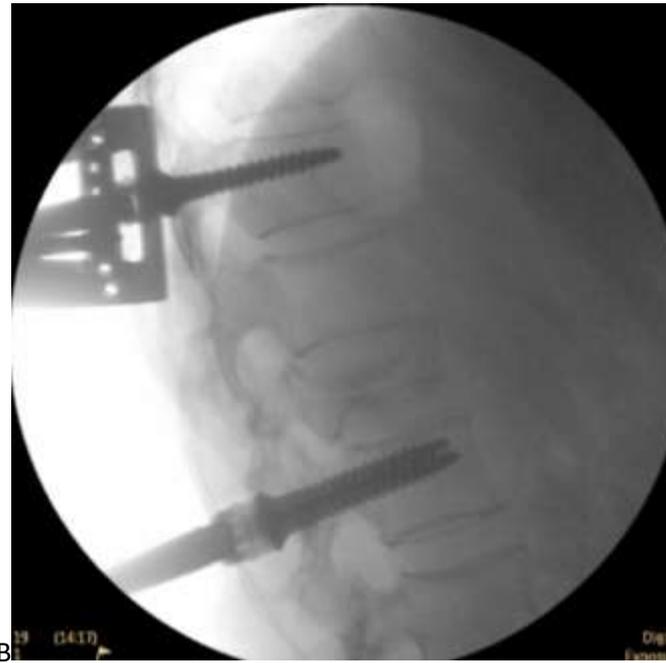


Рисунок 51 – Проведение винтов в тело ThXI позвонка.
Вид с экрана монитора ЭОПа



Рисунок 52 – Проведение винтов в тело ThXII позвонка.
Вид с экрана монитора ЭОПа

После введения винтов была смонтирована репозиционная система «Синтез» (рис. 53). В данную систему вовлечены тела ThXII и LII позвонков. Начаты репозиционные маневры в виде тракции позвоночника по оси с исправлением угловой деформации по разработанному способу репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отдела (патент РФ № 2753133).

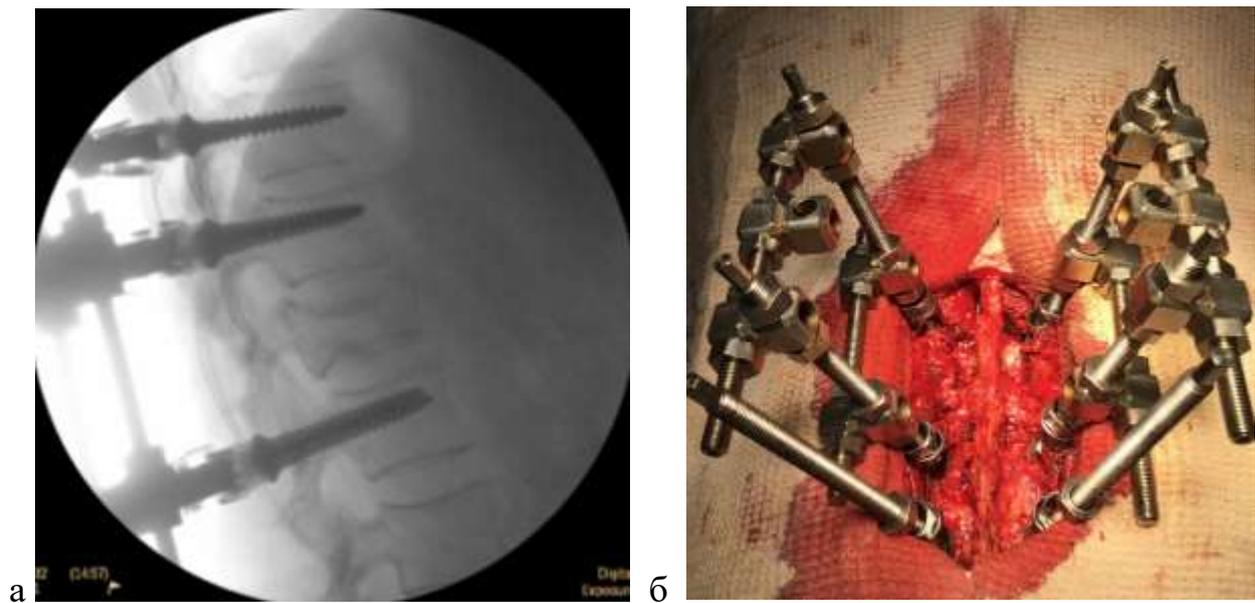


Рисунок 53 – Монтаж внутренней репозиционной системы.
Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

На экране ЭОПа отмечено хорошее восстановление размеров тела позвонка несмотря на долгий срок после травмы. Восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка, хотя и не столь существенное, мы наблюдали и через месяц после полученной травмы у других пациентов. Далее через муфты репозиционной системы выполнено проведение метчиков и винтов в тело повреждённого L1 позвонка (рис. 54, 55).

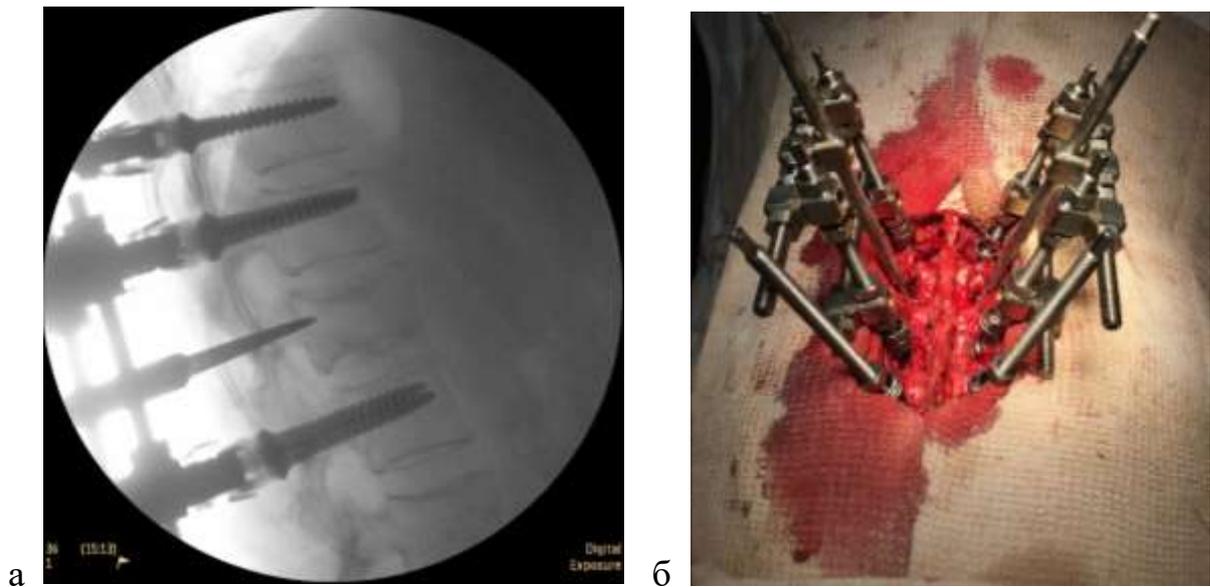


Рисунок 54 – Проведение метчиков через муфты репозиционной системы.
Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

С данного этапа начинается контроль восстановления позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла. Метчики и винты, если позволяет состояние корней дуг, проводятся с одной или двух сторон. Если пациенту по данным проведенной репозиции предполагается проведение второго этапа хирургического лечения, то винт в поврежденный позвонок устанавливается на грудном отделе с левой стороны, а на поясничном отделе с правой стороны.

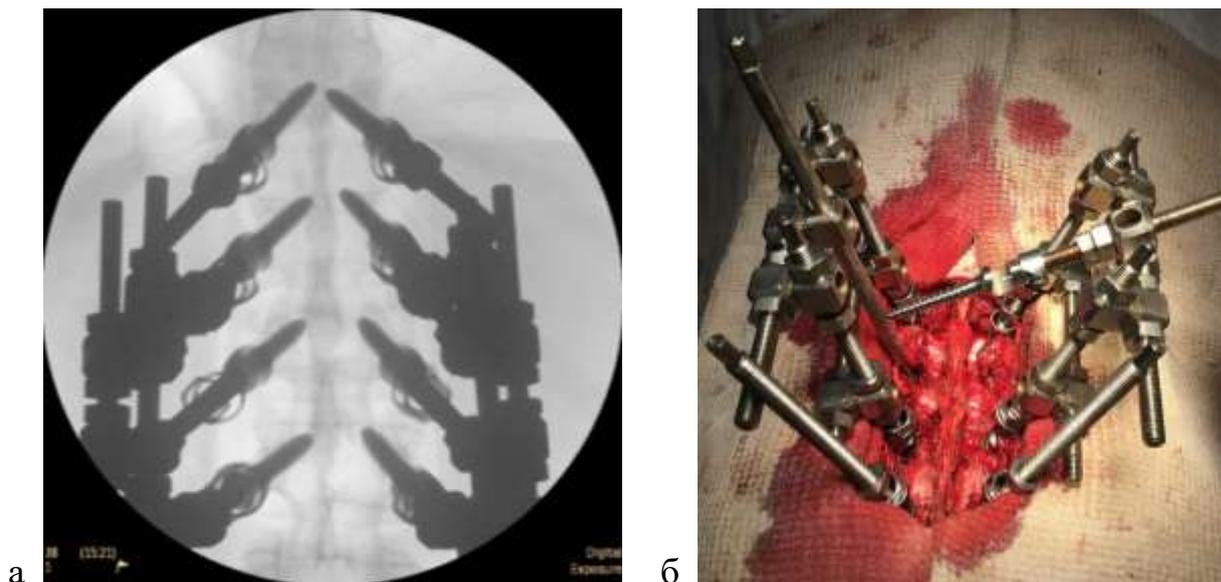


Рисунок 55 – Этап проведения винтов в тело L1 позвонка через муфты репозиционной системы. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

После проведения винтов в тело поврежденного позвонка продолжились репозиционные маневры. В процессе проведенной репозиции воспроизведены рассчитанные размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла по экрану монитора ЭОПа. При необходимости положением винта в поврежденном позвонке можно изменить наклон позвонка в сагиттальной проекции и сместить данный позвонок в вентральном направлении.

Эти манипуляции дают возможность максимально исправить деформацию позвоночного канала и повышают репозиционные возможности системы. Окончательное положение винтов и постановка штанг отражено на рисунке 56.

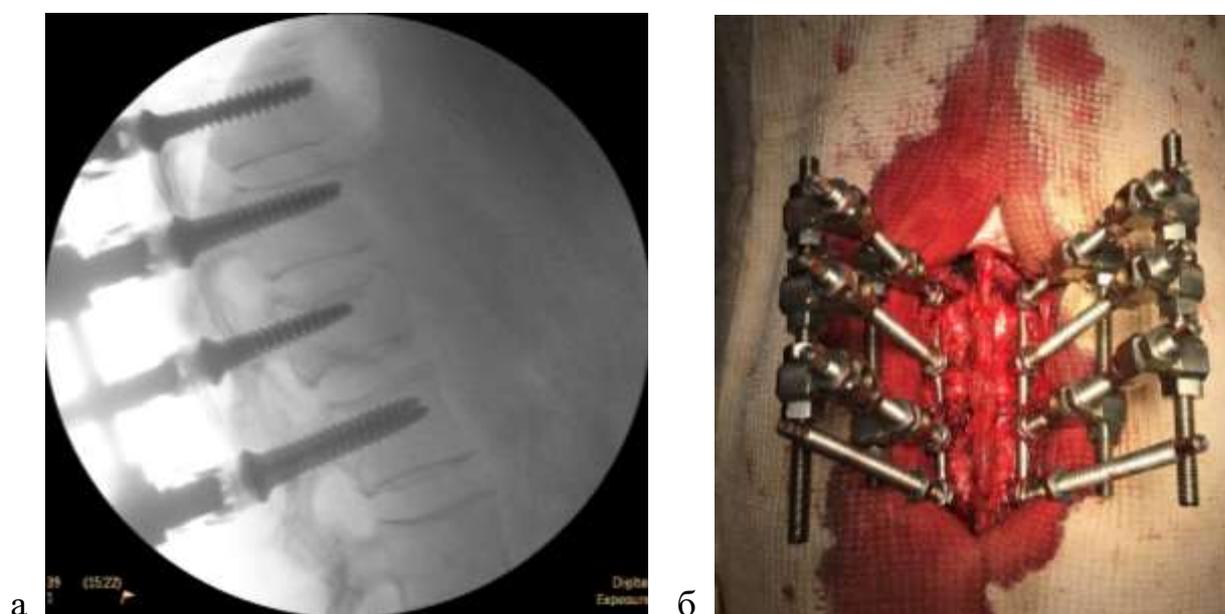


Рисунок 56 – Финал этапа репозиции и постановка фиксирующих штанг.
Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

В процессе проведенной репозиции воспроизведены рассчитанные индивидуальные размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла на экране монитора ЭОПа.

Контрольное исследование на ЭОПе с постановкой фиксирующих штанг представлено на рисунке 57.

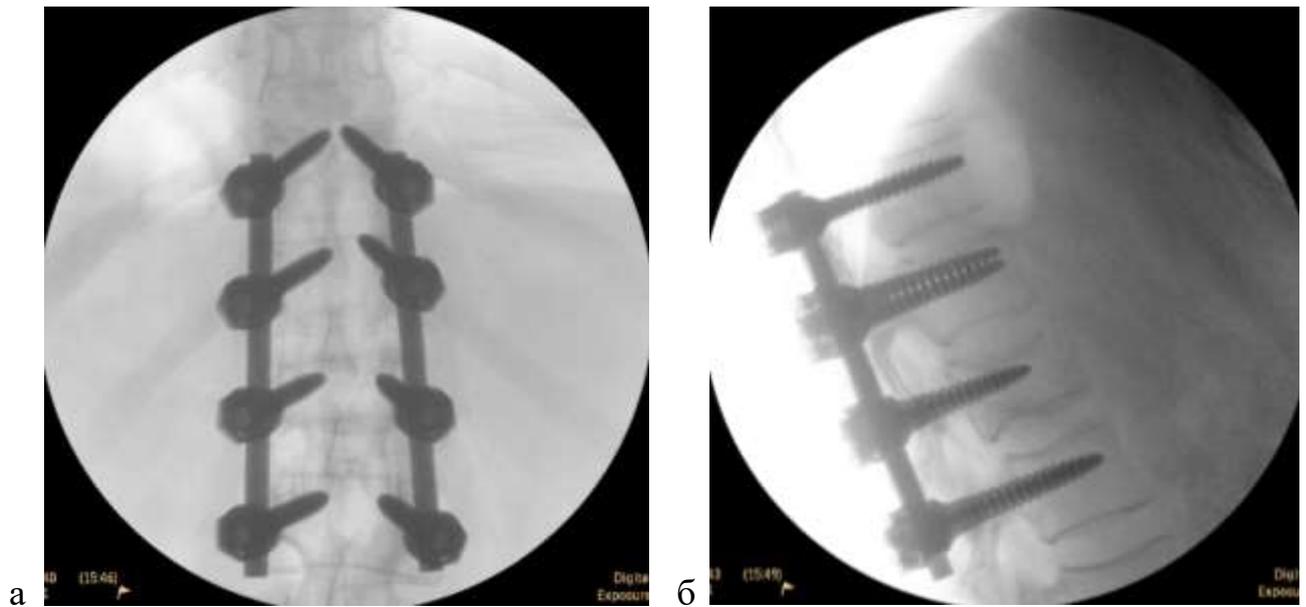


Рисунок 57 – Контрольное исследование репозиции и ТПФ на экране ЭОП:
а – прямая проекция; б – боковая проекция

В процессе закрытой реформации позвоночного канала восстановлены рассчитанные передние и задние размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарный угол (рис. 58).

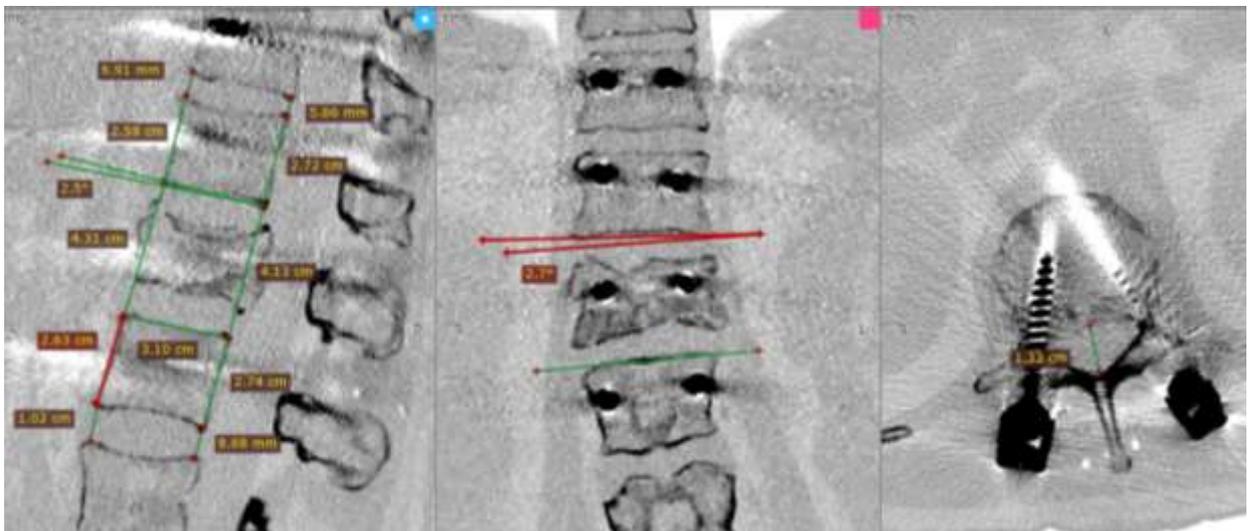


Рисунок 58 – СКТ пациентки У. после оперативного лечения

Послеоперационный СКТ-контроль подтвердил восстановление анатомических размеров и уменьшение дефицита просвета позвоночного канала с 58,3 до 23,4%.

Угол сегментарной деформации исправлен с $17,2$ до $-2,5^\circ$ ($\Delta\alpha = 19,7^\circ$). Передние размеры тела позвонка восстановлены до $91,6\%$, задние — до $97,4\%$. Через две недели произошло полное восстановление неврологических функций и снижение болевого синдрома до 1 балла по ВАШ.

Пациент Б. 38 лет получил сочетанную травму в результате ДТП. Диагностированы нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом тела L1 позвонка (тип A4 по AOSpine), ЧМТ в виде сотрясения головного мозга и перелом правой голени. Неврологический статус был представлен общемозговой симптоматикой, спинальные нарушения степени E по ASIA. СКТ-обследование выявило наличие травматического стеноза позвоночного канала на уровне повреждения до $33,2\%$ за счет дислокации костных фрагментов тела L1 в просвет канала (рис. 59).



Рисунок 59 – СКТ пациента Б. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

Сегментарный угол составлял 4° в сагиттальной и $1,7^\circ$ во фронтальной проекции; передняя высота тела L1 — $59,5\%$ от исходной, задняя — 100% . После предоперационного планирования и расчётов выполнен репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез на уровне ThXII–L1. Репозиция и фиксация проведены под контролем ЭОПа (рис. 60, 61).

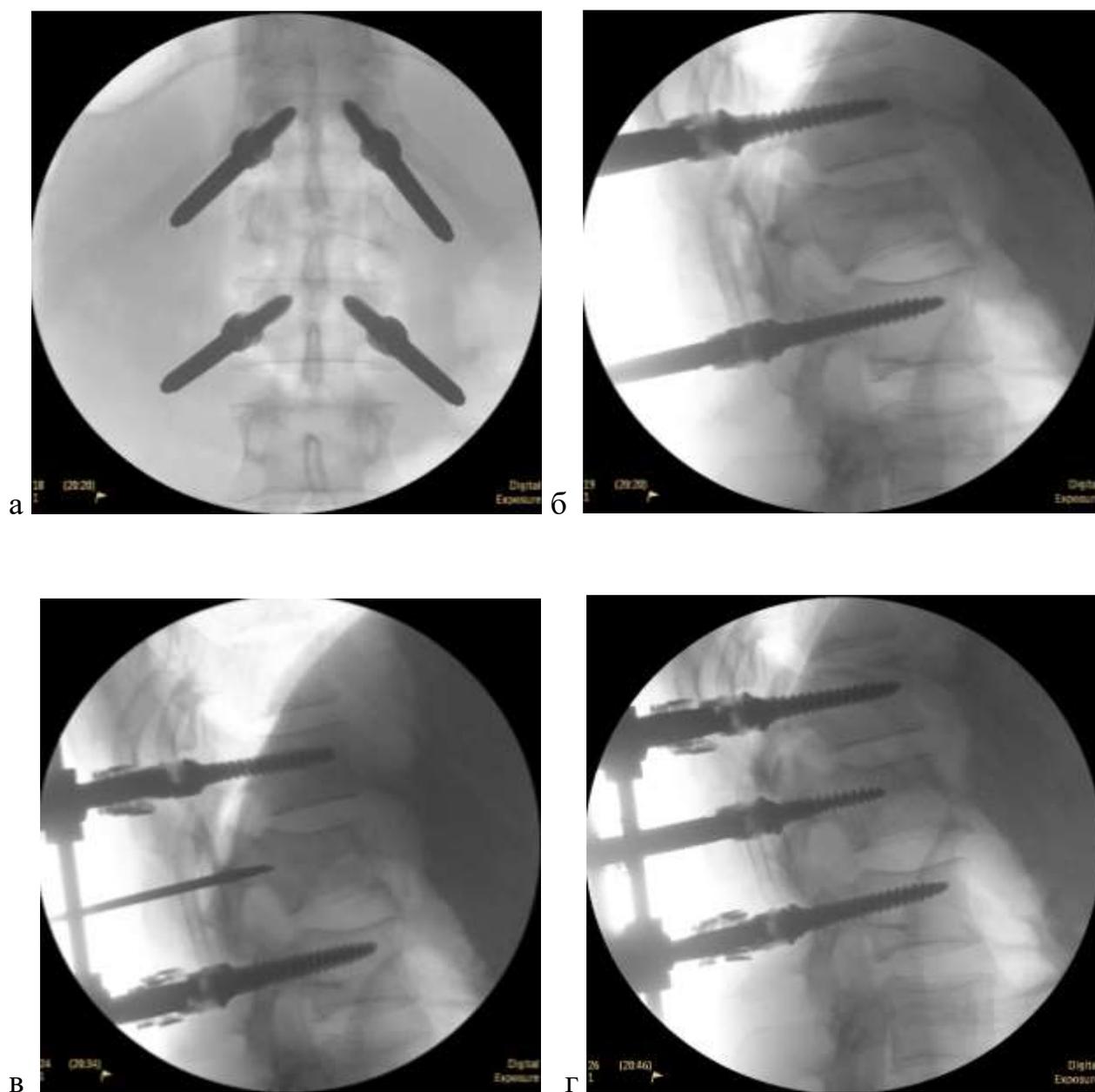


Рисунок 60 – Этапы выполнения аппаратной репозиции перелома L1 позвонка пациента Б. с экрана монитора: а, б – прямая и боковая проекции после установки винтов; в – установка метчика; г – окончательная репозиция с редуцированными винтами

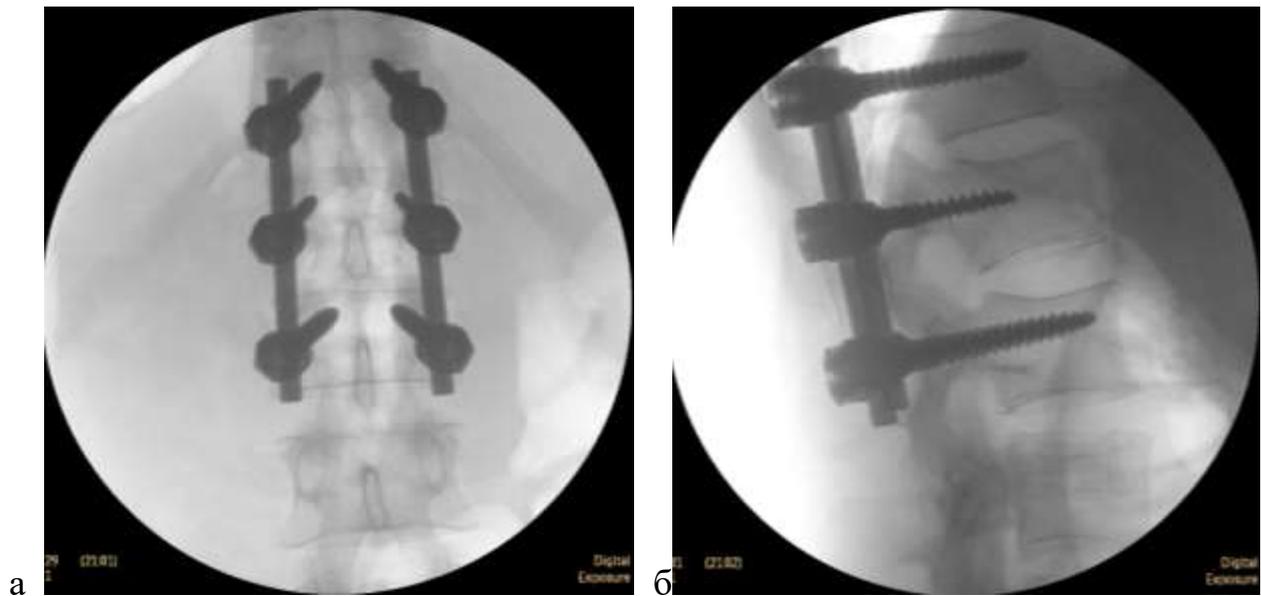


Рисунок 61 – Интраоперационный контроль на ЭОП:
а – прямая; б – боковая проекции

Послеоперационный СКТ-контроль указал на совпадение рассчитанных дооперационных и послеоперационных индивидуальных показателей вертикальных размеров поврежденного тела L1 позвонка со смежными дисками (рис. 62).

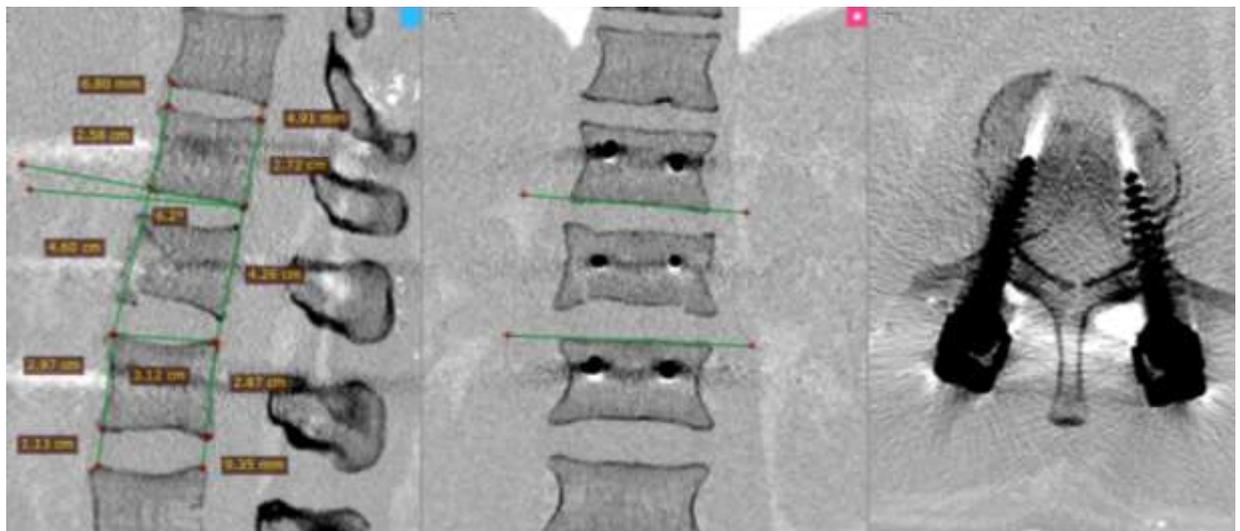


Рисунок 62– Послеоперационное СКТ-исследование пациента Б.

При анализе СКТ: уменьшение дефицита просвета позвоночного канала с 33,2 до 8,1%, исправление кифотической деформации на 10,2°, восстановление передней высоты тела позвонка до 98,7% и устранение фронтальной деформации.

Клинический пример

Пациента Т., 47 лет. При выполнении СКТ выявлен нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом тела L1 позвонка после кататравмы (тип А4 по AOSpine), неврологический статус – спинальные нарушения степени D по ASIA. Позвоночный канал деформирован двумя костными фрагментами с углом разворота $35,5^\circ$ справа (рис. 63) и $67,4^\circ$ градуса слева (рис. 64).

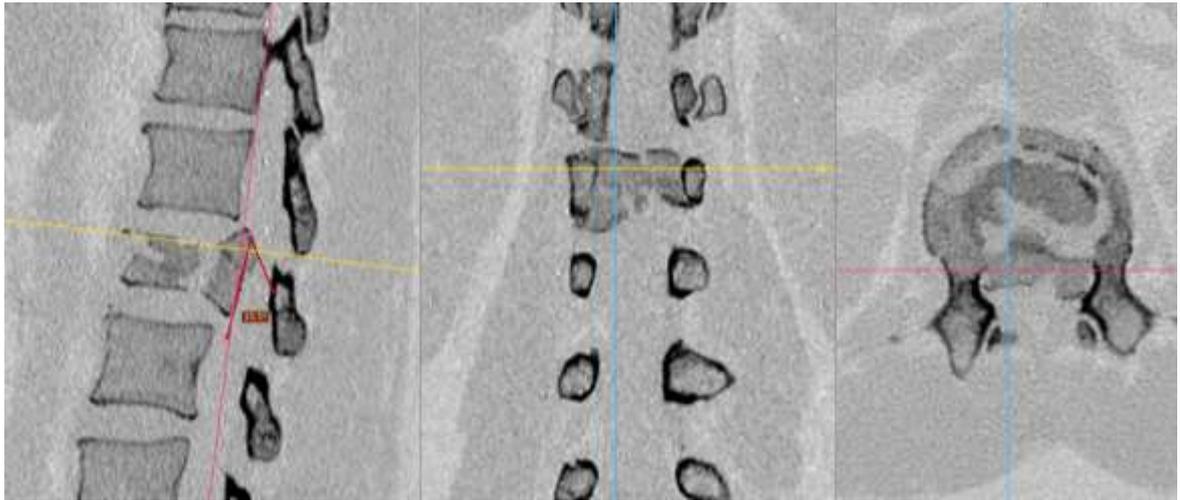


Рисунок 63 – СКТ пациента Т. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

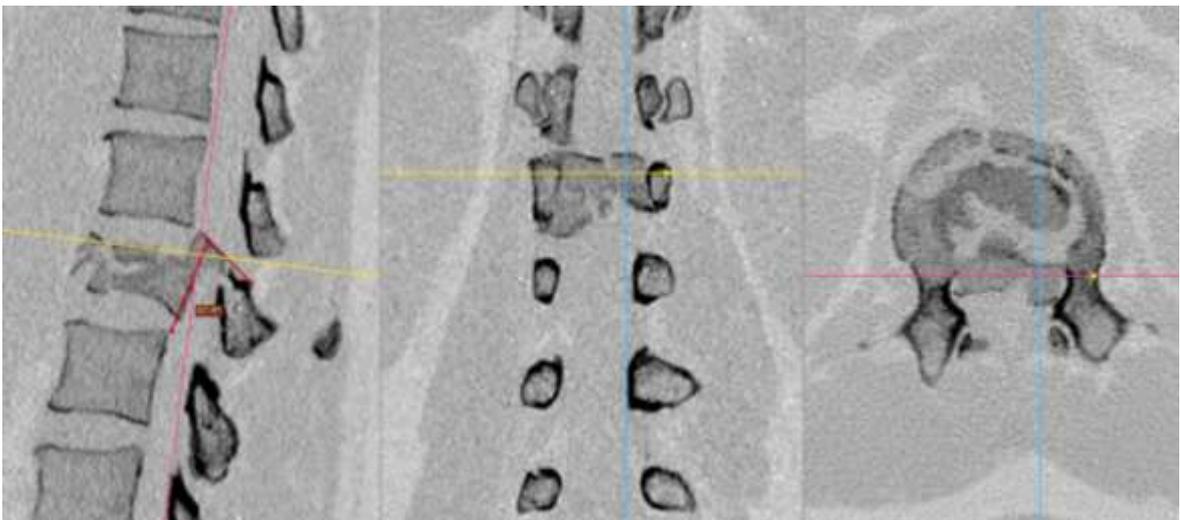


Рисунок 64 – СКТ пациента Т. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

Стеноз позвоночного канала при поступлении составлял $67,8\%$ справа и $94,6\%$ слева, что свидетельствовало о выраженной асимметрии в компрессии

невральных структур и значительном риске стойких неврологических нарушений. Анализ морфометрии показал также существенное уменьшение размеров тела L1 позвонка: его передний размер составлял лишь 51,2%, а задний — 94,1% от рассчитанных индивидуальных параметров, определённых на основе данных о смежных неизменённых позвонках.

При оценке эффективности закрытой декомпрессии позвоночного канала нами установлено, что ключевым фактором, ограничивающим возможность аппаратной репозиции, является степень ротации костного фрагмента. Выявлено, что при развороте фрагмента более чем на 50° существенно затрудняется его смещение в ходе лигаментотаксиса, а полноценное восстановление просвета позвоночного канала становится маловероятным. Это обусловлено изменением плоскости контакта между отломком и задней продольной связкой, что снижает способность связочного аппарата передавать вектор тракции непосредственно на фрагмент.

Дополнительным неблагоприятным фактором, подтверждённым при проведении МРТ, явился разрыв задней продольной связки слева (рис. 65).



Рисунок 65 – МРТ больного Т. Разрыв задней продольной связки под костным фрагментом слева

На вторые сутки после полученной травмы пациент был взят на хирургическое лечение. Выполнен шестивинтовой репозиционно-

стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThXII–LII позвонков. После установки транспедикулярных винтов осуществлялась поэтапная дозированная репозиция под непрерывным контролем электронно-оптического преобразователя. Репозиционные манёвры были направлены на восстановление утраченных вертикальных размеров повреждённого тела L1 позвонка, а также на коррекцию угла кифотической деформации в соответствии с рассчитанными индивидуальными анатомо-морфологическими параметрами смежных сегментов.

Благодаря дозированному приложению корректирующих усилий удалось достичь оптимального положения костных элементов без риска их вторичного смещения и без избыточной тракции, что особенно важно при сочетании ротации фрагмента и повреждения задней продольной связки. Финальный этап репозиции, отражающий достигнутый объём коррекции и восстановление исходной конфигурации позвоночного канала, представлен на рисунке 66.

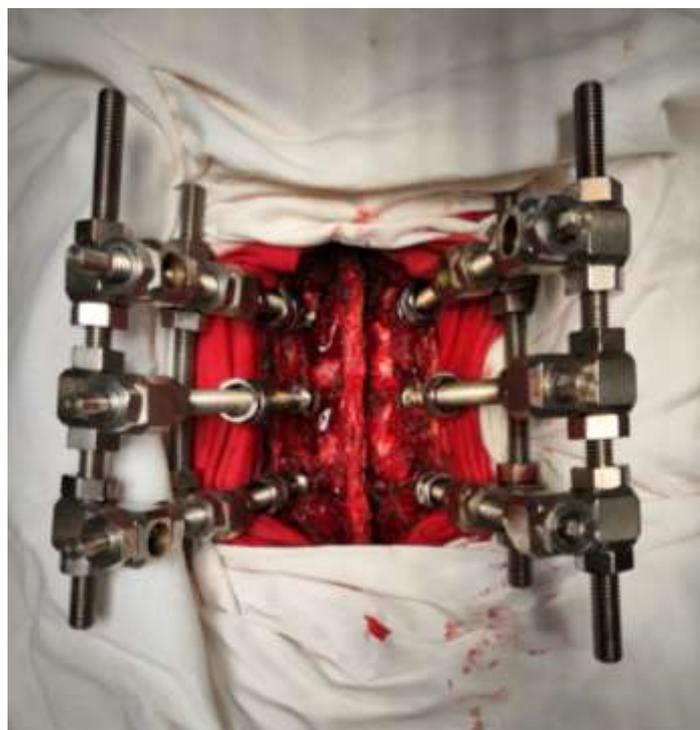


Рисунок 66 – Интраоперационное фото: финальный этап репозиции позвоночника у больного Т.

Для устранения сохраняющейся вентральной компрессии дурального мешка, обусловленной сместившимся костным фрагментом, выполнен

трансфораминальный доступ слева на уровне ThXII–LI сегмента с использованием операционного микроскопа. Выбор данного доступа был обусловлен локализацией и направлением смещения фрагмента, а также необходимостью минимизировать травматизацию паравертебральных тканей и сохранить стабильность задних структур.

После формирования костно-суставного окна и аккуратного латерального расширения рабочего канала под микроскопическим контролем в позвоночный канал был введён специализированный инструмент для малоинвазивной вентральной декомпрессии. Визуализация под увеличением позволила обеспечить точную дифференциацию невральных структур и сместившихся в позвоночный канал костных фрагментов, что является критически важным при наличии разрыва задней продольной связки и изменении анатомических ориентиров.

С использованием репозиционных инструментов произведено контролируемое погружение костного фрагмента в вентральном направлении с восстановлением просвета позвоночного канала и устранением компрессии дурального мешка (рис. 67).

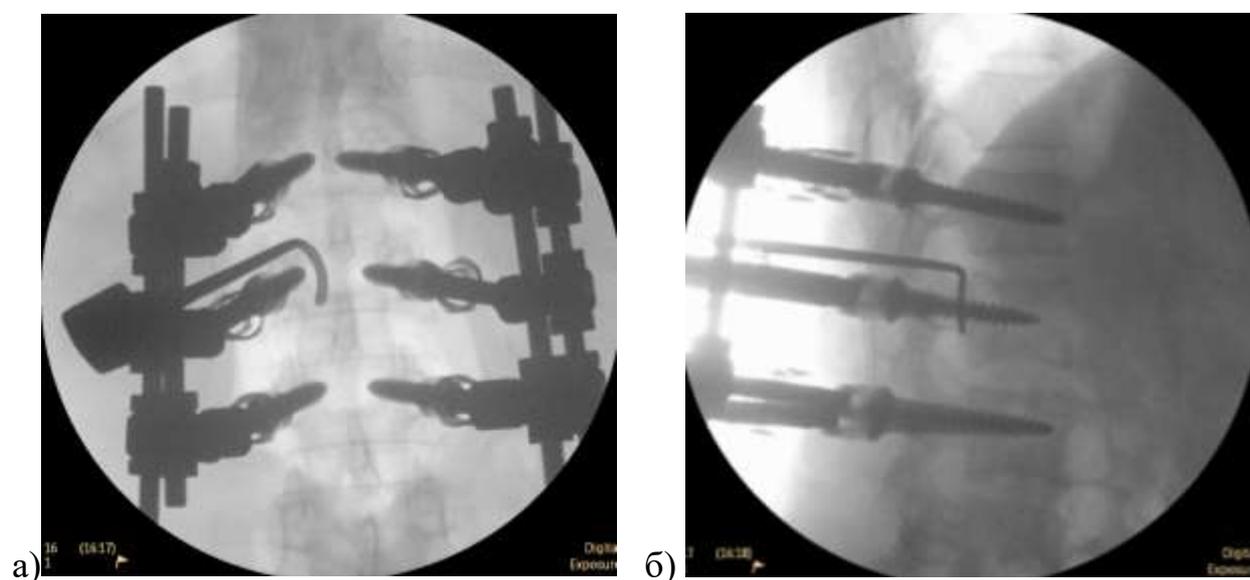


Рисунок 67 – Этап погружения костного фрагмента слева от тела LI позвонка с экрана монитора у больного Т.: а – прямая; б – боковая проекции

Послеоперационная СКТ продемонстрировала полноценное восстановление позвоночно-дискового комплекса — 42,8 мм спереди и 38,3 мм сзади, что полностью соответствовало рассчитанным индивидуальным параметрам,

полученным на этапе предоперационного планирования (рис. 68). Также отмечено восстановление угла сегментарной деформации до $9,1^\circ$. Полученные данные подтверждают высокую точность сочетанного применения дозированной аппаратной репозиции и последующей малоинвазивной вентральной декомпрессии. Восстановление анатомических параметров в полном объеме свидетельствует об адекватной коррекции высоты позвоночно-дискового комплекса и оптимальном позиционировании тела повреждённого позвонка в сагиттальной плоскости. Это создало условия для разгрузки передних опорных структур и полного устранения компрессии содержимого позвоночного канала, что существенно повысило вероятность благоприятного неврологического исхода.



Рисунок 68 – СКТ-исследование больного Т. после операции

Клинический пример

Пациент Р. 56 лет. Травма получена при падении с высоты около 8 метров. Диагностированы нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом тела и дужки ThX позвонка (тип С по AOSpine), ЧМТ в виде сотрясения головного мозга, множественные переломы ребер с двусторонним гемотораксом, переломы костей таза и правой пяточной кости. Неврологический статус был представлен общемозговой симптоматикой, спинальные нарушения степени В по ASIA (рис. 69).

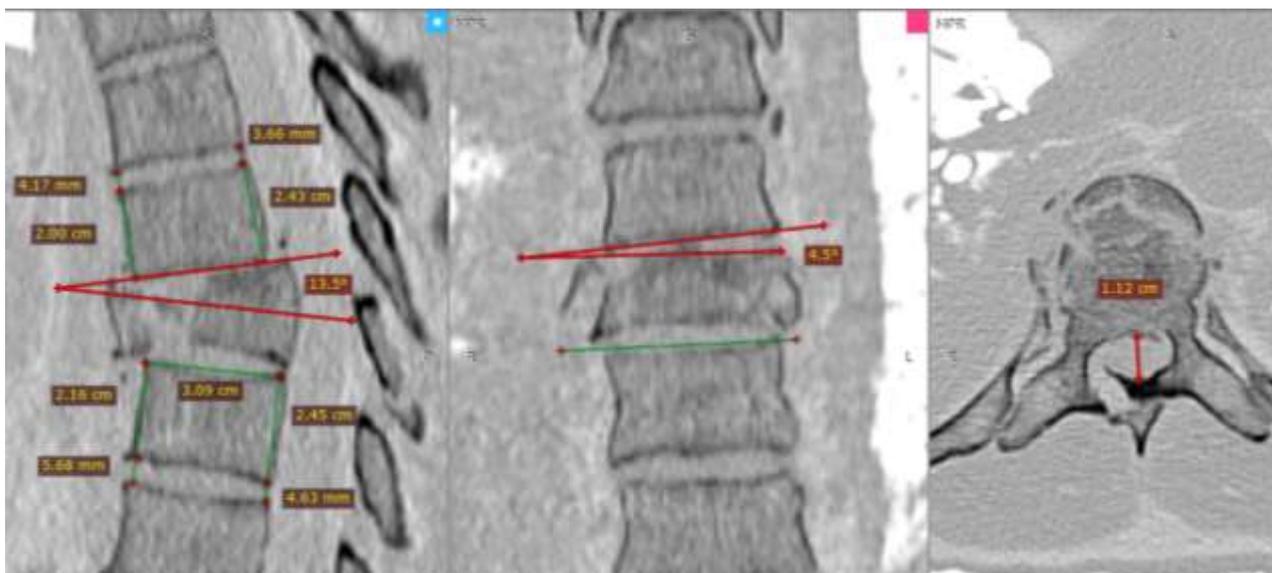


Рисунок 69 – СКТ пациента Р. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

На этапах предоперационного планирования для данного пациента была составлена детализированная карта разметки, включающая точки оптимального введения транспедикулярных винтов с учётом индивидуальных анатомических ориентиров, состояния костных структур и выраженности деформации.

После стабилизации общего состояния пациента на третьи сутки от момента травмы было выполнено оперативное вмешательство. В качестве основного метода хирургического лечения применён репозиционно-стабилизирующий пятивинтовой транспедикулярный остеосинтез, выполненный на уровне ThIX–ThXI. Для полноценной декомпрессии невралжных структур произведена ламинэктомия ThX и частичная ламинэктомия ThIX (рис. 70), что позволило устранить компримирующие факторы и создать оптимальные условия для восстановления функций спинного мозга.

В ходе вмешательства были использованы заранее рассчитанные индивидуальные параметры для транспедикулярной репозиции, полученные на основании предоперационного анализа геометрии повреждённого сегмента и характера деформации. Это обеспечило возможность выполнения дозированной и контролируемой коррекции, что особенно важно при нестабильных повреждениях грудного отдела позвоночника.



Рисунок 70 – Этапы репозиции (а) и интраоперационный контроль (б) перелома ThX позвонка в боковой проекции

Послеоперационная СКТ (рис. 71) продемонстрировала выраженную положительную динамику анатомического восстановления повреждённого сегмента. Отмечено полное исправление деформации во фронтальной плоскости и уменьшение кифотической деформации на $9,2^\circ$. Достигнутый сегментарный угол составил $4,3^\circ$, что практически совпадало с расчётным значением ($4,8^\circ$) при расхождении всего $\Delta\alpha = 0,5^\circ$.

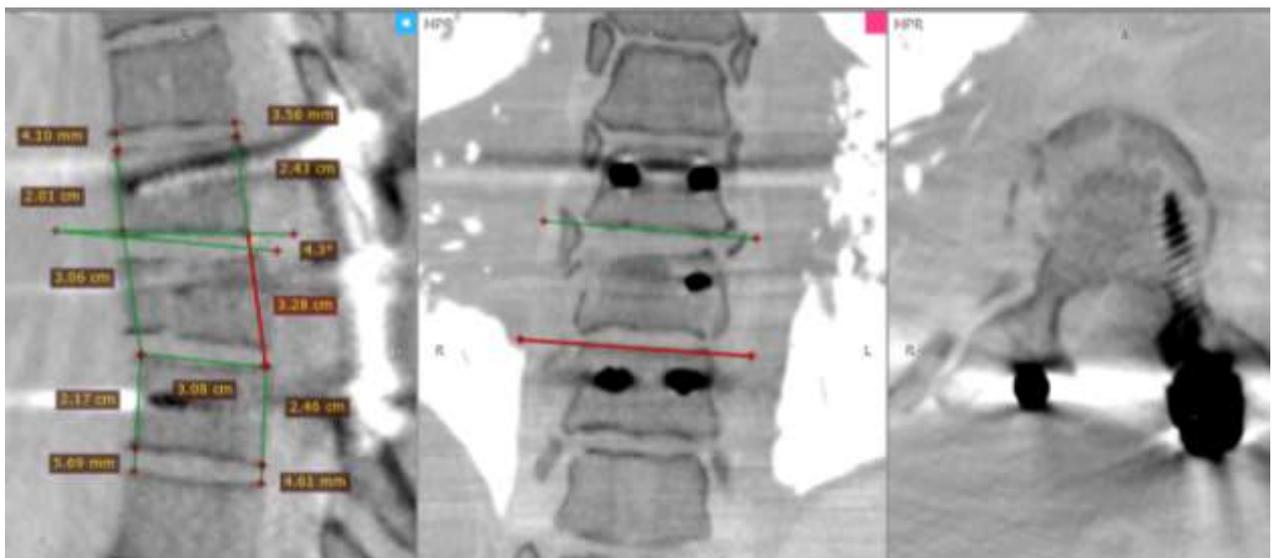


Рисунок 71 – Послеоперационное СКТ-исследование пациента Р. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции

Также зафиксировано восстановление передней высоты тела ThX до 94,8% от рассчитанной анатомической нормы, а задней — до 98,5%. Такие показатели подтверждают адекватную репозицию опорных структур и восстановление биомеханического баланса сегмента. Соответствие достигнутых параметров расчётным значениям демонстрирует эффективность применения предоперационного морфометрического моделирования и алгоритма контроля целевых размеров во время вмешательства.

При динамическом наблюдении через один год после оперативного лечения отмечено существенное улучшение неврологического статуса пациента — до степени С по шкале ASIA, что следует считать значимым достижением, учитывая исходное тяжёлое и обширное повреждение спинного мозга (рис. 72).

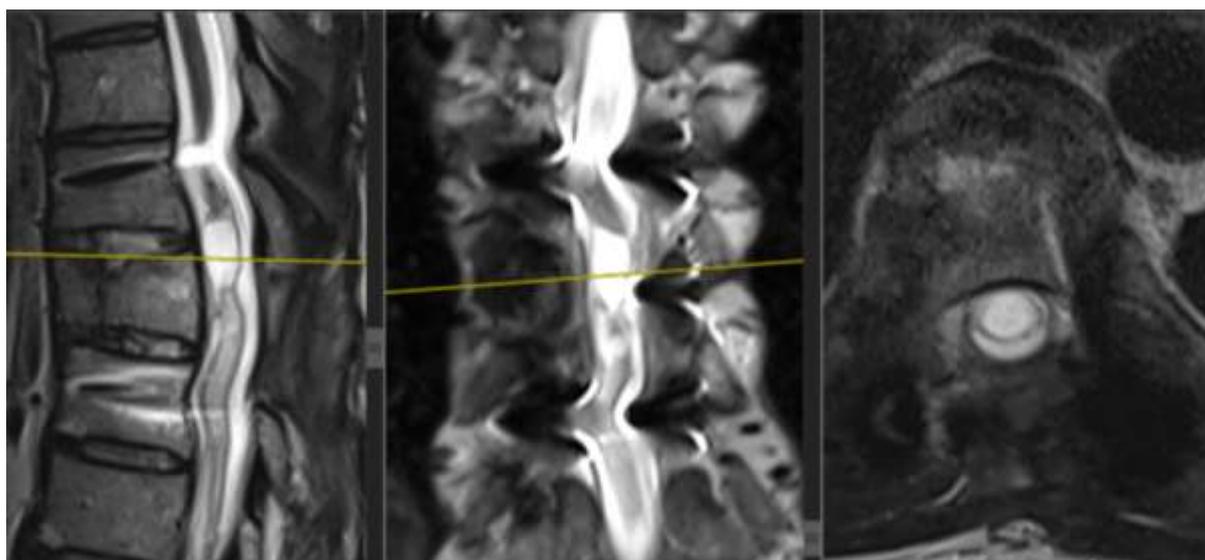


Рисунок 72 – Послеоперационное МРТ-исследование пациента Р. в трех проекциях

Через пять лет после травмы пациент сохраняет удовлетворительное общее состояние, ведёт самостоятельный образ жизни, болевой синдром отсутствует. Неврологический статус остаётся стабильным и соответствует степени С по ASIA. Отсутствие поздних осложнений, стабильность металлоконструкции и сохранение достигнутой коррекции деформации свидетельствуют о долговременной эффективности применённой методики репозиционно-стабилизирующего остеосинтеза.

Клинический пример

Пациентка М. 48 лет. Получила сочетанную травму в ДТП. Диагностирован компрессионно-оскольчатый перелом тела и дужки ThXII (тип С по AOSpine), переломы X–XI рёбер слева, неврологический статус — степень С по ASIA (рис. 73).

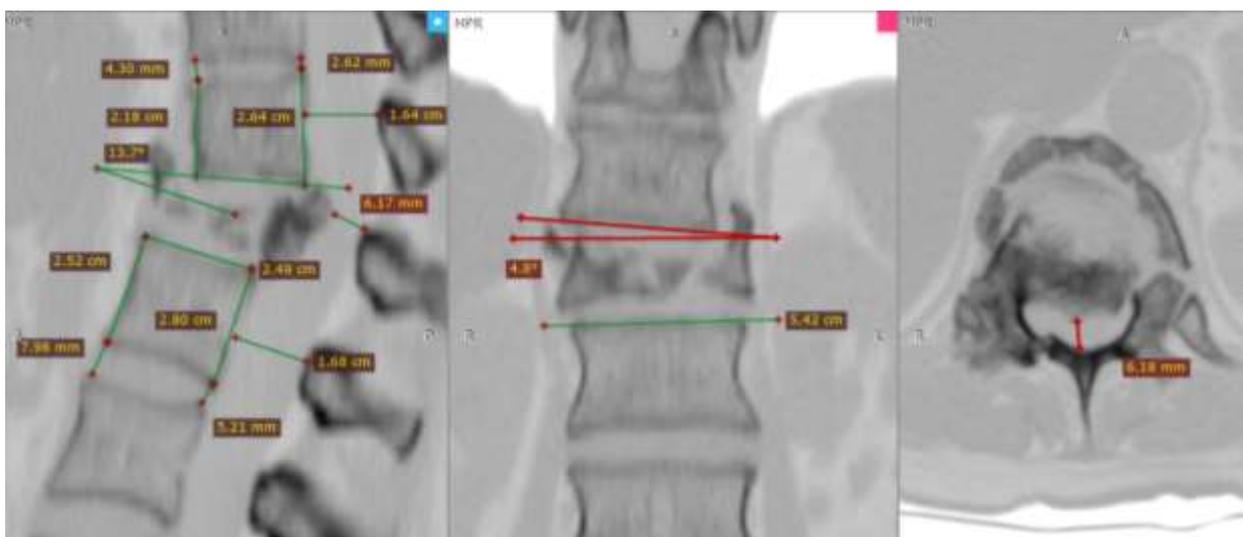


Рисунок 73 – СКТ пациентки М. с переломом ThXII позвонка

При поступлении у пациента был выявлен выраженный стеноз позвоночного канала, достигающий 63,3%, что соответствовало значительной степени компрессии невралжных структур и определяло необходимость хирургической коррекции в максимально ранние сроки после стабилизации состояния.

На 16-е сутки после травмы, после достижения удовлетворительных показателей системной гемодинамики и компенсации сопутствующих повреждений, был выполнен первый этап оперативного лечения — четырёхвинтовой транспедикулярный остеосинтез на уровне ThXI–L1 с проведением ламинэктомии ThXII и частичной ламинэктомии ThXI (рис. 74). Такой объём вмешательства позволил осуществить прямую декомпрессию дурального мешка и устранить дорсальные компоненты стеноза.

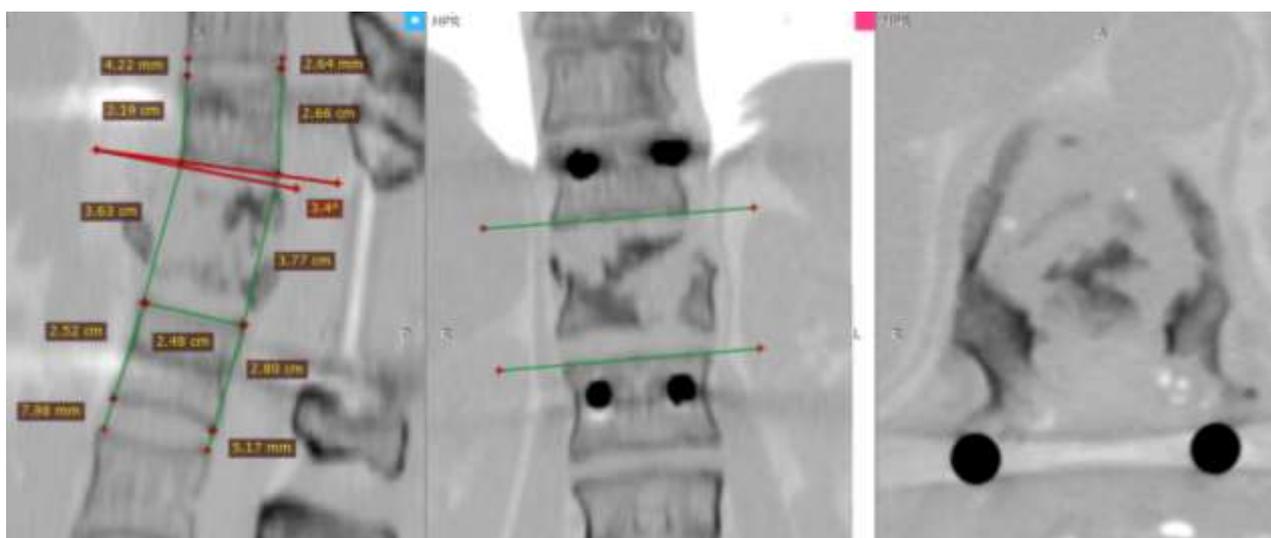


Рисунок 74 – СКТ-исследование пациентки М. после первого этапа операции

Во время операции достигнуто значимое исправление сегментарного угла на $10,3^\circ$, что обеспечило восстановление сагиттального контура и улучшение условий для репозиции передних структур позвоночного канала.

В силу ряда причин на повторную госпитализацию пациентка приехала через 11 месяцев, при контрольной СКТ с миелографией выявлено увеличение кифотической деформации на $6,1^\circ$ (рис. 75).

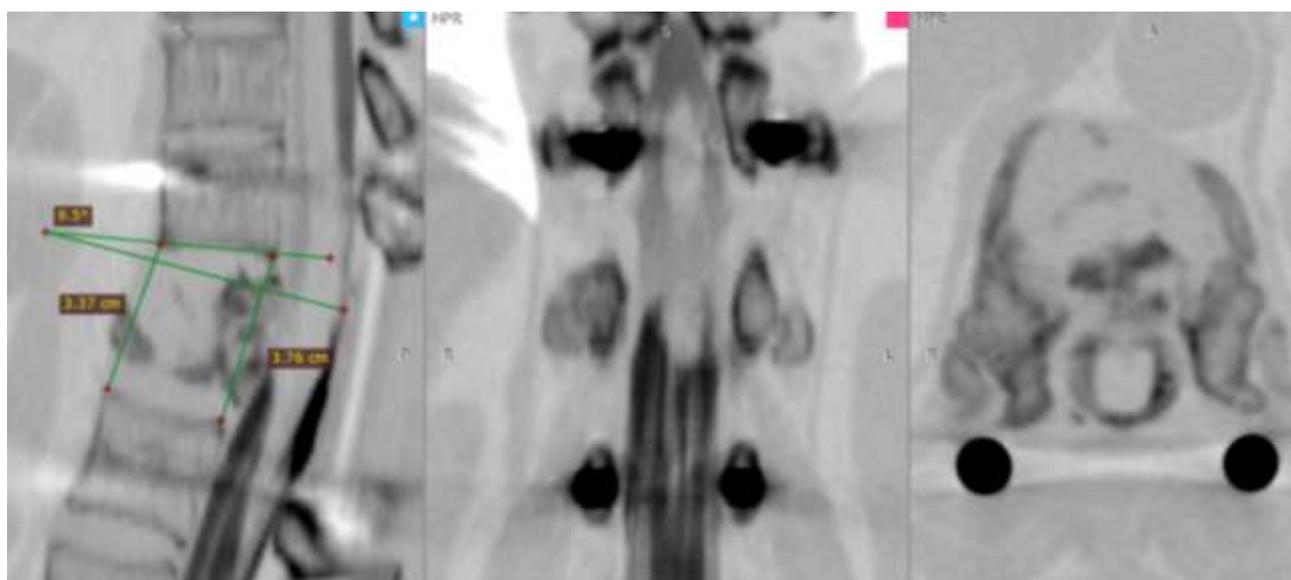


Рисунок 75 – СКТ с миелографией пациентки М. через 11 месяцев после этапа операции, выполненного с применением заднего доступа

На втором этапе хирургического лечения, после стабилизации состояния пациента и оценки результатов первого вмешательства, был выполнен передний спондилодез ThX–LI аутокостью через правосторонний торакотомический доступ. Операция проведена в соответствии с предложенной и запатентованной методикой (патент РФ № 2559275). Контрольное обследование через 14 месяцев продемонстрировало полную стабильность установленной конструкции, отсутствие признаков её несостоятельности или миграции, а также формирование состоятельного костного блока в зоне переднего спондилодеза (рис. 76).



Рисунок 76 – СКТ-контроль через год и 2 месяца после второго этапа операции

Клинический пример

Пациент И., 31 год. Травма была получена за час до поступления в клинику при падении со второго этажа. При поступлении диагностирована сочетанная травма (по ISS – 25 баллов): компрессионный перелом тела ThXII позвонка с суставными отростками, вывих ThXI позвонка с переломом дужки и остистого отростка ThXI (тип С по AO Spine). Ушиб и сдавление спинного мозга. Нижняя вялая параплегия, анестезия. Нарушение функции тазовых органов по типу задержки (степень А по ASIA). ЗЧМТ. Ушиб головного мозга средней тяжести. Контузионный очаг левой лобной доли, субарахноидальное кровоизлияние, межполушарное субдуральное кровоизлияние. Линейный перелом затылочной кости с переходом на основание черепа. СКТ позвоночника при поступлении на рисунке 77.

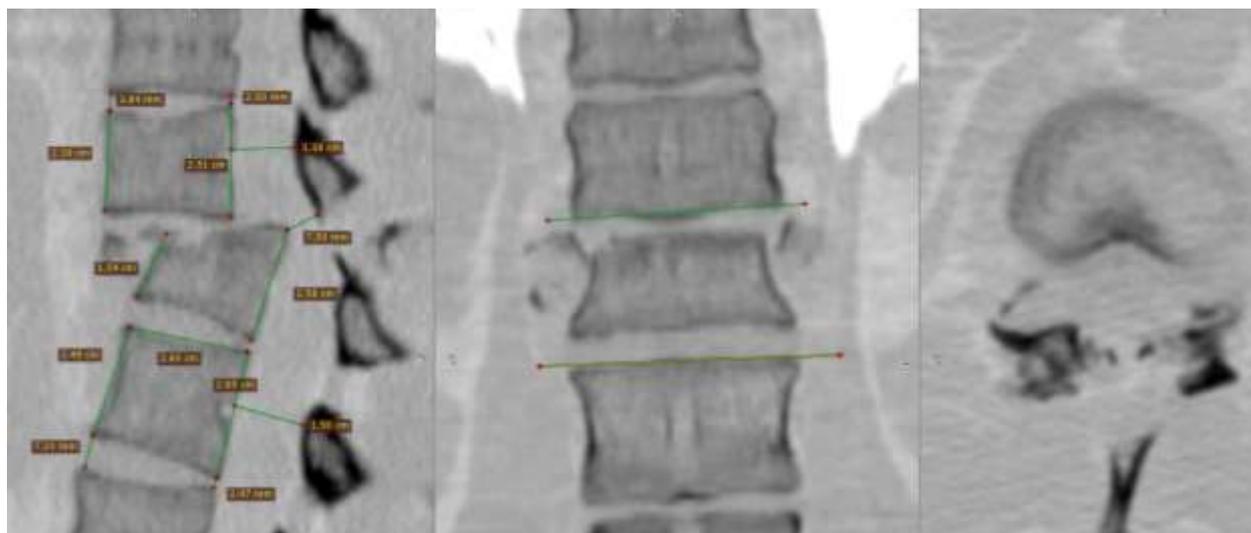


Рисунок 77 – СКТ пациента И. с переломом ThXII, вывихом ThXI позвонка

По данным СКТ, выполненной после травмы, сегментарный угол с кифотической деформацией составил $9,7^\circ$, что отражало выраженную переднюю компрессию тела позвонка. Дефицит просвета позвоночного канала достиг $49,7\%$, AVH составила $65,8\%$, PVH — $96,3\%$. На основании этих данных было проведено предоперационное планирование. Рассчитаны следующие параметры: A-VDCH — $34,5$ мм, P-VDCH — $31,3$ мм, сегментарный угол α — $6,9^\circ$.

После стабилизации общего состояния, на следующий день пациенту выполнено оперативное вмешательство: репозиционно-стабилизирующий шестивинтовой транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThXI-LI, ламинэктомия ThXI и частично ThXII, ревизия эпидурального пространства. Во время операции с использованием репозиционной системы проведена коррекция вывиха ThXI позвонка. По данным контрольной СКТ в послеоперационном периоде выявлено полное устранение деформации позвоночного канала и восстановление нормальной анатомии сегмента: AVH — $102,2\%$ от рассчитанной величины; PVH — $99,8\%$; A-VDCH — $102,9\%$; P-VDCH — $102,2\%$; сегментарный угол α — $7,0^\circ$, практически совпадающий с предоперационно рассчитанным значением — $6,9^\circ$ (рис. 78, 79).

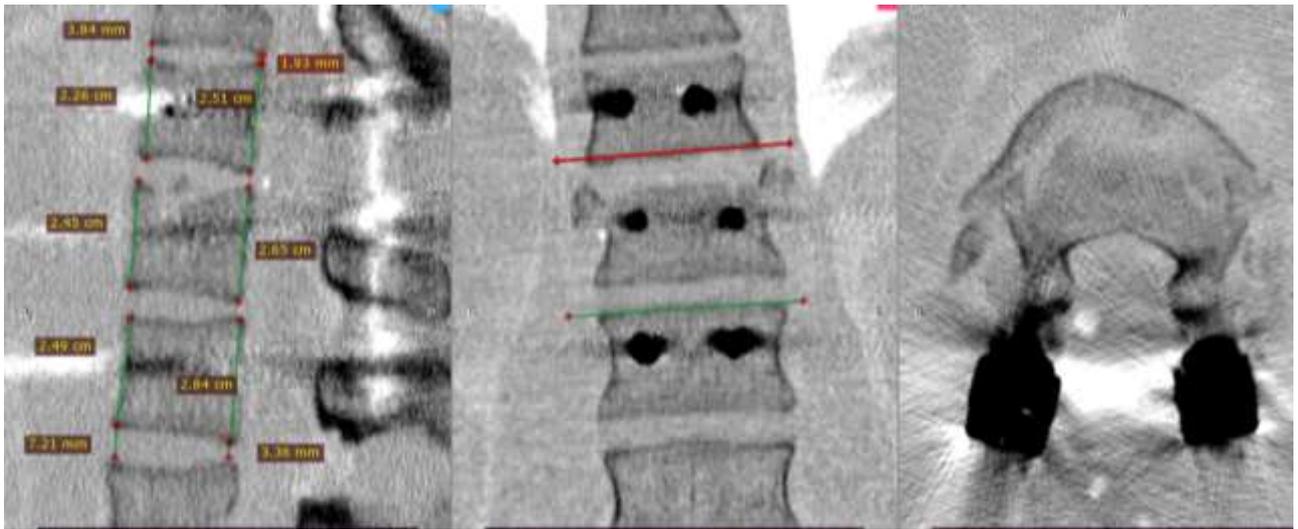


Рисунок 78 – СКТ пациента И. после операции. Морфометрия



Рисунок 79 – СКТ пациента И. Измерение позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла

Таким образом, во время операции была восстановлена анатомия поврежденного сегмента позвоночника. Угловая деформация исправлена на $16,7^\circ$, причем $\Delta\alpha$ составила $0,1^\circ$.

На контрольных СКТ-сканах через год после операции выявлено незначительное уменьшение высоты позвоночно-дискового комплекса: A-VDCH – 34,9 мм или 101,1%; P-VDCH – 31,6 мм или 100,9%; сегментарный угол уменьшился на $0,6^\circ$ и составил $6,4^\circ$ (рис. 80 а). На МРТ, выполненной через 1,5 года после операции, выявлена обширная зона гидромиелии на уровне сегмента ThXI-

ThXII (рис. 80 б). В неврологическом статусе по ASIA степень А сменилась степенью В.



Рисунок 80 – СКТ пациента И. через год после операции (а); МРТ пациента И. через 1,5 года после операции (б)

Через 4 года после операции дальнейшего нарастания деформации не было (рис. 81). Сегментарный угол не изменился и составил – 6,4° градуса, А-VDCH – 34,8 мм; Р-VDCH – 31,6 мм. По бокам тел ThXI, ThXII позвонков формируется костный блок.

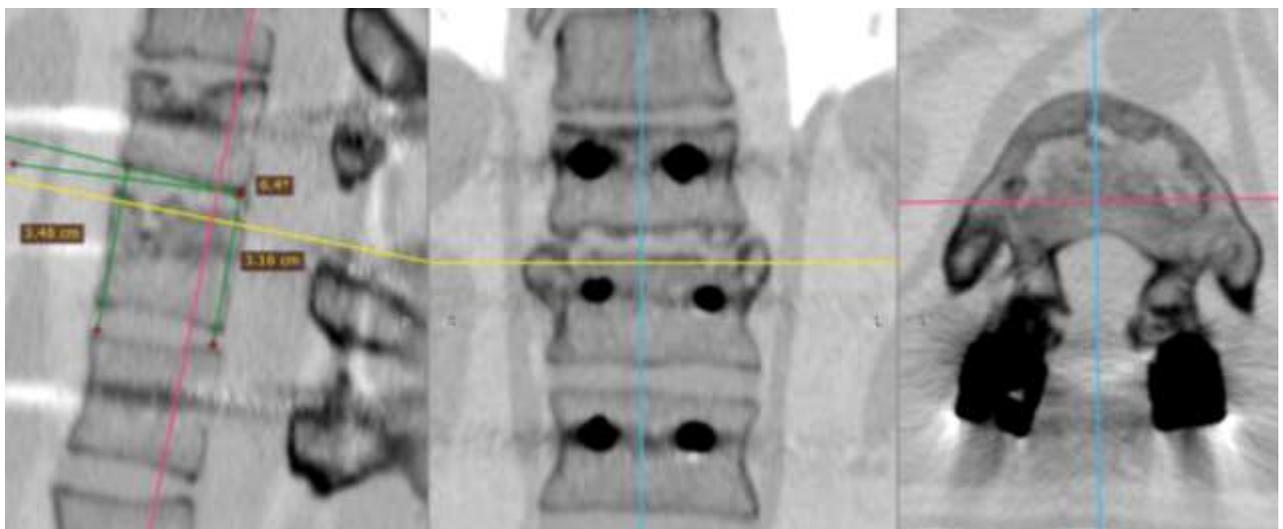


Рисунок 81 – СКТ пациента И. через четыре года после операции

6.3 Особенности лечения пациентов контрольной группы с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника

В контрольной группе всем 120 пациентам был выполнен репозиционный транспедикулярный остеосинтез, являвшийся стандартом хирургического вмешательства в учреждении до внедрения усовершенствованной методики. Некоторым больным данной группы потребовалось проведение двухэтапного хирургического лечения, что было обусловлено выраженной нестабильностью повреждённого сегмента и сохраняющейся компрессией содержимого позвоночного канала после первичного вмешательства. Следует отметить, что в контрольной группе не применялась техника щадящего паравертебрального доступа и не использовались предварительные математические расчёты для выполнения дозированной репозиции, что отличало её от основной группы и определило большую вариабельность степени коррекции деформации.

Установка винтов в повреждённые позвонки осуществлялась с необходимостью перемонтажа репозиционной системы, что увеличивало длительность операции, усложняло технику вмешательства и повышало риск смещения костных фрагментов в просвет позвоночного канала. Послеоперационные результаты восстановления повреждённых ПДС оценивались ретроспективно по данным клинико-инструментального обследования. При выборе тактики лечения учитывались характеристики повреждения спинного мозга, степень и протяжённость его компрессии, а также состояние задней продольной связки. По результатам комплексной оценки принималось решение о необходимости ламинэктомии и определялась её протяжённость.

Как и в основной группе, оперативное вмешательство проводилось из заднего доступа вне зависимости от характера повреждения и наличия неврологических нарушений. Однако принципы интраоперационной тактики существенно отличались. По данным СКТ акцент делался на выявлении внутриканальных костных фрагментов, определяющих степень стеноза позвоночного канала и возможный риск вторичной компрессии спинного мозга. В отличие от основной группы, у пациентов контрольной группы с отсутствием

неврологических нарушений, но наличием выраженного стеноза, рутинно выполнялась ламинэктомия для профилактики поздней компрессии, что увеличивало частоту декомпрессивных вмешательств.

МРТ перед операцией выполнено у 28 (23,3%) пациентов контрольной группы. Данные МРТ позволяли уточнить характер повреждения спинного мозга, выявить внутримозговые и перимедуллярные изменения, определить степень компрессии, оценить целостность задней продольной связки и её участие в поддержании стабильности повреждённого сегмента. На основании этих данных обоснованно определяли показания к ламинэктомии, определяли её протяжённость и минимально необходимый объём.

Таким образом, хирургическое лечение пациентов контрольной группы основывалось на традиционных принципах стабилизации позвоночника и декомпрессии спинного мозга без применения индивидуализированного предоперационного планирования и математически обоснованной дозированной репозиции. Это создавало предпосылки для вариабельности результатов восстановления анатомических параметров повреждённого сегмента и подчеркивало необходимость совершенствования лечебного алгоритма, реализованного в основной группе исследования. Этапы лечения пациентов контрольной группы представлен на рисунке 82.

В контрольной группе оперативные вмешательства в остром периоде, то есть в течение первых трёх суток после травмы, выполнены у 20 (16,7%) пострадавших, в раннем (до 4 недель) — у 95 (79,1%), в промежутке от 4 недель до 3 месяцев — у 5 (4,2%) пациентов. Медиана времени поступления в стационар после полученной травмы составила 2,50 [0,00–8,75] (0,00–41,00) дней.

Предоперационное планирование включало подбор размеров транспедикулярных винтов, аналогичных по параметрам тем, что применялись в основной группе. Для фиксации использовали от 4 до 6 винтов: четырёхвинтовая фиксация выполнена у 14 (11,6%), пятивинтовая — у 32 (26,7%), шестивинтовая — у 74 (61,7%) больных.

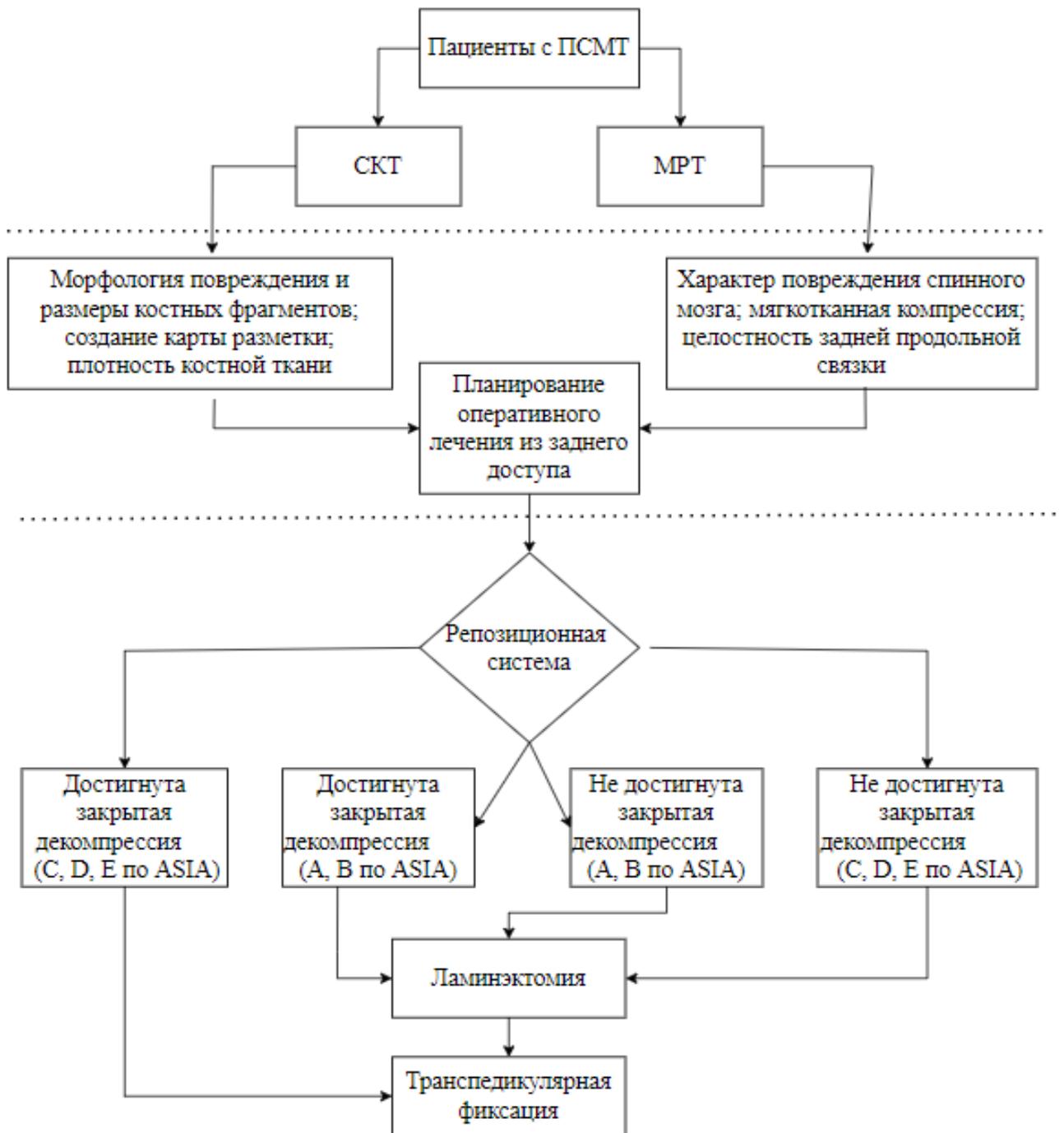


Рисунок 82 – Этапы использования традиционной системы лечения пациентов контрольной группы с повреждением грудного и поясничного отделов

Установка одного или двух винтов в повреждённый позвонок осуществлялась у 102 (85,0%) пациентов и носила преимущественно стабилизирующий характер, не учитывая особенностей морфологии повреждения и индивидуальных анатомических параметров, поскольку математические расчёты дозированной репозиции в данной группе не применялись.

После установки винтов монтировалась внутренняя репозиционная система «Синтез», при необходимости – с введением винтов в повреждённый позвонок. На этапе репозиции у всех больных выполняли закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала за счёт эффекта лигаментотаксиса. Установлено, что эффективность закрытой декомпрессии снижалась по мере увеличения времени, прошедшего с момента травмы, а также зависела от локализации, размеров и конфигурации внутриканальных костных фрагментов. Тем не менее даже в сроки до одного месяца проведение репозиции сохраняло клиническую целесообразность, позволяя уменьшить степень компрессии и восстановить анатомию повреждённого сегмента без расширения объёма операции.

Открытая декомпрессия в виде ламинэктомии после ТПФ выполнена 56 (46,7%) пострадавшим. Ламинэктомия проводилась при сохраняющейся деформации позвоночного канала и наличии осложнённой травмы для ревизии эпидурального пространства и удаления компримирующих структур. У 26 (21,7%) пациентов дополнительно выполнялась открытая циркулярная декомпрессия дурального мешка с удалением дисковых и костных фрагментов. У больных с выраженными неврологическими нарушениями (степени А и В по ASIA) ламинэктомия также выполнялась после аппаратной декомпрессии и коррекции деформации позвоночника, поскольку риск сохранения резидуальной компрессии в этой категории пациентов чрезвычайно высок.

В отдельных случаях ламинэктомия являлась обязательным этапом лечения. Так, она проведена у 4 (3,3%) пациентов с переломами дуг позвонков и задней компрессией содержимого позвоночного канала. У трёх больных при переломах задних структур было подтверждено повреждение твёрдой мозговой оболочки, что требовало непосредственной ревизии и герметизации дефекта. Следует отметить, что сохраняющийся стеноз позвоночного канала вследствие дислокации костных фрагментов в пределах переднего эпидурального пространства у 52 (43,3%) пациентов расценивался как допустимый, что соответствовало традиционному подходу и позволяло избежать необоснованного увеличения объёма вмешательства. Необоснованного выполнения ламинэктомии при неосложнённых

травмах старались избегать, соблюдая принцип минимально необходимого объёма декомпрессии.

У 4 (3,3%) пациентов с лёгкими неврологическими нарушениями решение о ламинэктомии принималось интраоперационно на основании данных миелографии, что позволяло визуализировать степень остаточной компрессии и избежать ненужного расширения хирургического доступа.

При сохраняющемся переднем сдавлении дурального мешка после ТПФ и отсутствии выраженного неврологического дефицита проведение передней декомпрессии считалось целесообразным вторым этапом лечения. Таким образом, при неэффективной репозиционной декомпрессии у пациентов с передним verteбро-медулярным конфликтом при отсутствии значимого неврологического дефицита вопрос устранения передней компрессии переносился на повторное вмешательство, выполняемое после стабилизации состояния больного.

Вторым этапом у 10 (8,3%) пациентов выполняли корпородез повреждённых ПДС из вентрального доступа. Операция включала дискэктомию и частичную резекцию разрушенного тела позвонка. В качестве пластического материала использовали ауто трансплантат из гребня подвздошной кости, фрагментированные аутокостные трансплантаты или титановые цилиндрические кейджи, заполненные аутокостью, что обеспечивало формирование надёжного переднего костного блока и восстановление опороспособности передней колонны.

Ниже приводится клиническое наблюдение, иллюстрирующее описанный тактический подход.

Пациент Б., 34 лет, доставлен с места ДТП с диагнозом: сочетанная травма (ISS – 16 баллов), компрессионный перелом тела ThXII, переломовывих тела ThXI (тип С по классификации AO Spine) с ушибом и сдавлением спинного мозга; нижняя вялая параплегия и нарушение функции тазовых органов (неврологический дефицит степени А по ASIA). Отмечались множественные переломы рёбер слева с повреждением лёгкого, гемопневмоторакс слева, а также переломы поперечных отростков ThX–L1 слева (рис. 83).

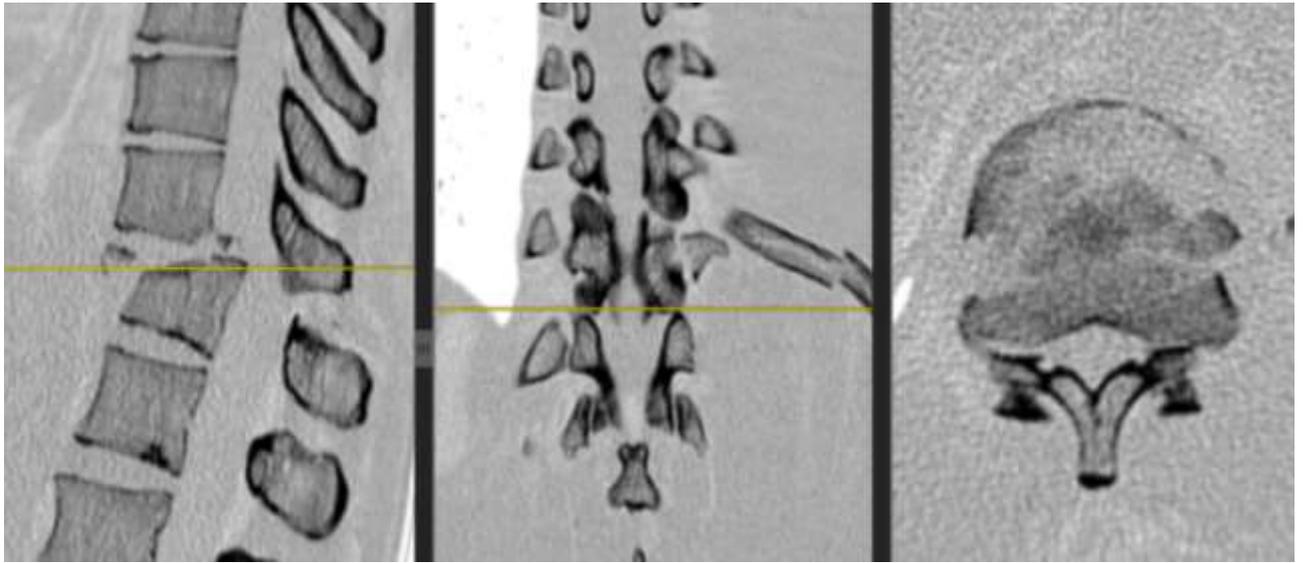


Рисунок 83 – СКТ пациента Б. при поступлении

Оперативное вмешательство было выполнено на пятые сутки после стабилизации общего состояния пациента. С учётом выраженной нестабильности повреждённого сегмента и наличия грубого неврологического дефицита произведен репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез, дополненный ламинэктомией ThXI–ThXII. По данным послеоперационной СКТ деформация позвоночного канала была полностью устранена (рис. 84).

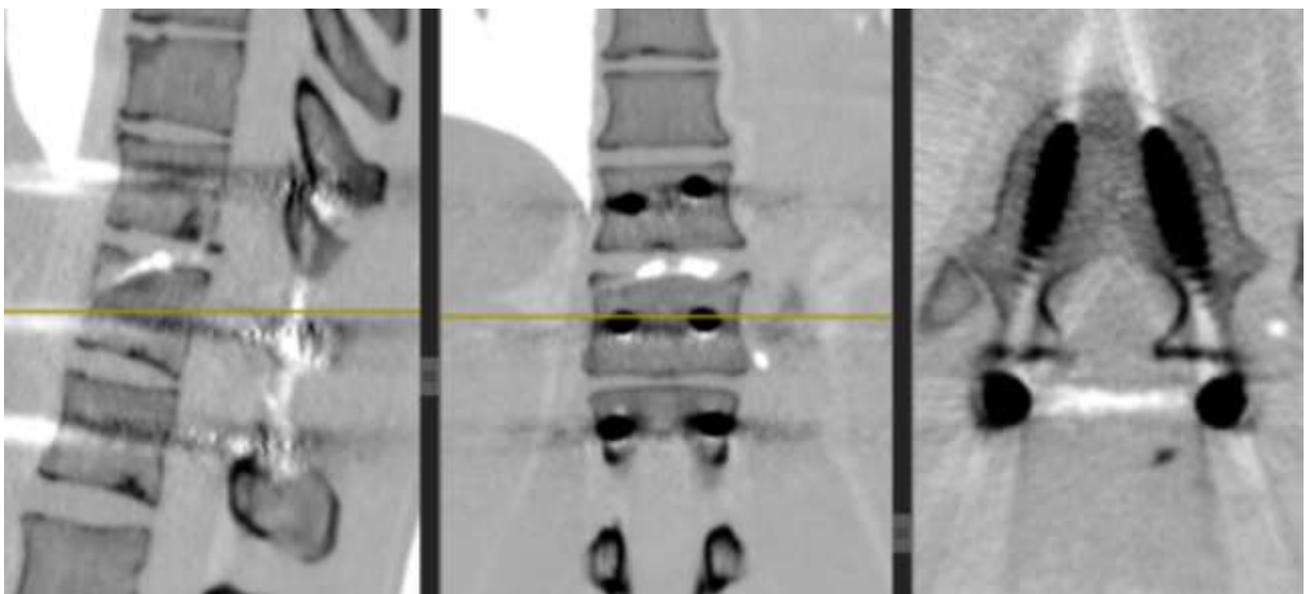


Рисунок 84 – СКТ пациента Б. после операции

В течение года отмечалась положительная динамика неврологического статуса: восстановилась глубокая чувствительность и частично тактильная (ASIA B), уменьшилась спастичность, значительно регрессировал болевой синдром. Пациент начал самостоятельно передвигаться в пределах помещения с использованием вспомогательных средств. Контрольные исследования свидетельствовали о достигнутой коррекции (рис. 85, 86).

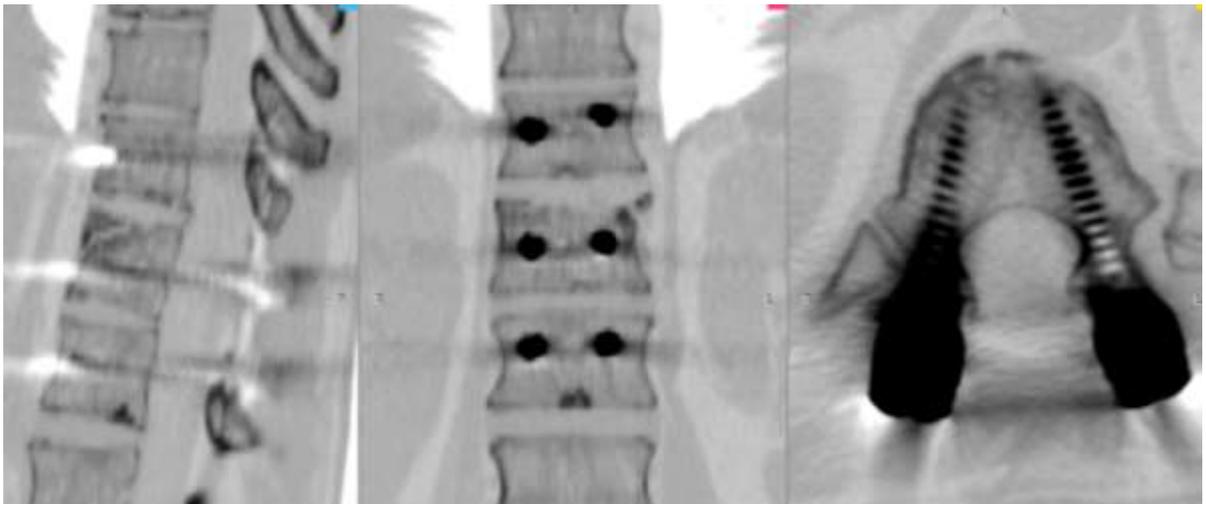


Рисунок 85 – СКТ пациента Б. через год после операции

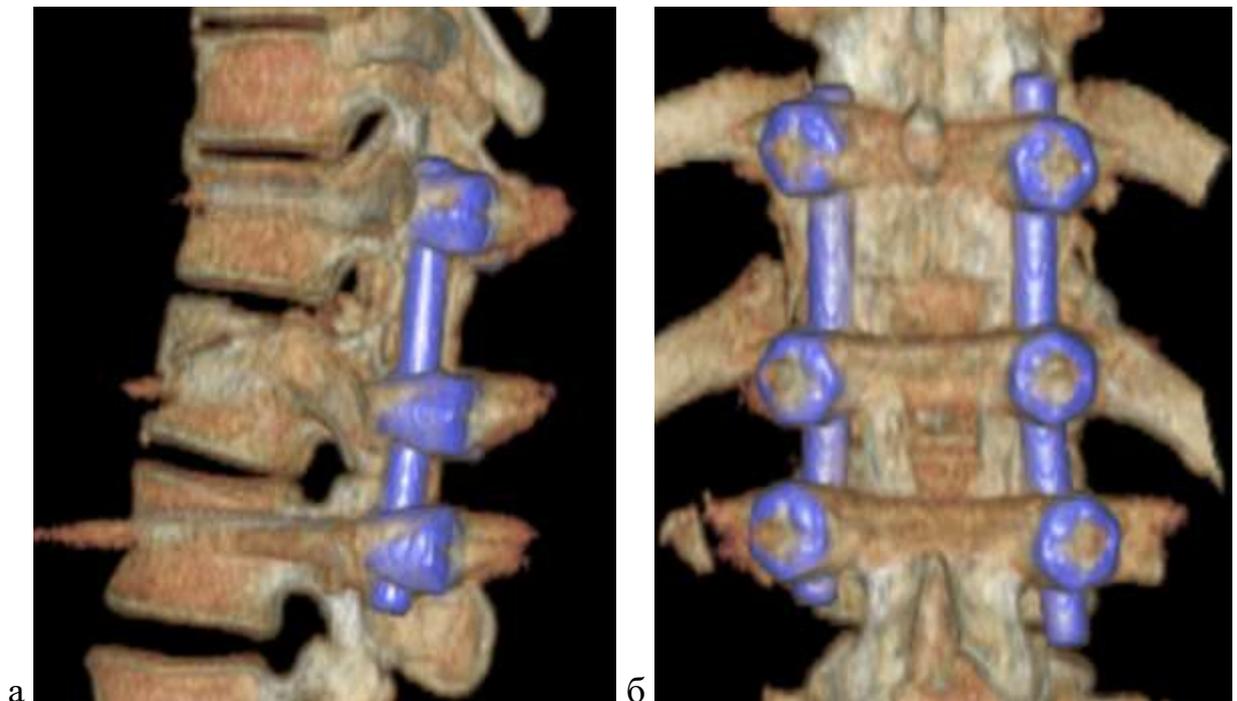


Рисунок 86 – 3D-изображение позвоночника пациента Б. через год после операции

Клинический пример

Пациент Б., 25 лет, получил травму на производстве вследствие падения с высоты трёх метров. При первичном поступлении предъявлял жалобы на выраженную боль в поясничном отделе позвоночника без признаков неврологического дефицита. По данным проведённого обследования выявлен изолированный неосложнённый перелом тела L1 позвонка типа A3 согласно классификации AOSpine, сопровождавшийся уменьшением просвета позвоночного канала на 43,2% за счёт смещённого в канал костного фрагмента (рис. 87).



Рисунок 87 – СКТ пациента Б. при поступлении

Ретроспективный анализ значительного клинического материала, касающегося поведения внутриканальных костных фрагментов во время репозиции, показал, что на качество восстановления просвета позвоночного канала влияет не только объём (размер) смещённого фрагмента, но и его пространственное положение. Особенно существенным оказалось влияние угла разворота фрагмента относительно тела позвонка.

Установлено, что при угле разворота костного фрагмента более $50,0^\circ$ эффективность лигаментотаксиса существенно снижалась: в данной ситуации смещение фрагмента во время аппаратной репозиции удавалось достигнуть не более чем на 50% от исходной величины (рис. 88а).

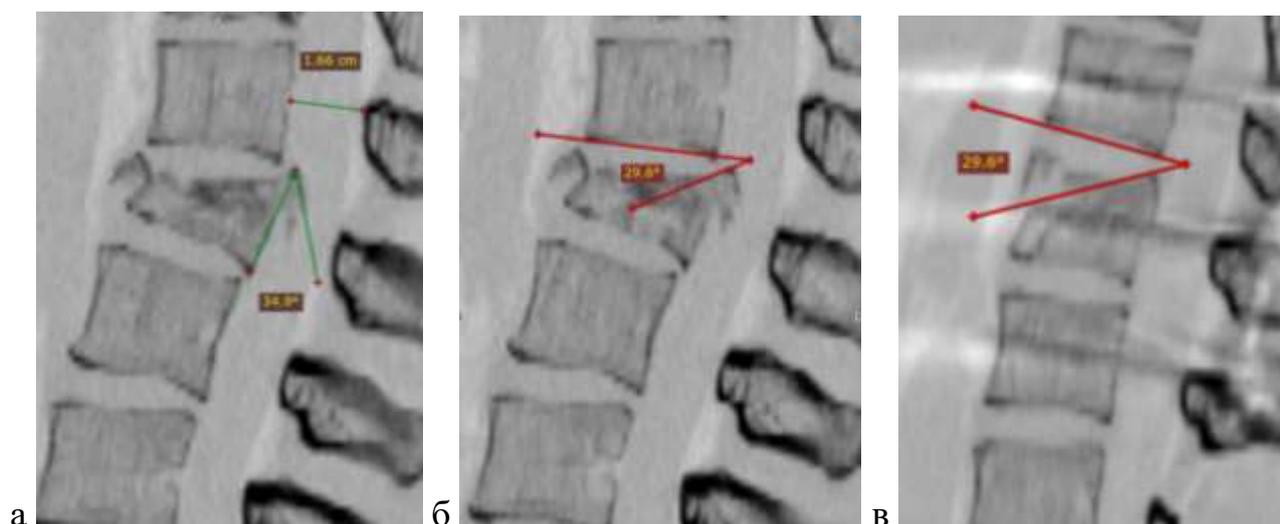


Рисунок 88 – СКТ пациента Б.: а – угол разворота костного фрагмента; б – угол между нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и костным фрагментом до операции; в – после операции

Замечено также, что угол, образованный границами нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка и продолжением верхней кортикальной пластинки на костном фрагменте повреждённого позвонка, в процессе репозиции остаётся практически неизменным (рис. 88 б, в). Данный показатель может служить косвенным маркером биомеханического поведения костного фрагмента внутри позвоночного канала.

Увеличение указанного угла по мере выполнения репозиционных манёвров следует расценивать как неблагоприятный признак, указывающий на исчерпанность возможностей лигаментотаксиса. В подобных случаях дальнейшие попытки закрытой коррекции становятся малообещающими и могут сопровождаться риском дополнительной травматизации либо передним смещением фрагмента в сторону дурального мешка. Это подчёркивает необходимость раннего определения пределов эффективности аппаратной репозиции и своевременного перехода к альтернативным способам декомпрессии.

Пациенту был выполнен шестивинтовой транспедикулярный остеосинтез (рис. 89). В результате вмешательства дефицит просвета позвоночного канала уменьшен до 11,2%, что соответствует удовлетворительным показателям закрытой декомпрессии и обеспечивает адекватное восстановление сагиттального профиля.

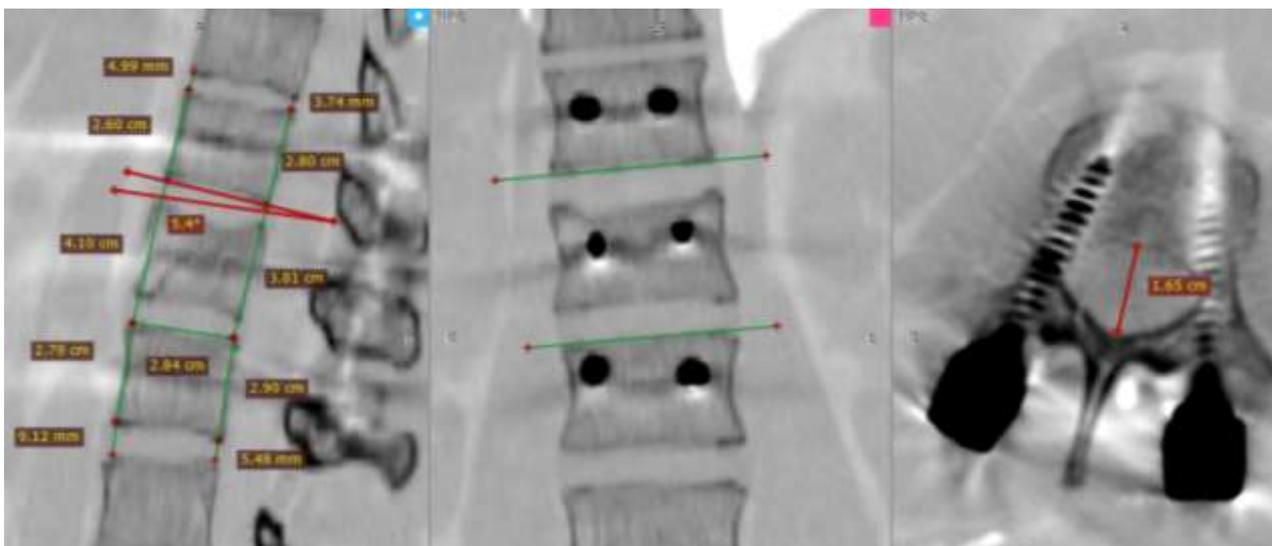


Рисунок 89 – Контрольное СКТ-исследование пациента Б. после операции

Контрольные КТ-исследования, проведённые через 1 год и 2,5 года после операции, подтвердили стабильность достигнутых анатомических параметров (рис. 90).

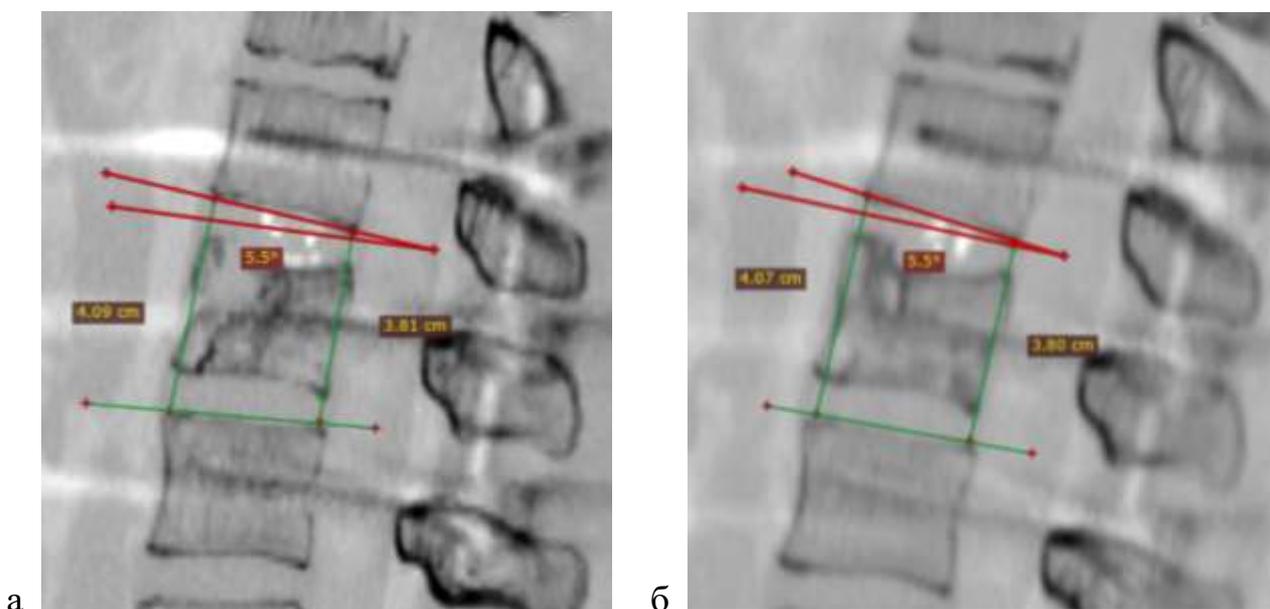


Рисунок 90 – Контрольное СКТ-исследование пациента Б. в сагиттальной проекции: а – через год после операции; б – через 2,5 года после операции

Клинический пример

Пациентка П., 36 лет, поступила после дорожно-транспортного происшествия с тяжёлой сочетанной травмой; суммарная оценка по шкале ISS составила 24 балла. При поступлении отмечались выраженные расстройства

жизненно важных функций, в связи с чем больная была госпитализирована в отделение реанимации и интенсивной терапии.

При проведении комплексного обследования выявлены следующие повреждения. Основным был нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом ThXII позвонка, сочетавшийся с вывихом тела ThXI (тип С по классификации AOSpine), что сопровождалось ушибом и значительной компрессией спинного мозга. Клинически определялась нижняя вялая параплегия с выраженной гипестезией и нарушением функции тазовых органов по типу задержки мочеиспускания; степень неврологических нарушений соответствовала категории А по шкале ASIA.

Дополнительно выявлены множественные повреждения костных структур грудного и поясничного отделов позвоночника: переломы поперечных отростков и ребер ThIII–ThVII слева, переломы дужек, поперечных отростков и ребер ThXI–ThXII справа, а также переломы поперечных отростков LIII и LIV справа. Торакальная травма сопровождалась двусторонним гемопневмотораксом. Переломы крестца и лонных костей. ОЧМТ. Ушиб головного мозга средней тяжести. Пневмоцефалия (рис. 91).

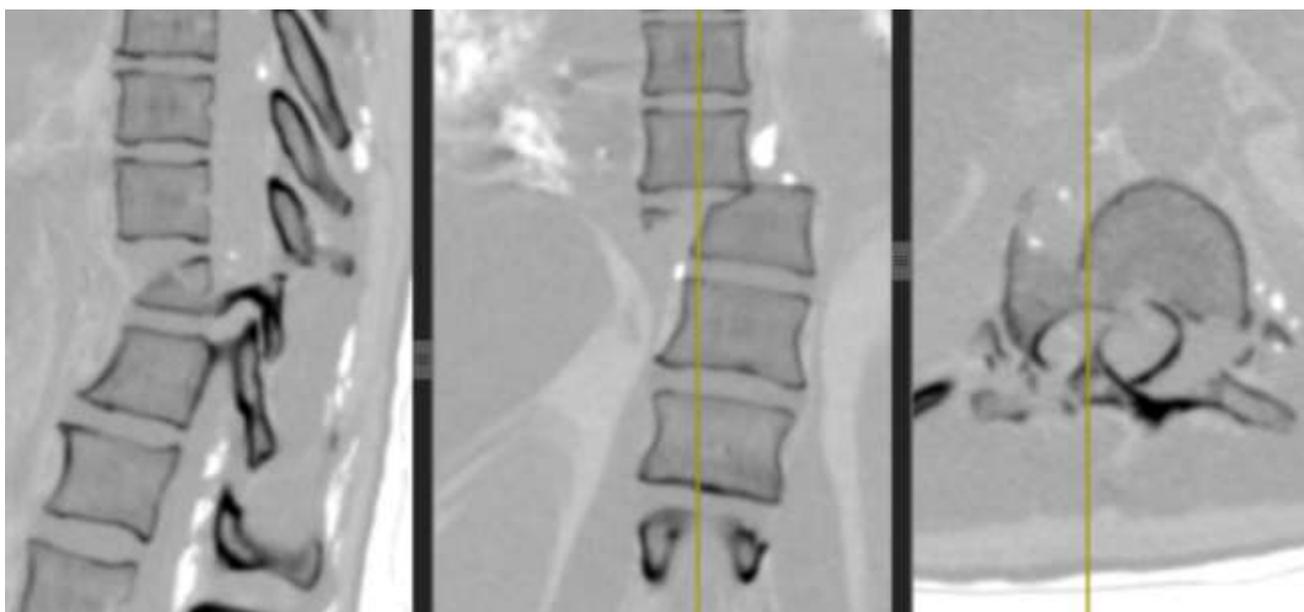


Рисунок 91 – СКТ пациентки П. перед операцией

Первоначально пациентка находилась в отделении реанимации, где проводилась интенсивная терапия, направленная на стабилизацию гемодинамики, купирование дыхательных нарушений, коррекцию водно-электролитного баланса и лечение ЧМТ. Через 6 суток, после достижения относительной стабилизации общего состояния, пациентка взята на операцию.

Выполнен пятивинтовой транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThXI–LI позвонков в сочетании с декомпрессивной ламинэктомией на уровне ThXI–ThXII. Использование репозиционной системы позволило добиться устранения грубой деформации позвоночного столба, восстановления оси груднопоясничного перехода и значительного уменьшения степени стеноза позвоночного канала (рис. 92).



Рисунок 92 – Контрольное СКТ-исследование больной П. после операции

В течение месяца после операции удалось получить хороший неврологический регресс до степени С по ASIA.

Клинический пример

Пациент П., 24 года, был доставлен после дорожно-транспортного происшествия с сочетанной травмой; по шкале ISS тяжесть повреждений оценена

в 24 балла. При проведении первичного обследования выявлен нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом тела ThX позвонка, соответствующий типу С по классификации AOSpine. Травма сопровождалась тяжёлым ушибом и выраженной компрессией спинного мозга. Клинически отмечались нижняя вялая параплегия, полная анестезия и нарушение функции тазовых органов по типу задержки мочеиспускания; неврологический статус расценён как степень А по шкале ASIA.

Дополнительные повреждения включали множественные переломы ребер с обеих сторон, двусторонний гемоторакс, а также открытую черепно-мозговую травму. Нейровизуализация выявила ушиб головного мозга, осложнённый острой субдуральной гематомой справа, приводившей к компрессии мозговых структур (рис. 93).



Рисунок 93 – СКТ пациента П. с переломом ThX при поступлении

При поступлении пациент находился в состоянии угнетения сознания. С учётом угрозы для жизни в экстренном порядке выполнена операция по удалению субдуральной гематомы, после чего произведено дренирование плевральных полостей. К 10-му дню наблюдалась положительная динамика — пациент начал приходить в сознание. После стабилизации общего состояния, на 16-й день после травмы, выполнено основное нейрохирургическое вмешательство:

репозиционный шестивинтовой транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThVIII–ThXI, декомпрессивная ламинэктомия ThIX–ThX, а также ревизия эпи- и субдурального пространства с последующим ушиванием выявленного дефекта твёрдой мозговой оболочки (рис. 94).

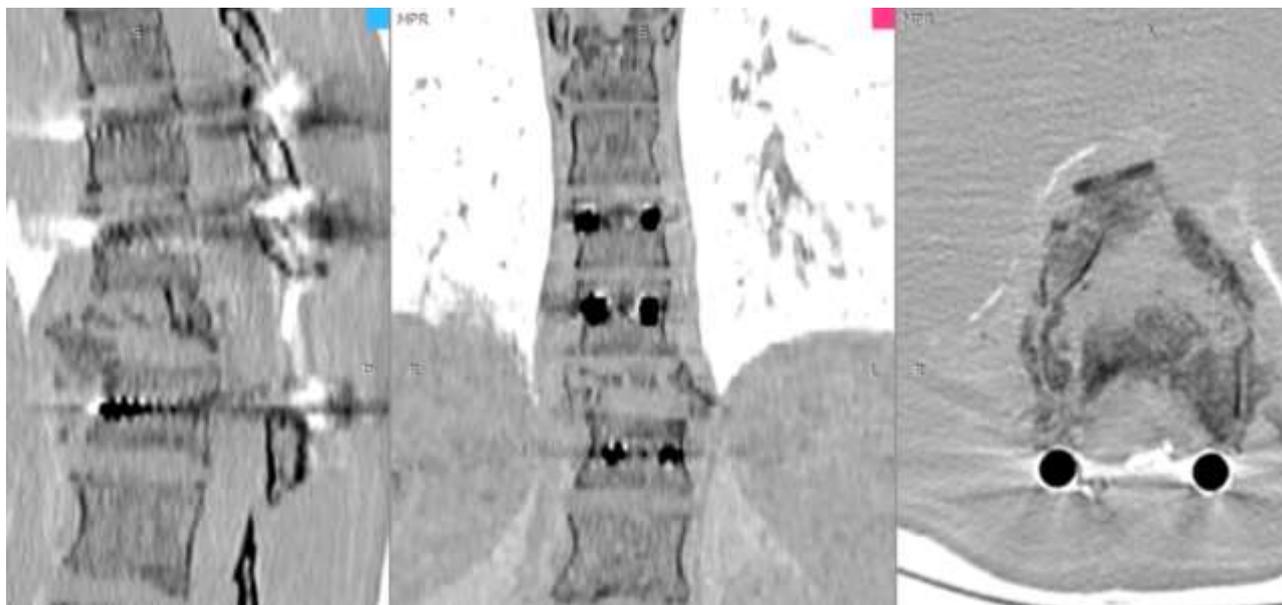


Рисунок 94 – Контрольное СКТ-исследование больного П. после операции

Через 3 месяца после первичного хирургического вмешательства пациент был госпитализирован повторно. В неврологическом статусе отмечено появление глубоких видов чувствительности, что соответствовало степени В по шкале ASIA и расценивалось как положительная динамика неврологического восстановления.

С учётом достигнутой стабилизации общего состояния и сохраняющейся необходимости реконструкции вентральной опорной колонны пациенту был выполнен вентральный этап хирургического лечения. Из правостороннего торакотомного доступа произведено удаление фрагментов межпозвонковых дисков ThIX–ThX и ThX–ThXI, после чего выполнен межтеловой корпородез с использованием цилиндрических кейджей, заполненных аутокостным материалом (рис. 95, 96). Проведённое вмешательство было направлено на восстановление опороспособности передних отделов позвоночника, формирование надёжного межтелового костного блока и снижение нагрузки на элементы задней фиксации.

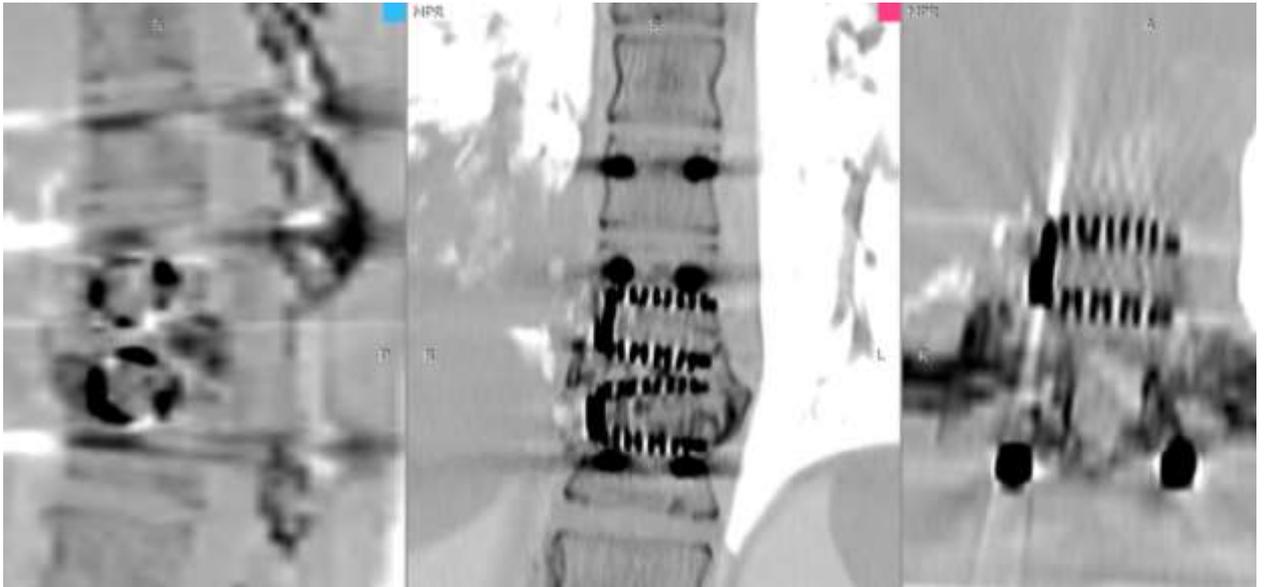


Рисунок 95 – СКТ пациента П. после вентрального этапа операции

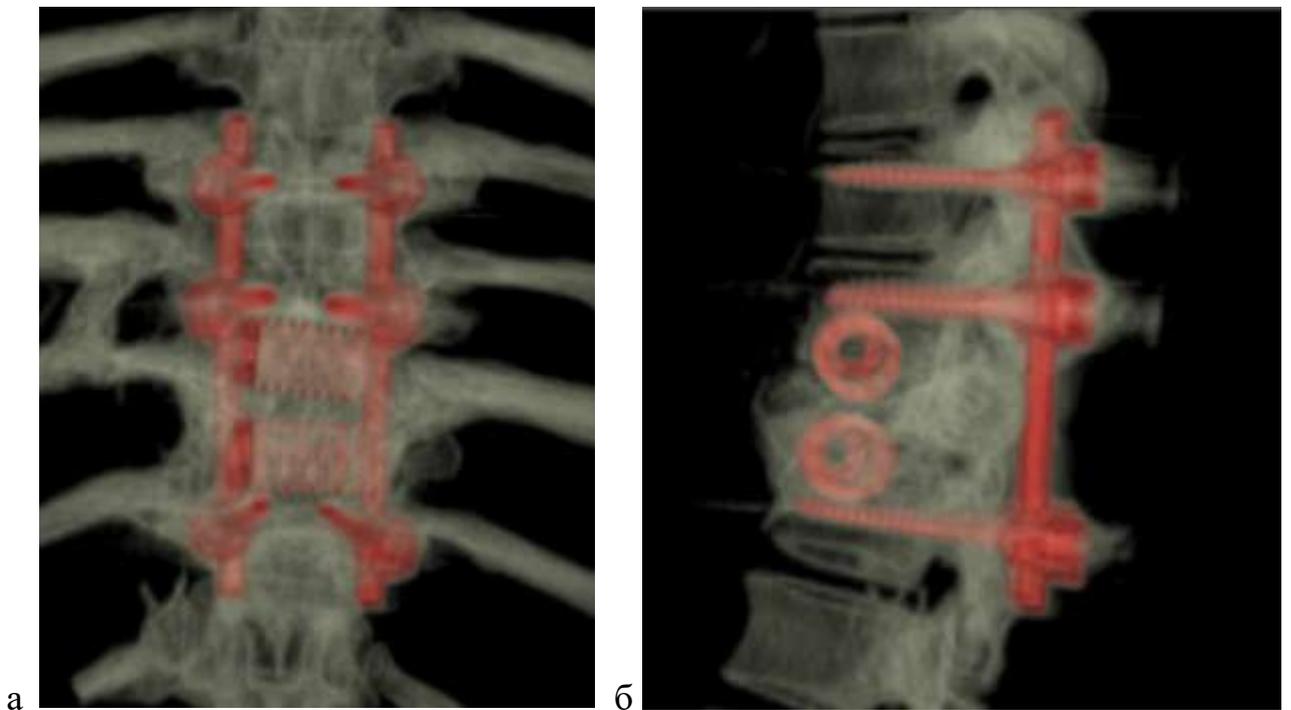


Рисунок 96 – 3D-изображение позвоночника пациента П. после вентрального этапа операции в прямой (а) и боковой (б) проекциях

На контрольных СКТ сканах нарастания деформации нет. Сформировался вентральный костно-металлический блок. Закрылся костный дефект после ламинэктомии с моделированием позвоночного канала (рис. 97).

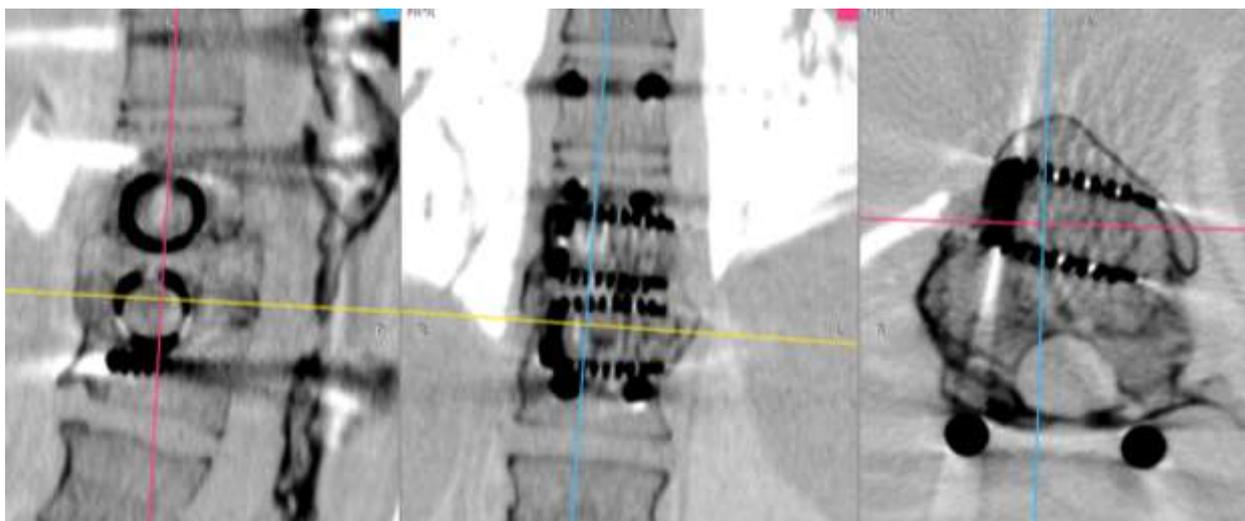


Рисунок 97 – СКТ пациента П. через 8 лет после вентрального этапа операции

В процессе дальнейшего наблюдения изменений в неврологическом статусе не было, пациент остался с грубыми нарушениями степени В.

Клинический пример

Пациент П. 22 лет, который получил травму при падении с 4-го этажа. При поступлении диагностирована сочетанная травма. Компрессионно-оскольчатый перелом тела и остистого отростка LII позвонка (тип С по AOSpine) с ушибом и сдавлением эпиконуса спинного мозга. Нижняя вялая параплегия, анестезия, нарушение функции тазовых органов (степень А по ASIA). Перелом остистого отростка LI, поперечного отростка LIII позвонков. ЗЧМТ. Сотрясение головного мозга (рис. 98).



Рисунок 98 – СКТ больного П. после мультипланарной реконструкции

По данным СКТ до операции выявлена кифотическая и боковая деформации поврежденного отдела с грубой компрессией содержимого позвоночного канала: сегментарный угол составил $6,1^\circ$, боковая деформация – $8,1^\circ$, дефицит просвета позвоночного канала – $91,4\%$. Выполнены расчеты целевых параметров: передние размеры позвоночно-дискового комплекса – $47,8$ мм; задние – $42,9$ мм, сегментарный угол – $8,4^\circ$ градуса. На вторые сутки пациент был переведен из ЦРБ, а оперативное вмешательство выполнено на третьи сутки с момента травмы.

На первом этапе хирургического вмешательства были выполнены: репозиционно-стабилизирующий пятивинтовой ТПО, ламинэктомия LII и частично LI (рис. 99). Установку винта в поврежденный позвонок справа сознательно не проводили в связи с предполагаемым вентральным этапом.

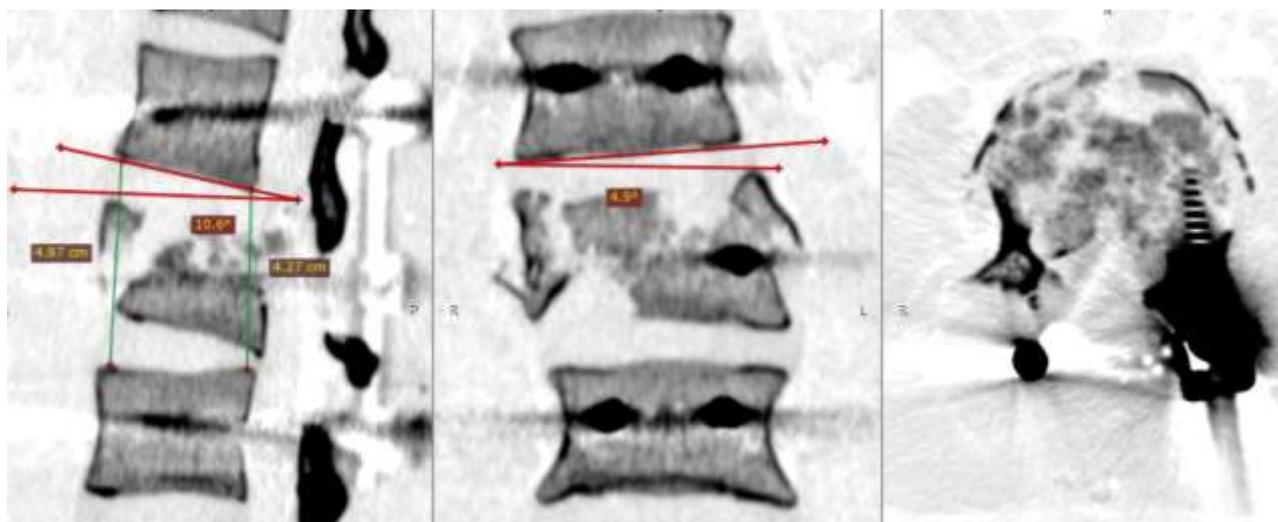


Рисунок 99 – СКТ больного П. после этапа операции с использованием заднего доступа

Во время хирургического вмешательства удалось устранить кифотическую деформацию позвоночного столба на $16,7^\circ$, а боковую — на $3,2^\circ$. Полученный сегментарный угол характеризовался незначительной гиперкоррекцией и превышал рассчитанное предоперационно значение на $2,2^\circ$.

Восстановление размеров позвоночно-дискового комплекса также оказалось близким к расчётным значениям. Передний размер позвоночно-дискового

комплекса составил 48,7 мм, что соответствует 101,9% от рассчитанного параметра, а задний — 42,7 мм, или 99,5% от требуемой величины.

Через 5 месяцев после первичного вмешательства пациент поступил для выполнения вентрального этапа операции. Вторым этапом с переднебокового внебрюшинного доступа справа проведена частичная резекция тела LII. Для заполнения дефекта и обеспечения стабильности позвоночного сегмента использован цилиндрический эндопротез с аутокостью. Контрольное СКТ исследование подтвердило адекватное расположение эндопротеза (рис. 100).

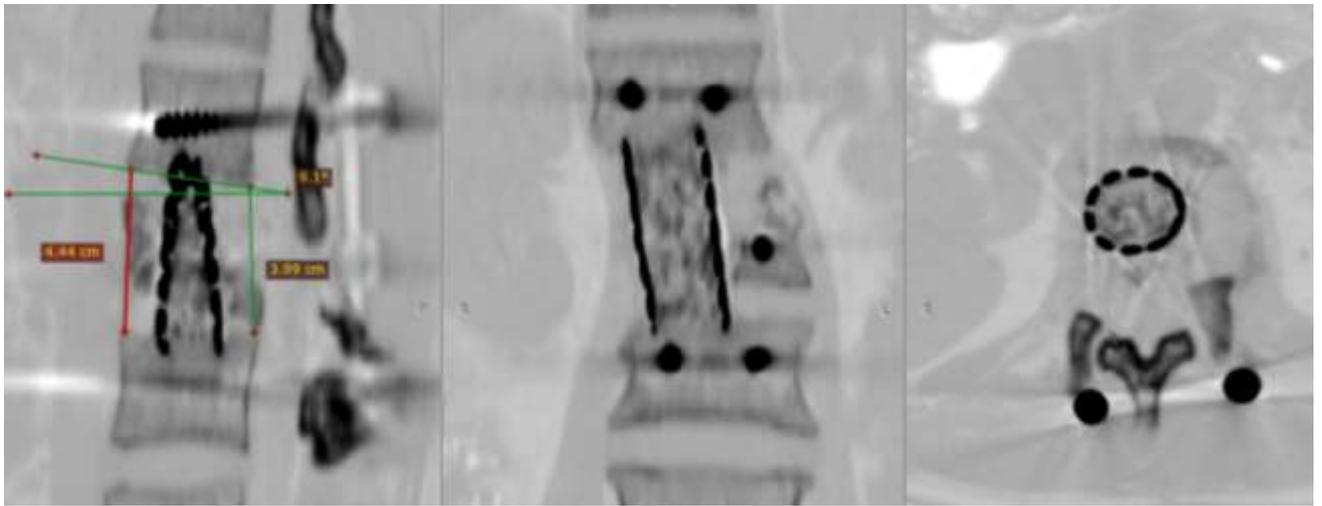


Рисунок 100 – Контрольное СКТ-исследование пациента П. после второго этапа операции

В ходе оперативного вмешательства удалось устранить сохранявшуюся вентральную компрессию содержимого позвоночного канала. По данным контрольной компьютерной томографии (рис. 101) отмечена положительная динамика целевых морфометрических показателей: размеры позвоночно-дискового комплекса составили 44,4 мм в передних отделах и 39,9 мм в задних отделах, величина сегментарного угла — 9,1°.

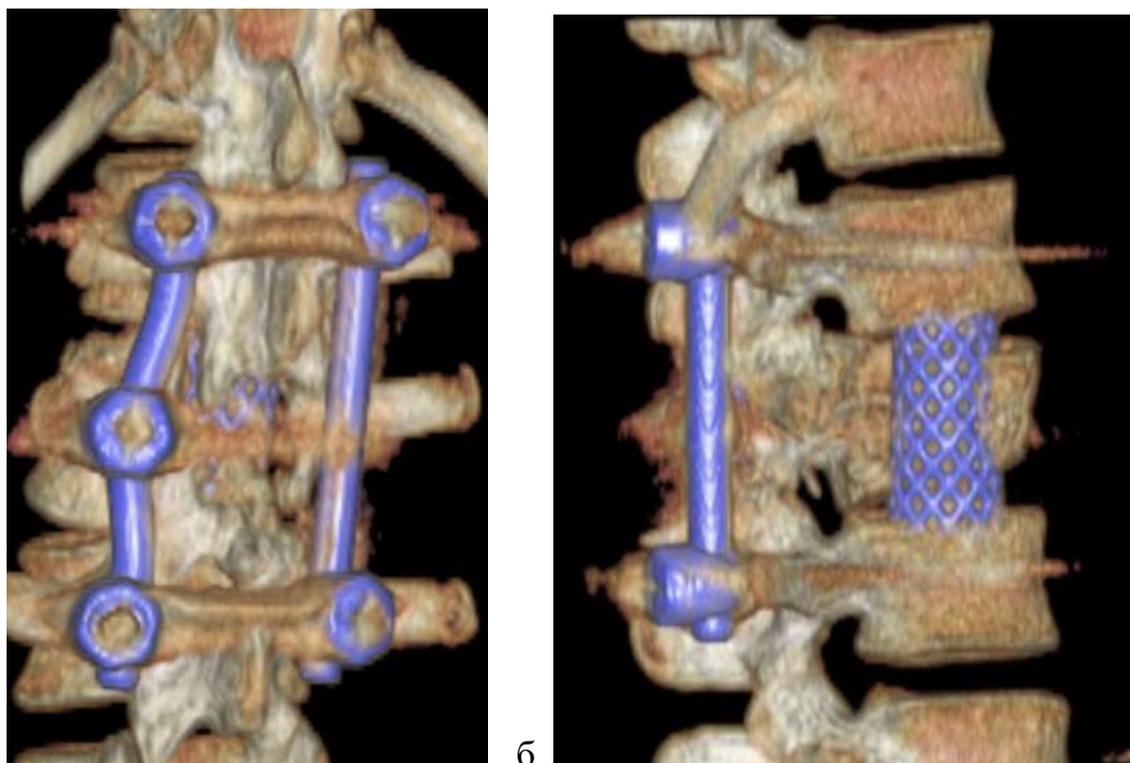


Рисунок 101 – 3D-изображение позвоночника пациента П. после второго этапа операции в прямой (а) и боковой (б) проекциях

В отдалённом послеоперационном периоде было отмечено улучшение неврологического статуса на одну степень, что свидетельствовало о продолжающемся восстановлении проводниковых функций спинного мозга. За счёт сохранности и функционального усиления проксимальных мышечных групп бедра пациент приобрёл способность к самостоятельному передвижению с опорой на ходунки. Одновременно отмечалось формирование автоматизма тазовых функций, расцениваемое как клинически значимый признак функциональной адаптации.

По данным контрольной СКТ-миелографии, выполненной через 1,5 года после вентрального этапа хирургического лечения, на уровне перенесённой травмы определялась деформация субдурального пространства, обусловленная развитием фиброзного процесса. При этом признаков нарушения опороспособности позвоночника и утраты достигнутой коррекции выявлено не было (рис. 102).

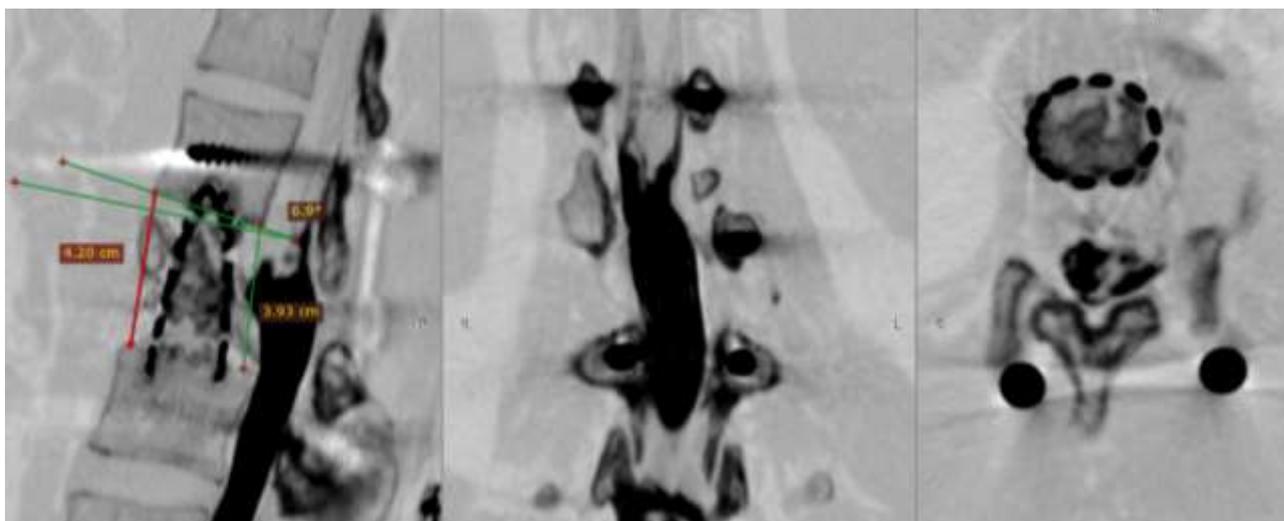


Рисунок 102 – СКТ- миелография пациента П. через 1,5 года после второго этапа операции

Передний размер позвоночно-дискового комплекса уменьшился по отношению к первому этапу операции на 2,4 мм, задний – на 0,6 мм, сегментарный угол – на 2,2°. За два года с момента первой операции потеря достигнутой деформации составила 3,7°. Разница между фактическим и рассчитанным углом через 2 года – 1,5°.

Представляем очередное клиническое наблюдение, где точное восстановление рассчитанных целевых параметров во время оперативного вмешательства способствует сохранению достигнутой коррекции в отдаленном периоде при нестабильном повреждении.

Пациентка М., 25 лет, получила травму в ДТП. Из ЦРБ переведена в клинику в первые сутки. При поступлении диагностирована сочетанная травма (ISS – 21 балл). Компрессионно-оскольчатый перелом тела L1, переломовывих ThXII позвонка (тип С по AOSpine) с ушибом и сдавлением спинного мозга. Нижняя вялая параплегия, анестезия, нарушение функции тазовых органов (степень А по ASIA). Перелом остистого отростка L1, поперечного отростка LIII позвонков. ЗЧМТ. Ушиб головного мозга. Ушибленная рана головы (рис. 103, 104).

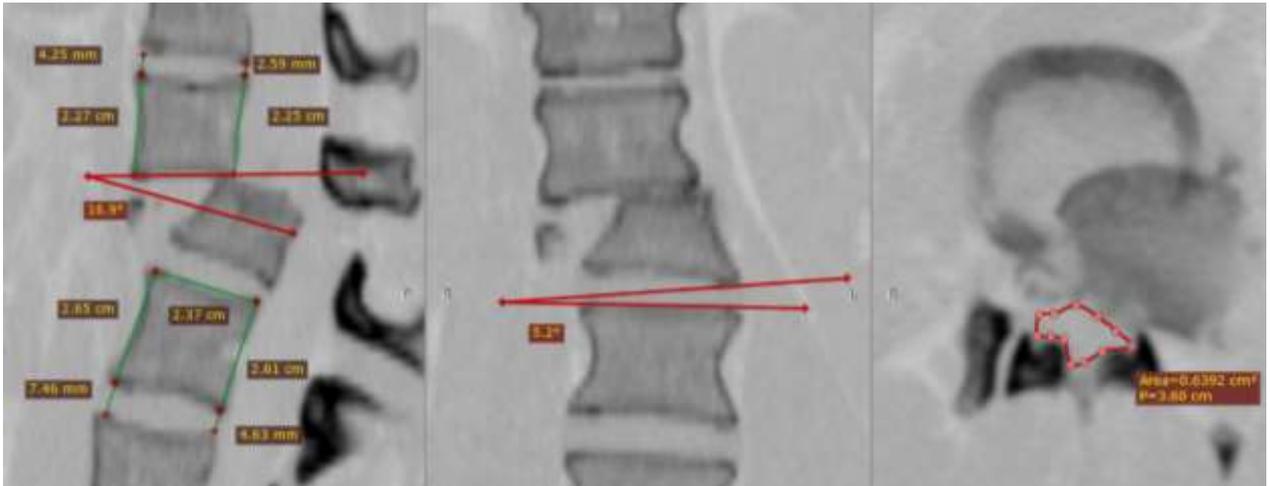


Рисунок 103 – СКТ больной М. после мультипланарной реконструкции при поступлении

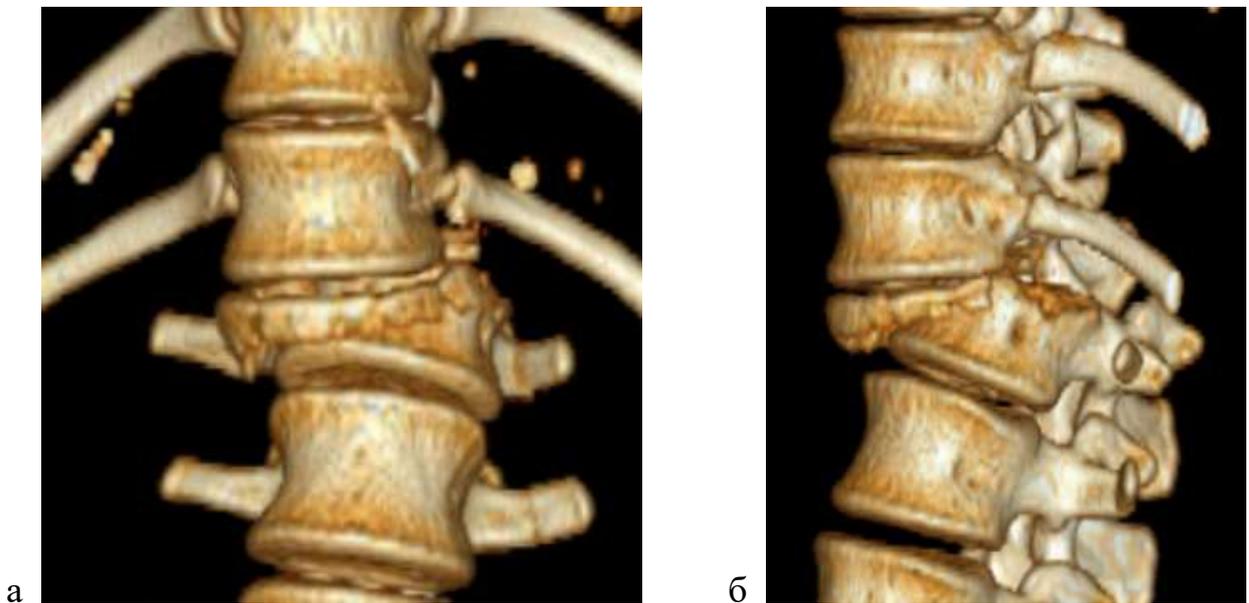


Рисунок 104 – 3D-изображение позвоночника пациентки М. при поступлении спереди (а) и сбоку (б)

На СКТ-сканах после мультипланарной реконструкции: передняя высота тела поврежденного позвонка 70,3%, задняя высота – 86,0%, сегментарный угол с кифозом – 16,9°, боковая деформация – 5,2°, дефицит просвета позвоночного канала – 65,9%, дефицит площади позвоночного канала – 79,6%. Рассчитанные параметры: передний размер позвоночно-дискового комплекса – 36,3 мм, задний – 31,5 мм, сегментарный угол – 11,6°.

Пациентка оперирована на следующие сутки после полученной травмы. С помощью репозиционной системы удалось устранить многоплоскостную деформацию и приблизить основные целевые параметры к рассчитанным. Спереди позвоночно-дисковый комплекс разведен до 36,7 мм (101,1%), сзади VDC разведен – до 31,9 мм (101,3%). Сегментарный угол исправлен на 28,3° и составил 11,4° (рис. 105).

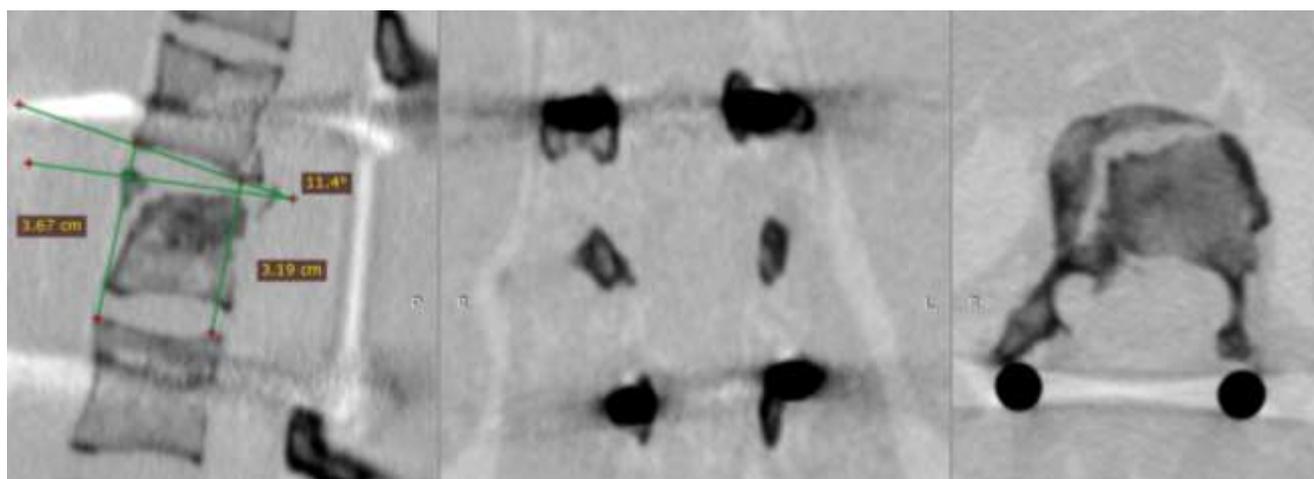


Рисунок 105 – СКТ больной М. после операции с использованием заднего доступа

В результате передняя высота тела L1 позвонка восстановилась до 100%, задняя – до 98,4% от рассчитанной высоты. Остеосинтез осуществлен 4 винтами в смежные тела позвонков. Учитывая, что на момент операции метод репозиции не был усовершенствован, и отмечались анатомически узкие корни дуг, установка винтов в поврежденное тело была затруднена. В отдаленном периоде, к сожалению, восстановления неврологического статуса не наступило, и у пациентки остались нарушения типа А по ASIA. Через полгода выработался автоматизм тазовых функций.

Контрольное исследование через 2 года после операции нас обрадовало. Несмотря на выполненную ламинэктомию ThXII и L1, почти сохранилась достигнутая коррекция деформации (рис. 106). Спереди позвоночно-дисковый комплекс уменьшился на 2 мм, сзади – на 1,1 мм. Достигнутый сегментарный угол уменьшился на 2,3° и отличается от рассчитанного на 2,5°.

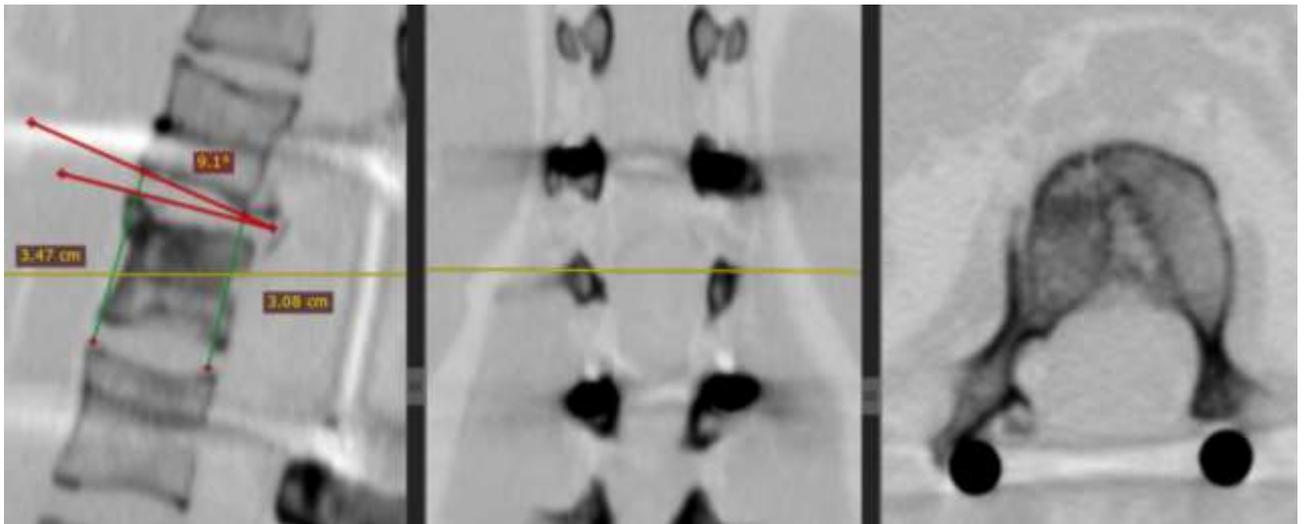


Рисунок 106 – Контрольное СКТ-исследование пациентки М. через 2 года после операции

На контрольных 3D-сканах можно увидеть сросшееся тело позвонка, где по заднебоковой поверхности формируются костные мостики ThXII-LI. Транспедикулярная конструкция не нарушена (рис. 107). Залогом успеха и в данном клиническом примере также считаем восстановление во время операции локального баланса позвоночника и использование для фиксации конструкций диаметром 7 мм с моноаксиальными винтами.

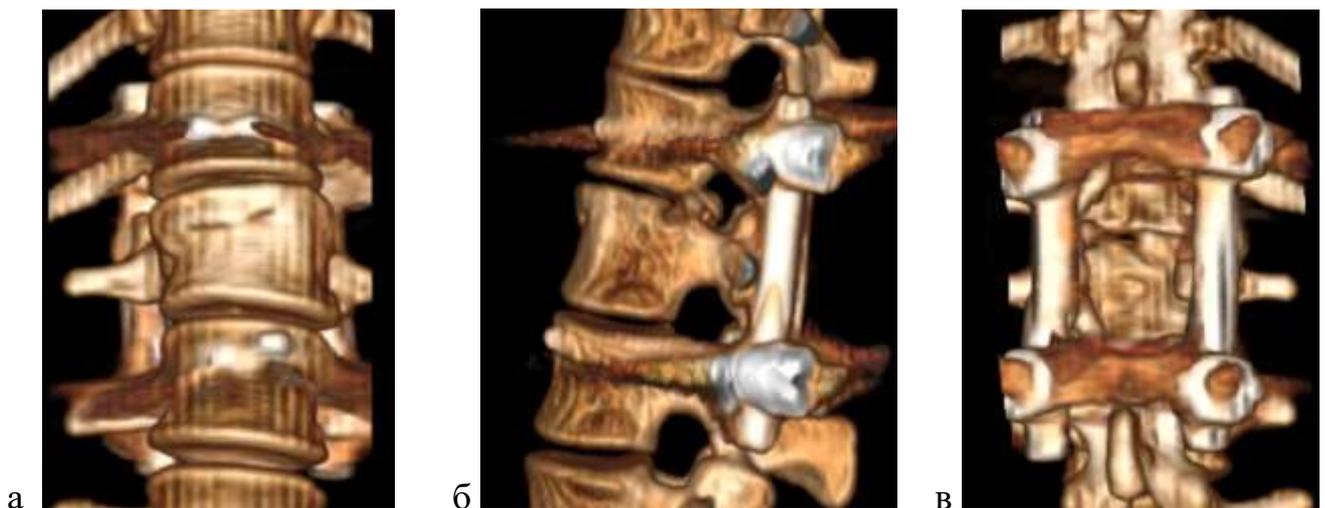


Рисунок 107 – 3D-изображение позвоночника пациентки М. через 2 года после операции

6.4. Сравнительный анализ ближайших результатов лечения пациентов основной и контрольной групп

У всех оперированных нами пациентов для стабилизации повреждённого отдела позвоночника применялся транспедикулярный остеосинтез. Хирургические вмешательства выполнялись в максимально ранние сроки, что позволяло одновременно решать как нейрохирургические, так и ортопедические задачи. В случаях сочетанной травмы в первую очередь проводились экстренные операции, направленные на устранение угрожающих жизни состояний; вмешательства на позвоночнике выполнялись в отсроченном порядке, после достижения удовлетворительной стабилизации общего состояния пострадавших.

Подавляющее большинство вмешательств — 217 операций (95,2%) — были выполнены только из дорсального доступа. Введение транспедикулярных винтов в сломанное тело позвонка в сочетании с применением репозиционной системы обеспечивало ликвидацию передней формы компрессии спинного мозга, а также восстановление анатомических соотношений и высоты повреждённого позвонка. Такой подход позволял эффективно решать основную задачу — одновременное восстановление опороспособности позвоночного столба и декомпрессию невральных структур.

Небольшая доля двухэтапных оперативных вмешательств объясняется тем, что в большинстве случаев декомпрессия спинного мозга и восстановление стабильности позвоночника достигались уже на первом этапе. Дополнительно следует отметить, что отказ некоторых пациентов от второго этапа был обусловлен субъективно удовлетворительным состоянием и уменьшением выраженности клинических проявлений.

В обеих исследуемых группах у 100% пациентов были оценены ближайшие результаты лечения в срок до 6 месяцев после завершения хирургического вмешательства. Интенсивность болевого синдрома определялась по ВАШ. Полученные результаты представлены на рисунке 108. Медиана болевого синдрома по ВАШ в основной группе 2,00 [1,00-3,00] (1-4), в то время как в контрольной — 3,00 [2,00-3,00] (1-5), что свидетельствует о меньшей

выраженности болевого синдрома у пациентов, проходивших лечение по усовершенствованной методике.

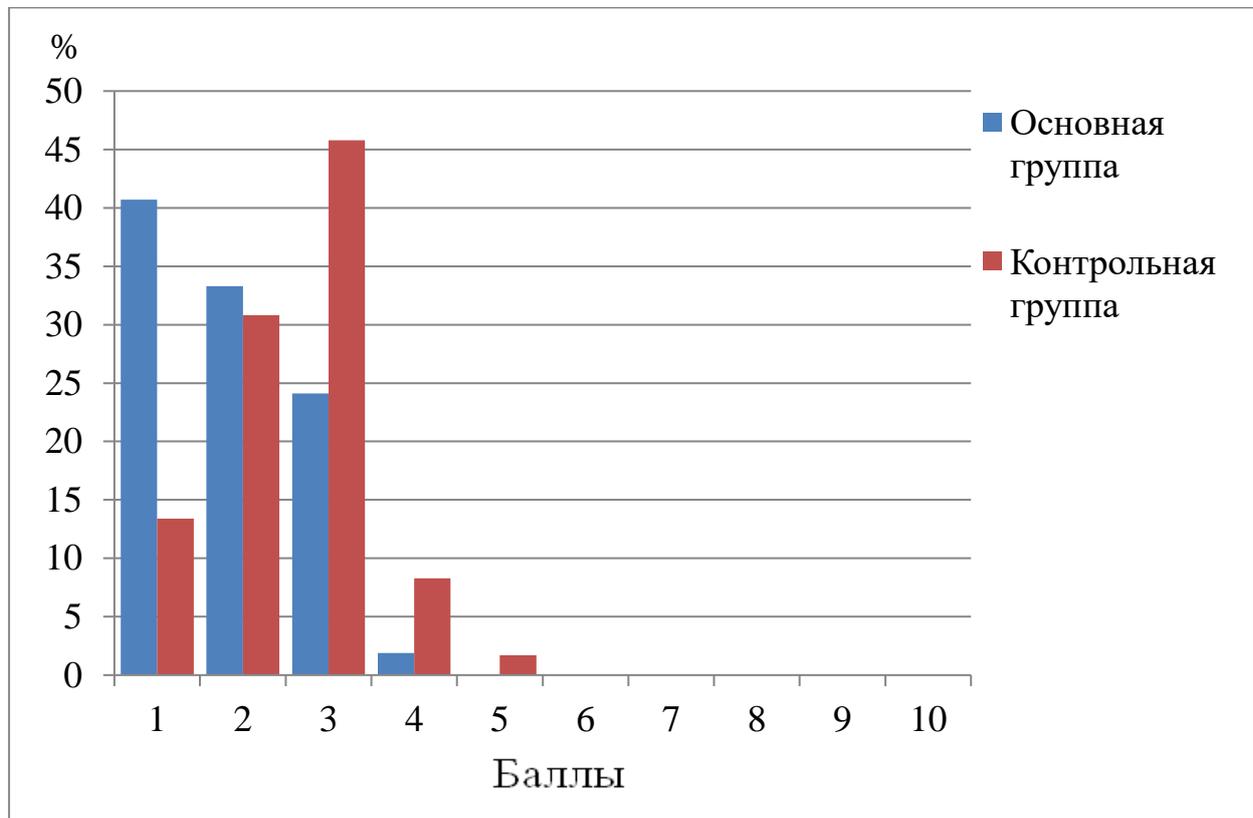


Рисунок 108 – Интенсивность болевого синдрома по ВАШ после операции

Выраженность болевого синдрома у пациентов основной группы была статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой. Распределение значений болевого синдрома не соответствовало нормальному типу, в связи с чем применялся непараметрический критерий Манна–Уитни. Установлено статистически значимое различие между группами ($p < 0,05$).

Сравнение эффективности лечения в основной и контрольной группах, выполненное по таким показателям, как продолжительность операции и объём интраоперационной кровопотери, представлено в таблице 22. Эти параметры служат важными индикаторами травматичности вмешательства, технической сложности и влияния внедрённых усовершенствований на хирургическую тактику.

Таблица 22 – Сравнение длительности операции и объема кровопотери в основной и контрольной группах

Показатель	Основная группа (n=108)	Контрольная группа (n=120)	Значение p*
Длительность операции, мин.	165,00 [146,25–190,00] (120–400)	190,00 [160,00–215,00] (120–400)	p<0,01
Объем интра-операционной кровопотери, мл	350,00 [262,50–400,00] (100–1000)	500,00 [400,00–650,00] (100–1000)	p<0,01

*тест Манна – Уитни.

При анализе длительности оперативного вмешательства и объёма интраоперационной кровопотери учитывались данные, относящиеся исключительно к первому этапу лечения.

В основной группе за счёт применения усовершенствованной методики репозиции позвоночника удалось добиться статистически значимого уменьшения продолжительности операции на 15,2 % ($p < 0,01$) и объёма интраоперационной кровопотери на 42,9 % ($p < 0,01$). Данный результат свидетельствует о повышении технической эффективности вмешательства, уменьшении травматичности доступа и улучшении контроля положения повреждённых структур в ходе репозиции. Сокращение длительности операции, в свою очередь, также может способствовать снижению риска ранних послеоперационных осложнений.

Восстановление утраченных неврологических функций в большей степени определялось исходной тяжестью поражения спинного мозга. Динамика неврологических нарушений по шкале ASIA в ближайшем послеоперационном периоде представлена в таблице 23, что позволяет объективно оценить степень восстановления моторных и сенсорных функций в каждой из анализируемых групп и выявить различия в клинической эффективности применённых методик.

Таблица 23 – Динамика неврологических нарушений по шкале ASIA
в ближайшем периоде

Группы сравнения		А	В	С	Д	Е
Основная группа (n=108)	До операции	8 (7,4%)	2 (1,8%)	26 (24,1%)	16 (14,8)	56 (51,9)
	После операции	6 (5,6%)	4 (3,7%)	20 (18,5%)	15 (13,9%)	63 (58,3%)
Контрольная группа (n=120)	До операции	8 (6,7%)	4 (3,3%)	28 (23,3%)	17 (14,2%)	63 (52,5%)
	После операции	6 (5,0%)	5 (4,2%)	28 (23,3%)	13 (10,8%)	68 (56,7%)

В основной группе наблюдалась положительная динамика неврологических нарушений: статус двух пациентов со степенью А по шкале ASIA улучшился до степени В, 6 пациентов из степени С перешли в степень Д, а у 7 пациентов со степенью Д отмечалась полная регрессия неврологических нарушений. В контрольной группе также зафиксированы положительные сдвиги, однако выраженность их была несколько ниже: из степени А два пациента перешли в степень В, один пациент из степени В — в степень С, один пациент из степени С — в степень Д, а у 5 пациентов со степенью Д произошло полное восстановление функции.

В репрезентативных подгруппах, сформированных из основной и контрольной групп, были изучены морфометрические параметры повреждённых сегментов позвоночника. В основной подгруппе при операции предпринимались попытки достичь размеров, рассчитанных предоперационно, тогда как в контрольной подгруппе данные параметры оценивались ретроспективно по дооперационным и контрольным СКТ. Формулы для математических расчётов морфометрических показателей представлены в главе 2.

Расчёты дефицита просвета и площади поперечного сечения позвоночного канала были выполнены у 62 пациентов контрольной и 68 пациентов основной подгруппы, учитывая проведённую ламинэктомию. Полученные данные свидетельствуют о достоверных различиях между группами: дефицит просвета

позвоночного канала после операции составил $22,1 \pm 5,1\%$ в контрольной подгруппе и $14,2 \pm 3,1\%$ в основной ($p = 0,01$). Оценка декомпрессии невральных структур проводилась по величине X, и распределение этого показателя повторяло закономерности дефицита просвета.

Аналогичные различия наблюдались и в дефиците площади позвоночного канала: в контрольной подгруппе он составил $24,1 \pm 5,5\%$, тогда как в основной подгруппе — $14,2 \pm 3,1\%$ ($p = 0,01$), что свидетельствует о статистически значимом превосходстве усовершенствованной методики по восстановлению просвета канала. Остальные морфометрические параметры рассчитывались для всех пациентов и представлены в таблице 24. Полученные данные подтверждают более эффективное восстановление анатомии позвоночного канала при применении усовершенствованной методики хирургического лечения.

Таблица 24 – Параметры сравнения в основной и контрольной подгруппах в ближайшем периоде

Параметры	Контрольная подгруппа (n= 80)	Основная подгруппа (n=80)	Значение p*
X, мм	3,75 [2,80-5,00] (0,00-8,60)	3,00 [2,00-4,50] (0,00-6,50)	p=0,042
AVH, %	89,97 [80,19-94,20] (69,71-103,25)	94,69 [90,12-99,44] (80,45-107,07)	p<0,001
PVH, %	96,50 [93,18-99,18] (82,10-108,82)	97,88 [94,65-101,29] (88,12-107,66)	p=0,059
A-VDCH, %	95,08 [90,15-99,43] (74,58-118,20)	99,11 [96,33-102,46] (87,16-117,10)	p<0,001
P-VDCH, %	99,20 [94,08-99,20] (76,40-115,21)	100,31 [96,39-104,37] (85,71-116,86)	p=0,160
$\Delta\alpha$, град.	5,79 [-2,34-9,10] (-9,40-11,32)	2,34 [-2,04-5,79] (-4,32-7,77)	p=0,010

* Тест Манна – Уитни.

Сравнение дефицита просвета позвоночного канала подтверждает статистически значимые различия до и после операции в двух подгруппах ($p < 0,001$). Подобное наблюдалось и с дефицитом площади позвоночного канала до и после операции ($p < 0,01$).

В основной подгруппе медиана передних размеров позвоночно-дискового комплекса после операции составила 99,11 [96,33-102,46] (87,16-117,10)%, а задних – 100,31 [96,39-104,37] (85,71-116,86)% от рассчитанных размеров. В контрольной подгруппе ретроспективно выяснили, что медиана A-VDCH после операции составила 95,08 [90,15-99,43] (74,58-118,20)%, P-VDCH – 99,20 [94,08-99,20] (76,40-115,21)%. На эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала и на восстановление высоты тела поврежденного позвонка влияла величина дистракции позвоночно-дискового комплекса. Так, в основной подгруппе медиана восстановления передней высоты тела позвонка составила 94,69 [90,12-99,44] (80,45-107,07)%, задней высоты – 97,88 [94,65-101,29] (88,12-107,66)%. В контрольной подгруппе медиана восстановления передней высоты тела поврежденного позвонка составила 89,97 [80,19-94,20] (69,71-103,25)%, а задней – 96,50 [93,18-99,18] (82,10-108,82)%.

При анализе получена слабая обратная корреляционная связь между величиной восстановления передних размеров тела позвонка (ΔAVH) и временем до операции в основной подгруппе (коэффициент корреляции Пирсона -0,353). В контрольной подгруппе коэффициент корреляции Пирсона -0,214. Прямая корреляционная связь выявлена между размером VDC после операции и AVH. Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,594 в контрольной и 0,485 в основной подгруппах. Статистически значимые различия после операции наблюдаются в подгруппах по AVH и X. После операции изменилась ΔAVH , так и ΔX ($p < 0,01$).

В процессе оперативного лечения сегментарный угол был исправлен в основной группе на $10,9 \pm 1,3^\circ$, а в контрольной группе – на $6,1 \pm 1,1^\circ$. При целенаправленном стремлении к восстановлению сегментарного угла получена статистически значимая разница (медиана $\Delta \alpha$ в основной группе – 2,34 [-2,045,79]

(-4,32-7,77), в контрольной – 5,79 [-2,34-9,10] (-9,40-11,32)°. Необходимо напомнить, что величина $\Delta\alpha$ принимала и отрицательные значения при избыточной дистракции A-VDCH.

Таким образом, стремление к восстановлению рассчитанных размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла способствует максимальному восстановлению вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала. Высокая клиническая эффективность усовершенствованного способа закрытой декомпрессии позвоночного канала при проведении ТПФ с предоперационным планированием подтверждалась тем, что необходимость в выполнении вентрального этапа хирургического лечения была минимальной.

6.5 Сравнительный анализ отдаленных результатов лечения пациентов основной и контрольной групп

Отдаленные результаты лечения изучались в период от 12 месяцев до 19 лет. Средний срок контрольного обследования пациентов этой группы составил $29,5 \pm 1,2$ месяцев после операции. В указанный период времени удалось проследить клиничко-неврологические результаты лечения у 120 (по 60 пациентов) из 228 больных, что составило 52,6% от общего количества пациентов во всех группах. Отдаленные рентгенологические результаты с морфометрией и расчетами целевых показателей оценивались у 80 пострадавших (по 40 человек из основной и контрольной подгрупп) или 50% от сформированных подгрупп при оценке ближайших результатов лечения. Из 60 пациентов основной группы в отдаленном периоде было 32 мужчины и 28 женщин, а в контрольной группе 35 мужчин и 25 женщин.

Результаты лечения в отдаленном периоде оценивались с использованием тех же клинических, неврологических и рентгенологических критериев, что и при анализе ближайших результатов. Такой подход позволил объективно оценить эффективность предложенной усовершенствованной методики хирургического лечения в долгосрочном периоде. При этом особое внимание уделялось

показателям, характеризующим: стабильность фиксации, регрессию неврологических нарушений, функциональные исходы лечения.

Оценка интенсивности болевого синдрома по ВАШ в отдаленном послеоперационном периоде показала статистически значимое превалирование боли у пациентов контрольной группы ($p < 0,01$) (рис. 109). В основной группе медиана болевого синдрома составила 1,00 [1,00–2,00] балла с диапазоном от 1 до 4 баллов, тогда как в контрольной группе медиана достигала 2,00 [2,00–3,00] балла с тем же диапазоном 1–4 балла.

Повышенная интенсивность болей в контрольной группе может быть связана как с менее точной коррекцией деформации, так и с большей остаточной нагрузкой на элементы задних структур позвоночника, что отражается на функциональном состоянии пациентов при длительном наблюдении.

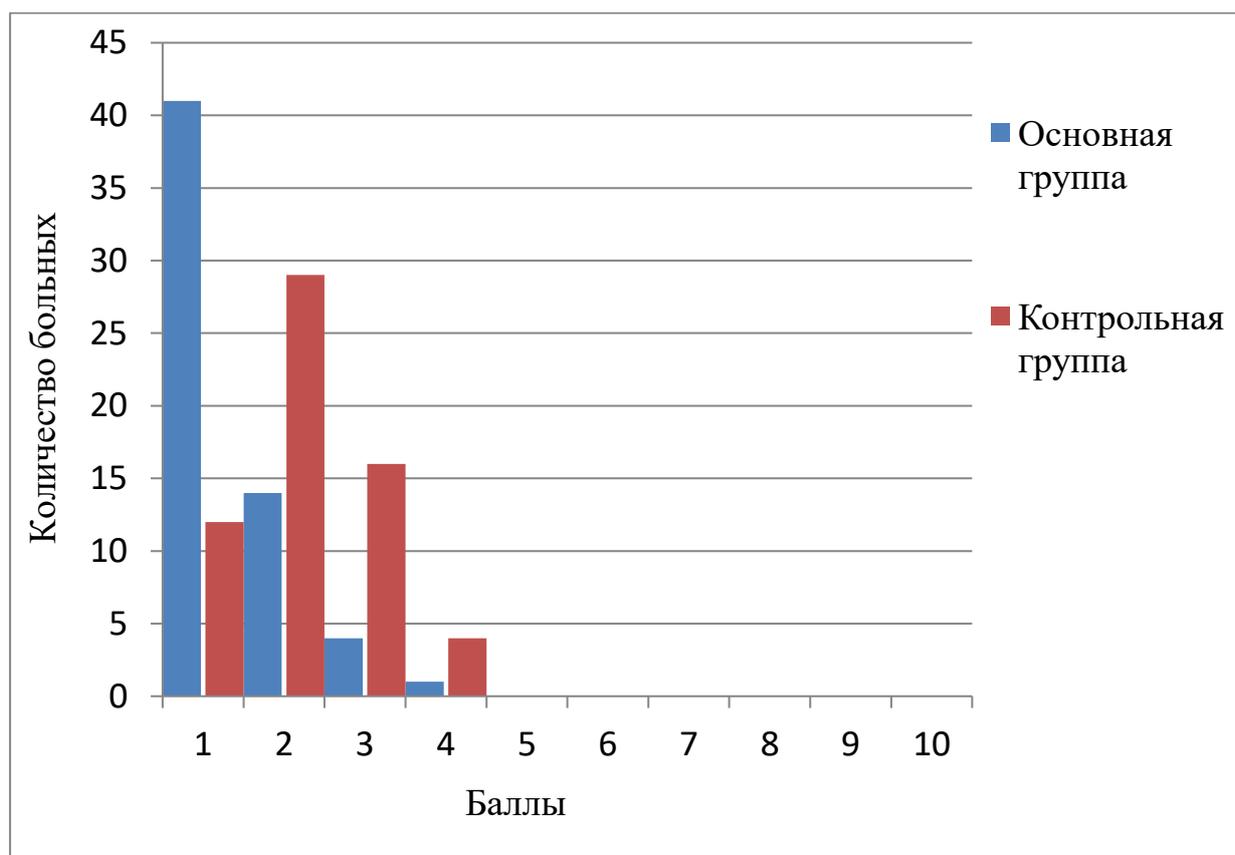


Рисунок 109 – Интенсивность болевого синдрома по ВАШ в отдаленном периоде

Картина неврологических нарушений в ближайшем и отдаленном периодах наблюдения представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Неврологические нарушения по шкале ASIA в ближайшем и отдаленном периодах

Группы сравнения	Периоды обследования	A	B	C	D	E
Основная группа (n=60)	Ближайший	3 (5,0%)	3 (5,0%)	10 (16,7%)	10 (16,7%)	34 (56,6%)
	Отдаленный	1 (1,7%)	3 (5,0%)	4 (6,6%)	11 (18,3%)	41 (68,3%)
Контрольная группа (n=60)	Ближайший	6 (10,0%)	3 (5,0%)	16 (26,7%)	8 (13,3%)	27 (45,0%)
	Отдаленный	3 (5,0%)	5 (8,3%)	9 (15,0%)	11 (18,3%)	32 (53,3%)

В отдаленном периоде наблюдалось изменение морфометрических параметров в двух подгруппах. Дефицит просвета позвоночного канала в отдаленном периоде оценивался у 32 пациентов основной и 30 пациентов контрольной групп. Статистически значимые различия получены в группах с использованием теста Манна-Уитни, $p < 0,001$. В отдаленном периоде уменьшался и показатель – X. Данное уменьшение мы связываем с эффектом «само моделирования» просвета позвоночного канала. По нашим наблюдениям, в первый год значение X уменьшалось в среднем до 1,2 мм (табл. 26).

Таблица 26 – Параметры сравнения отдаленных результатов лечения в основной и контрольной подгруппах

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.

В отдаленном периоде несколько уменьшилась медиана как AVH, так и PVH с сохранением статистически значимой разницы между группами ($p < 0,001$). Подобные изменения произошли с размерами A-VDCH. Статистически значимой разницы между P-VDCH не выявлено ($p = 0,216$). Уменьшение VDC происходило за счет постепенного «прорезания» винтов в губчатой части тела позвонка. Было замечено, что такая медленная миграция винтов происходила равномерно в телах смежных позвонков. Кроме того, у 4 пациентов основной группы и 18 пациентов контрольной группы наблюдалась дестабилизация металлоконструкции — переломы винтов или штанг, раскручивание гаек, что привело к снижению достигнутых вертикальных размеров VDC в среднем на одну треть от репонированного положения. Анализ показал, что чем ближе были достигнутые размеры VDC к рассчитанным предоперационным значениям, тем меньше проявлялась вторичная деформация повреждённого отдела позвоночника в отдалённом периоде. Статистически значимой оставалась и разница в величине угла сегментарной деформации ($\Delta\alpha$) ($p < 0,001$), что подтверждает клиническую значимость точного восстановления анатомических параметров при первичной операции.

Сравнение отдалённых исходов лечения, включая интенсивность болевого синдрома, экономический статус и функциональную активность по шкале R.G. Watkins, представлено в таблице 27 (приложение Д). Полученные данные подчеркивают преимущества усовершенствованной методики хирургического лечения в части сохранения стабильности фиксации, уменьшения вторичной деформации и улучшения качества жизни пациентов в долгосрочной перспективе.

Таблица 27 – 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

В абсолютных числах в основной группе наблюдалось большее количество отличных исходов лечения и меньшее число плохих результатов по сравнению с контрольной группой. Статистический анализ подтвердил, что отличных исходов лечения было получено значимо больше в основной группе ($p=0,043$). При этом количество хороших ($p=0,134$) и плохих ($p=0,438$) результатов лечения статистически значимо не различались между группами.

Качество жизни пациентов в основной и контрольной группах оценивалось с помощью опросника MOS SF-36 (табл. 28). Анализ показателей продемонстрировал, что пациенты основной группы имели более высокие значения как по компонентам физического, так и психологического здоровья.

Таблица 28 – Показатели качества жизни по шкале MOS SF- 36 в основной и контрольной группах

Разделы шкалы SF-36	Основная группа, n=60	Контрольная группа, n=60	Значение p*
Физическая активность (PF)	60,00 [50,00-65,00] (20,00-70,00)	60,00 [45,00-60,00] (25,00-65,00)	p=0,086
Роль физических проблем в ограничении жизнедеятельности (RP)	50,00 [25,00-75,00] (0,00-75,00)	50,00 [25,00-50,00] (0,00-50,00)	p=0,157*
Физическая боль (P)	40,00 [22,50-40,00] (10,00-40,00)	30,00 [20,00-40,00] (10,00-40,00)	p=0,075
Общее восприятие здоровья (GH)	60,00 [50,00-65,00] (20,00-75,00)	60,00 [50,00-65,00] (25,00-75,00)	p=0,424
Жизнеспособность (VT)	60,00 [50,00-60,00] (20,00-70,00)	57,50 [45,00-60,00] (20,00-70,00)	p=0,066
Социальная активность (SF)	72,50 [50,00-75,00] (25,00-75,00)	50,00 [50,00-75,00] (25,00-75,00)	p=0,055
Роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности (RE)	67,00 [33,00-67,00] (33,00-67,00)	33,00 [33,00-67,00] (33,00-67,00)	p=0,069
Психологическое здоровье (MH)	56,00 [44,00-60,00] (12,00-60,00)	52,00 [40,00-60,00] (12,00-60,00)	p=0,092

* Тест Манна – Уитни.

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

6.6 Анализ ошибок и осложнений при лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника и определение мер по их профилактике и лечению

У 32 (14,0%) прооперированных пациентов выявлены различные осложнения, из них интраоперационные, связанные с выполнением транспедикулярного остеосинтеза в виде проведения винтов мимо анатомических ориентиров, – у 2 (0,9%) пациентов.

Ранние послеоперационные осложнения выявлены у 8 (3,5%) пациентов, включая смещение верхних винтов в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка у 3 (1,3%) пациентов; воспалительный процесс в глубоких тканях — у 4 (1,8%); ликворный свищ — у 1 (0,4%). В анализ осложнений не включались воспалительные изменения в поверхностных тканях, как не повлиявшие на фиксацию, проведение реабилитации и результаты лечения. Поздние (механические) осложнения диагностированы у 22 (9,7%) пациентов: в 20 (8,8%) случаях – переломы металлоконструкции и в 2 (0,9%) – миграция фиксирующих штанг.

В основной группе осложнения были выявлены у 8 (7,4%) пациентов, что составило 25,0% от всех зарегистрированных осложнений. Из них 6 случаев были непосредственно связаны с выполнением ТПО, один — с воспалительным процессом в глубоких тканях раны и один — с ликворным свищом. В контрольной группе осложнения наблюдались у 24 (20,0%) пациентов, что составило 75,0% от общего числа осложнений. Среди них 21 случай был связан с выполнением ТПО и 3 случая — с воспалением глубоких тканей раны. Сравнительный анализ частоты осложнений между группами показал статистически значимое различие ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$), что указывает на более высокую безопасность лечения при

использовании усовершенствованной методики. Характеристики групп пациентов представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Основные характеристики групп пациентов

Параметр	Группа		Значение p
	Основная, n=108	Контрольная, n=120	
Возраст, лет Me [Q1-Q3] (min; max)	39,00 [28,00-52,00] (16,00-69,00)	37,00 [25,00-51,00] (16,00-70,00)	0,421**
Пол, n (%) Женский Мужской	48 (44,4) 60 (55,6)	51 (42,5) 69 (57,5)	0,767*
Локализация выше ThXII ThXII-LII ниже LII	17 (15,7) 84 (77,8) 7 (6,5)	13 (10,8) 95 (79,2) 12 (10,0)	0,387*
АО Spine A2 A3 A4 B1 B2 C	1 (0,9) 20 (18,5) 65 (60,2) 2 (1,9) 8 (7,4) 13 (12,0)	1 (0,8) 30 (25,0) 58 (48,3) 3 (2,5) 11 (9,2) 18 (15,0)	0,509***
ASIA A B C D E	8 (7,4) 2 (1,9) 26 (24,1) 16 (14,8) 56 (51,8)	8 (6,7) 4 (3,3) 28 (23,3) 17 (14,2) 63 (52,5)	0,968*
Фиксирующих винтов, n (%) 4 5 6 8	4 (3,7) 18 (16,7) 85 (79,6) 1 (0,9)	16 (13,3) 34 (28,3) 70 (58,3) -	0,001*
Выполнена ламинэктомия, n (%)	33 (30,6)	56 (46,7)	0,013*
Вентральный этап операции, n (%)	1 (0,9)	10 (8,3)	0,009*

* критерий χ^2 Пирсона

** критерий Манна-Уитни

*** точный критерий Фишера-Фримана-Холтона.

Минимальный срок наблюдения включал ранний послеоперационный период, максимальный срок составил 19 лет. Средний период наблюдения: в контрольной группе – $59,5 \pm 9,6$; в основной – $44,5 \pm 5,2$ месяцев.

Интраоперационные осложнения в виде мальпозиции винтов были зарегистрированы у 2 пациентов контрольной группы при фиксации среднегрудного отдела позвоночника. В обоих случаях винты проходили над корнем дуги и латерально, что привело к нарушению стабильности металлоконструкции. После выявления дефекта на контрольной СКТ оба пациента были повторно прооперированы с целью коррекции положения винтов и восстановления сегментарной стабильности.

Ранние послеоперационные осложнения проявлялись в виде смещения верхних винтов и их миграции в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка и отмечались у 3 (1,3%) пациентов. В одном наблюдении через 6 месяцев после операции выявлялась резорбция костной ткани вокруг верхних винтов с последующим смещением винтов под верхнюю кортикальную пластинку. Клинически это проявлялось сегментарной нестабильностью с утратой достигнутой коррекции деформации на $8,1^\circ$. Пациенту был выполнен второй этап хирургического вмешательства с межтеловым корпорорезом цилиндрическим кейджем и использованием аутокости, от которого он первоначально воздерживался.

У двух женщин старше 60 лет смещение винтов было связано с сниженной минеральной плотностью костной ткани. Ввиду отсутствия болевого синдрома и неврологических нарушений повторные вмешательства не проводились, и состояние оставалось стабильным на последующих контрольных исследованиях.

Воспалительный процесс в глубоких тканях после оперативного вмешательства развился у 4 (1,8%) пациентов. К предрасполагающим факторам относились неблагоприятный социальный статус, нарушение ортопедического режима, а также иммунные расстройства, обусловленные туберкулёзной инфекцией и ВИЧ. В связи с отсутствием эффекта от консервативных методов лечения во всех наблюдениях потребовалось удаление металлоконструкции.

В 1 (0,4%) случае в послеоперационном периоде сформировался ликворный свищ. Данное осложнение было обусловлено повреждением твёрдой мозговой оболочки костным фрагментом по переднебоковой поверхности позвоночного канала. Интраоперационно дефект выявлен не был. Клинические признаки ликвореи появились через 2 недели после операции, что потребовало выполнения повторного хирургического вмешательства с герметизацией дефекта твёрдой мозговой оболочки.

Наиболее частыми осложнениями являлись механические нарушения стабильности металлоконструкции, включая переломы и миграцию фиксирующей штанги, которые составили 22 из 32 случаев (68,8%). Указанные осложнения диагностировались в медианные сроки от 14,5 [12,0; 24,0] до 35,0 [26,3; 45,5] месяцев после оперативного вмешательства (табл. 30).

Медианный возраст 22 пациентов (9 мужчин и 13 женщин) с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующей штанги составил 29,0 [21,5; 42,3] лет. В большинстве наблюдений осложнения выявлялись при плановых контрольных компьютерных томографических исследованиях и у 13 пациентов носили бессимптомный характер. Лишь у 9 (40,9%) пациентов они сопровождались субъективными жалобами, включающими дискомфорт и болевой синдром в области оперативного вмешательства.

Наиболее часто механические осложнения регистрировались при повреждениях грудопоясничного отдела позвоночника, преимущественно на уровне позвонка L1, что составило 72,7% наблюдений.

Таблица 30 – Анализ пациентов с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующих штанг

Пол/возраст группа	Дней после травмы	Тип перелома по АО	Локализация	ASIA	Операция	Осложнение	Морфометрические показатели							Перелома нет / перелом выявлен, мес.
							A-VDCH		P-VDCH		Угол α (рассчитанный) достигнутый; после перелома конструкции	После операции		
							рассчи танные	достигну тые	рассчита нные	достигну тые		AVH	PVH	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ж/29 К	9	A4	LI	D	6 винтов; ламинэктомия	Перелом винтов в LI	41,4 мм	40,6 мм 98,1%	38,9	38,3 мм 98,5%	(4,5) 3,2; -6,8	93,1%	98,1%	12/32
М/20 К	15	A4	LIII	B	6 винтов; ламинэктомия	Перелом винта в LIV справа	49,5 мм	40,3 мм 81,4%	40,7 мм	32,4 мм 79,6%	(15,7) 15,6; 10,8	79,2%	83,9%	18/27
Ж/43 К	10	A4	LI	C	5 винтов	Перелом винта в LI с двух сторон	38,7 мм	35,5 мм 91,7%	37,1 мм	37,6 мм 101,3%	(3,1) -4,1; -4,9	90,6%	98,5%	7/13
Ж/45 К	5	A4	LII	E	4 винта; ламинэктомия; корпородез	Перелом винта в LIII слева	42,3 мм	40,2 мм 95,0%	37,9 мм	37,4 мм 98,7%	(8,7) 6,6; 1,8	96,3%	98,2%	22/38
Ж/16 К	11	B2	LI	D	5 винтов	Перелом винта в ThXII справа	41,5 мм	39,1 мм 94,2%	35,9 мм	36,4 мм 101,3%	(8,5) 6,6; 1,8	94,7%	98,3%	12/23

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
М/37 К	4	A4	LI	D	6 винтов	Перелом винтов в LI	44,3 мм	47,7 мм 107,7%	40,9 мм	43,7 мм 106,8%	(6,7) 8,9; -5,9	99,3%	102,4 %	12/35
М/58 К	18	A4	LI	C	5 винтов, ламинэктомия	Перелом винта в LI слева	39,1 мм	38,2 мм 97,7%	35,1 мм	36,1 мм 102,8%	(8,1) 3,2; -1,0	90,9%;	92,1%	24/57
Ж/20 К	4	C	LI	C	5 винтов, ламинэктомия	Перелом штанги слева	38,4 мм	39,8 мм 103,6%	37,9 мм	33,7 мм 88,9%	(0,9) 11,2; -10,7	97,2%;	96,4%	13/32
Ж/19 К	5	A3	LI	E	6 винтов	Перелом винта в ThXII справа	38,6 мм	38,6 мм 100,0%	35,5 мм	35,0 мм 98,6%	(6,7) 7,3; 2,6	95,3%;	98,2%	12/35
М/61 К	10	B2	LI	E	4 винта	Миграция штанги	41,4 мм	39,7 мм 95,9%	37,6 мм	36,9 мм 98,1%	(5,4) 3,3; -6,4	94,1%;	98,6%	3/5
М/23 К	49	A4	LI	E	6 винтов	Перелом винта в LI слева	42,9 мм	33,1 мм 77,2%	39,7 мм	35,2 мм 88,7%	(5,7) -3,8; -3,8	79,1%;	89,7%	9/16
М/28 К	9	A4	LII	C	6 винтов; ламинэктомия; корпородез	Перелом винта в LI справа	48,4 мм	50,4 мм 104,1%	42,2 мм	45,3 мм 107,3%	(11,6) 9,9; 3,4	100,3 %;	99,4%	16/42
Ж/42 К	7	A4	LIV	C	6 винтов; корпородез	Перелом штанги справа	40,2 мм	35,6 мм 88,6%	33,8 мм	30,4 мм 89,9%	(12,5) 10,2; 0,0	85,9%	91,9 %	24/36
Ж/35 К	11	C	Th XI	A	5 винтов: ламинэктомия	Перелом винтов в ThX	33,3 мм	40,2 мм 118,3%	34,4 мм	37,0 мм 107,6%	(-2,3) 7,1; 1,9	100%	105,1 %	23/36

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ж/18 К	8	С	LI	Е	4 винта	Перелом винта в LI слева	35,9 мм	33,1 мм 92,2%	34,5 мм	34,8 мм 100,9%	(3,0) -2,6; -8,3	83,7%	100%	24/35
Ж/23 К	23	A3	LI	Е	4 винта	Перелом винта в LI слева	39,8 мм	34,7 мм 87,2%	37,6 мм	30,8 мм 81,9%	(4,2) 7,4; 4,2	70,3%	89,7%	22/75
М/30 К	8	A3	LI	Е	6 винтов	Перелом винтов в ThXII	41,8 мм	41,7 мм 99,8%	38,8 мм	39,7 мм 102,3%	(5,4) 3,3; -2,9	96,7%	99,6%	24/56
М/22 К	3	A4	LI	С	5 винтов; ламинэктом ия	Перелом винта в LI справа	43,9 мм	45,8 мм 104,3%	40,7 мм	39,4 мм 96,8%	(5,3) 8,6; 2,8	98,2%	97,8%	25/76
Ж/30 О	18	A2	LI	Е	6 винтов	Миграция штанги	43,9 мм	37,7 мм 85,8%	38,5 мм	34,8 мм 90,4%	(10,0) 4,8; 1,4	91,1%	100,0 %	13/24
Ж/27 О	2	A4	LI	D	6 винтов	Перелом штанг: слева у нижнего винта, справа у верхнего	43,9 мм	44,2 мм 100,7%	43,0 мм	41,4 мм 96,3%	(1,7) 4,5; -4,6	90,3%	98,3 %	12/32
М/60 О	4	A4	LI	Е	6 винтов	Перелом штанги слева у верхнего винта	44,1 мм	42,8 мм 97,1%	40,1 мм	38,8 мм 96,8%	(6,5) 6,7; -3,1	90,0%	93,8%	25/72
Ж/29 О	23	A4	LI	Е	5 винтов	Перелом штанг вверху	35,4 мм	35,9 мм 101,4%	33,9 мм	34,2 мм 100,9%	(3,6) 4,2; -3,6	88,5 %	95,8 %	12/39

На рисунке 110 представлены кривые Каплана – Майера, построенные на основании сроков обнаружения переломов металлоконструкции или миграции штанг. В качестве времени наступления события мы брали срок выявления осложнения при обследовании (указаны в таблице 2). По результатам проведенного теста Мантеля – Кокса (Log-rank test) обнаружены статистически значимые различия между изучавшимися группами ($\chi^2=7,092$; $p=0,008$). Риск осложнений у пациентов контрольной группы был в 3,9 раза выше по сравнению с основной (ОР = 3,948; 95% ДИ 1,326–11,757; $p=0,014$).

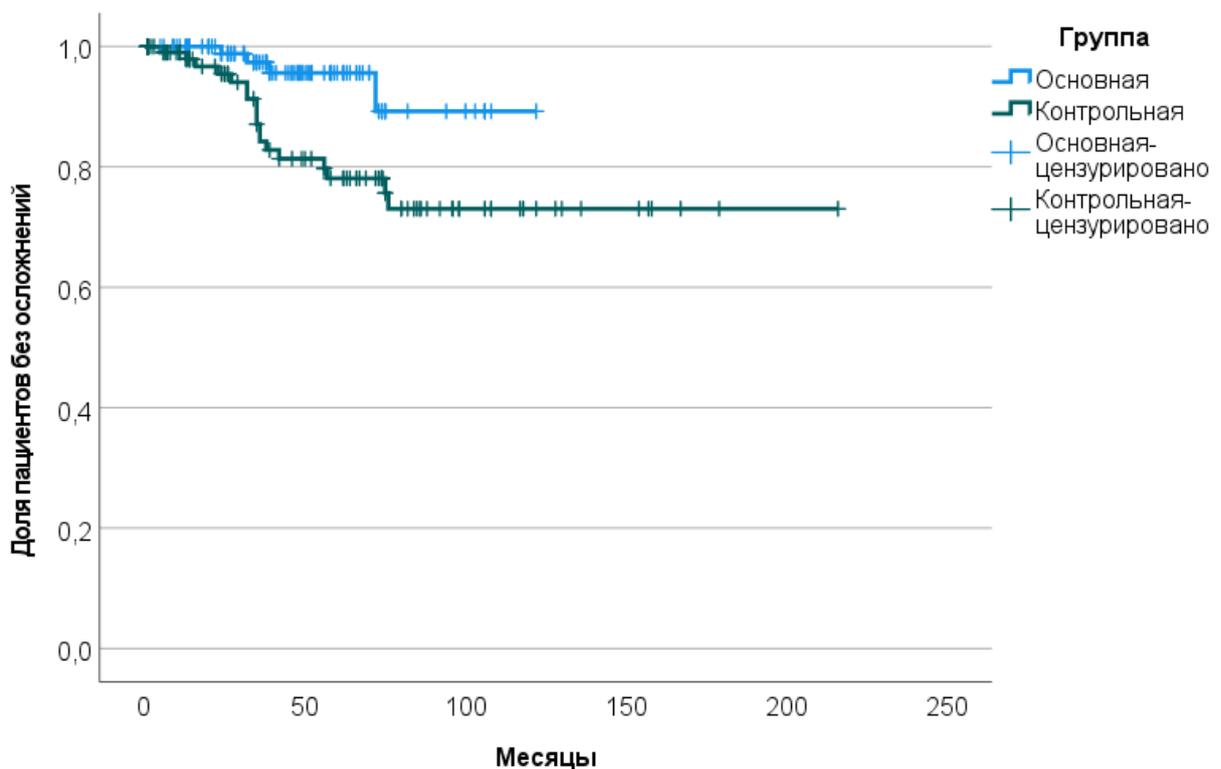


Рисунок 110 – Кривые Каплана – Майера времени до развития осложнений после операции

Для оценки влияния факторов на вероятность перелома металлоконструкции в послеоперационном периоде с помощью многофакторной логистической регрессии была построена регрессионная модель. В модель были включены следующие предикторы: пол, возраст, принадлежность к основной или контрольной группе, неврологические нарушения по ASIA, тип перелома по AO Spine, количество фиксирующих винтов, локализация, выполнение вентрального

этапа и выполнение ламинэктомии. Полученные в результате построения регрессионной модели коэффициенты, отношения шансов, а также значения p представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Показатели полученной регрессионной модели

Фактор	Регрессионный коэффициент	Значение p	ОШ для регрессионного коэффициента	95% ДИ для ОШ
Группа	1,497	0,009	4,468	1,451–13,760
Возраст	-0,036	0,037	0,964	0,932–0,998
Константа	-1,929	0,013	0,145	-

При построении модели применялся пошаговый метод исключения незначимых предикторов на основе теста отношения правдоподобия. Представленная модель получена на 10-м шаге построения и является статистически значимой ($\chi^2=13,766$; $p=0,001$)

Переломы металлоконструкции регистрировались при всех типах повреждений по классификации АО Spine, чаще при типе А4 (59,1%), что соответствует его преобладанию в исследуемой выборке (53,9%). Отсутствие вентрального этапа хирургического лечения могло способствовать развитию данных осложнений, хотя переломы отмечались и при двухэтапных операциях у 3 (13,6%) пациентов.

По числу фиксирующих винтов осложнения отмечены при 4-винтовой фиксации в 18,2% случаев, при 5-винтовой — в 27,3%, и при 6-винтовой — в 54,5%; при этом данные варианты фиксации применялись у 7,9%, 21,9% и 70,2% пациентов соответственно.

Распределение пациентов с переломами металлоконструкций по шкале ASIA было сопоставимо с общей выборкой: А – 4,5%; С – 27,3%; D – 22,7%; Е – 45,5%.

Медианный срок, на котором были прооперированы пациенты, у которых произошел перелом металлоконструкции, составил 9,00 [4,75; 15,75] (2,00–49,00) дней с момента полученной травмы. В основной группе – 11,00 [2,50; 21,75] (2,00–23,00) дней, в контрольной – 9,00 дней [5,00–12,00 дней] (3,00; 49,00).

Статистически значимой разницы по данному параметру обнаружено не было ($p=0,902$).

Таким образом, было отмечено, что принадлежность к основной или контрольной группе статистически значимо ($p=0,009$) влияет на риск осложнений, при этом в контрольной группе риск развития перелома металлоконструкции или миграции у пациентов был в 4,5 раза выше по сравнению с основной (ОШ 4,468; 95% ДИ 1,451–13,760).

Кроме того, возраст пациента также показал статистически значимую обратную зависимость с риском осложнений ($p=0,037$): увеличение возраста на один год уменьшало шансы развития перелома или миграции имплантата на 3,6% (ОШ 0,964; 95% ДИ 0,932–0,998).

Для оценки возможных различий влияния предикторов между группами дополнительно построена модель с включением взаимодействий между принадлежностью к группе и другими переменными. Однако добавление взаимодействий не привело к статистически значимому улучшению подгонки модели по сравнению с базовой ($\chi^2=15,210$; $p=0,764$) и сопровождалось нестабильностью оценок.

Следует отметить, что на шаге 9 из модели был исключен предиктор «ламинэктомия». Исходя из этого, можно предположить, что при увеличении мощности статистических методов, связанной с расширением выборки и ростом числа событий, указанный фактор мог бы продемонстрировать статистически значимое влияние на вероятность развития осложнений.

Послеоперационные значения A-VDCH и P-VDCH часто отличались от рассчитанных параметров, что свидетельствовало о недостаточной или избыточной дистракции оперированного сегмента. У 11 (50%) пациентов значения A-VDCH выходили за пределы 95–105% от расчетных, аналогично у 9 (40,9%) — по показателю P-VDCH.

Передняя (AVH) и задняя (PVH) высота тел позвонков не всегда восстанавливались пропорционально изменениям A-VDCH и P-VDCH. Недостаточное восстановление высоты при достигнутых расчетных значениях

позвоночно-дискового комплекса приводило к увеличению костного дефекта и способствовало переломам конструкции. Так, у 10 (45,5%) пациентов после операции A-VDCH больше AVH, а у 3 (13,6%) больных P-VDCH больше PVH более чем на 5%. Наоборот, у отдельных больных наблюдалась недостаточная дистракция (AVH больше A-VDCH – 3 случая; PVH больше P-VDCH – 9 случаев).

Неравномерная дистракция (разница A-VDCH – P-VDCH более 5%) была отмечена у 10 (45,5%) пациентов и приводила к отклонению сегментарного угла от расчетного в среднем на $5,0 \pm 3,7^\circ$. После перелома конструкции угол изменялся на $7,8 \pm 3,4^\circ$ с потерей достигнутой коррекции в среднем $6,9 \pm 4,7^\circ$.

Переломы продольных штанг наблюдались в 18,2% случаев. Подобно винтам, штанги разрушались в местах максимального напряжения, а именно недалеко от узла фиксации с винтом. Элементы конструкции несколько чаще ломались каудально от поврежденных позвонков.

Недостаточно прочное затягивание гайки, прилегание штанги не под прямым углом к винту приводили к неполноценной фиксации штанги и ее последующей миграции. В нашем исследовании это наблюдалось у 2 (9,1%) пациентов. При повреждении LI позвонка миграция штанги произошла каудально в сроки от 3 до 5 мес. (потеря коррекции деформации $9,7^\circ$), при повреждении LII штанга мигрировала краниально в сроки от 13 до 24 мес. (потеря коррекции деформации $3,4^\circ$). После выявления данного осложнения пациент с миграцией штанги каудально был реоперирован, а вторая пациентка отказалась от операции.

Таким образом, при лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника полностью избежать развития различных осложнений не удалось. Большинство осложнений было связано с техническими и биомеханическими ошибками, однако все осложнения стационарного периода были своевременно устранены и не оказали значимого влияния на конечный результат лечения, лишь удлинив сроки реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации цели и задач диссертационной работы были запланированы и последовательно выполнены три ключевых вида исследований: морфометрическое, экспериментальное и клиническое. Морфометрическое исследование обеспечило фундамент для количественной оценки анатомо-физиологических характеристик грудного и поясничного отделов позвоночника. Экспериментальная часть позволила изучить биомеханические свойства транспедикулярных конструкций и оценить их эффективность при восстановлении стабильности позвоночного столба. Клиническая часть исследования предоставила возможность проверить практическую применимость разработанных методик и систем в реальной хирургической практике. Детальный анализ существующих проблем лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника подтверждает актуальность дальнейших исследований и необходимость совершенствования методов хирургического вмешательства в данной области. Таким образом, диссертационная работа представляет собой комплексное и многогранное исследование, объединяющее три взаимосвязанных блока, направленных на достижение единой цели — улучшение результатов хирургического лечения пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника.

В настоящем исследовании впервые предложен количественный метод оценки сегмента позвоночника, включающего тело позвонка и смежные межпозвоночные диски, с использованием концепции «позвоночно-дискового комплекса». В отличие от ранее применявшихся подходов, учитывавших только высоту тела позвонка или диска отдельно, предложенная методика позволяет комплексно оценивать анатомические особенности сегмента. Использование показателей A-VDCH и P-VDCH позволит более точно выявлять изменения сегмента при травмах и дегенеративных заболеваниях, а также количественно сравнивать сегменты между различными группами пациентов. Кроме того, расчет соотношения показателей передней и задней высоты VDC открывает перспективу

для оценки угловой деформации сегмента, что существенно расширяет клиническое и диагностическое значение метода, позволяя применять его как в практической хирургии, так и в научных исследованиях.

При решении первой задачи был выполнен анализ профильных научных публикаций, посвящённых морфометрии грудного и поясничного отделов позвоночника, с целью выявления типичных параметров тел позвонков, межпозвоночных дисков и позвоночно-дисковых комплексов. Важным этапом хирургического лечения посттравматических деформаций позвоночника является репозиция поврежденных сегментов с точной коррекцией деформации. Для успешного выполнения данной задачи необходимы не только знания анатомии и морфологии позвоночника, но и понимание его биомеханических особенностей, таких как распределение нагрузки на позвонки. В отличие от дегенеративных деформаций, посттравматические деформации представляют собой локальную сегментарную проблему. Использование абсолютных величин в качестве эталона при репозиции осложняется индивидуальной вариабельностью нормальной анатомии, что требует расчёта исходных параметров для каждого пациента. Так как при травмах позвоночника чаще всего повреждается тело позвонка вместе с прилежащими дисками, для коррекции деформации важно знать исходные размеры VDC, а также сегментарный угол, образованный границами данного комплекса.

Для получения необходимых индивидуальных размеров была разработана методика их математических расчетов по данным СКТ анатомически и клинически здорового позвоночника. Измерения и расчеты проводились на модели позвоночника, состоящей из тел трех позвонков и четырех смежных дисков. После проведенной мультипланарной реконструкции позвоночника в срединной сагиттальной проекции по крайним точкам оцениваемых тел позвонков производились измерения с помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt. Для последующих расчетов на данной модели позвоночника определялись вертикальные размеры тел позвонков и межпозвоночных дисков, размеры позвоночно-дискового комплекса, размер позвоночного канала на уровне трех тел позвонков, размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка,

сегментарный угол. При расчетах размеры передней и задней поверхностей тел позвонков составляли полусумму от размеров смежных тел позвонков, а размеры смежных дисков составляли передние и задние размеры дисков на уровень выше и ниже от поврежденных. Сегментарный угол образовывали нижняя замыкательная пластинка вышележащего позвонка и верхняя замыкательная пластинка нижележащего от поврежденного позвонка.

Применение предложенной модели обеспечивает высокую точность расчетов исходных вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и сегментарного угла, что делает её полезной при хирургическом лечении одноуровневых повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. Средняя погрешность между фактическими измерениями и расчетными величинами составила: передние размеры позвоночно-дискового комплекса — $1,4 \pm 0,4$ мм, задние — $1,3 \pm 0,5$ мм, сегментарный угол — $2,5 \pm 0,6^\circ$, что подтверждает высокую точность предложенных расчетов. Разработанная модель может служить основой для построения персонализированных биомеханических расчётов позвоночных структур и совершенствования методов оценки и коррекции посттравматических деформаций с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента.

В рамках второй задачи были проведены ретроспективные клинорентгенологические исследования пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Для анализа использовались данные СКТ до и после оперативного вмешательства. Первое исследование включало 50 пациентов и было направлено на изучение влияния исходных параметров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала. Второе исследование охватывало 45 пациентов с повреждениями на уровне L1 позвонка и было нацелено на оценку влияния размеров и положения внутриканальных костных фрагментов на эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала. Ретроспективный анализ выявил, что ключевыми факторами восстановления передних и задних размеров тела поврежденного позвонка являются давность травмы, величина VDC

и сегментарный угол. В то же время для достижения полноценной закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала значимым, кроме указанных факторов, являются также ширина и угол разворота внутриканального костного фрагмента. Использование рассчитанных исходных параметров позволило добиться восстановления передних и задних размеров тела поврежденного позвонка до физиологической нормы с максимальной декомпрессией содержимого позвоночного канала.

Для оптимизации 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. Данной программой удобно пользоваться при анализе данных СКТ-исследований в процессе динамического наблюдения за данными пациентами. Разработка компьютерной программы легла в основу третьей задачи диссертационного исследования.

Решение четвертой задачи осуществлялось посредством стендовых испытаний и математического моделирования методом конечных элементов на поясничном отделе позвоночника. Жесткая фиксация поврежденного отдела позвоночника позволяет восстановить опороспособность позвоночника для проведения ранней реабилитации больных. Однако при жесткой фиксации авторами описаны осложнения в виде разрушения винтов или балок, резорбции костной ткани вокруг винтов с потерей стабильности фиксированного отдела позвоночника, развития дегенеративно-дистрофических изменений в смежных сегментах. Для определения жесткости продольных штанг в транспедикулярных устройствах в зависимости от материала изготовления и их диаметра проведены стендовые испытания по международным стандартам ASTM F1717. При стендовых испытаниях получены новые данные о механических свойствах фиксирующих продольных штанг в транспедикулярных устройствах.

Для изучения устойчивости транспедикулярных устройств с разными модулями упругости продольных штанг было проведено теоретическое исследование на геометрической модели поясничного отдела позвоночника методом конечных элементов в пакете программ Ansys. В модели воспроизводили костные хрящевые и связочные структуры, прикладывая изгибающую нагрузку и сравнивая перемещения ее элементов с теми, которые наблюдали при экспериментах на анатомических препаратах. Результаты показали, что использование в транспедикулярных устройствах фиксирующих штанг из титанового сплава диаметром 7,0 мм повышает стабильность фиксированного сегмента позвоночника. Эффективность использования транспедикулярных конструкций из титана ВТ6 диаметром 7 мм была подтверждена в ходе последующей клинической части диссертационной работы.

У всех оперированных нами больных для фиксации позвоночника был использован транспедикулярный остеосинтез. Оперативные вмешательства выполнялись в максимально короткие сроки с одновременным решением нейрохирургической и ортопедической задач. При сочетанной травме в экстренном порядке осуществлялись хирургические вмешательства, направленные на сохранение жизни больных, а вмешательства на позвоночнике осуществлялись в отсроченном порядке после компенсации состояния пациента.

Важно не только рассчитать необходимые размеры для коррекции посттравматической деформации, но и воспользоваться ими практически. Для этого предложен способ интраоперационного контроля размеров VDC и сегментарного угла по экрану монитора ЭОПа. Суть разработанного метода восстановления исходных параметров заключается в интраоперационном контроле за выполнением репозиции позвоночника транспедикулярной системой под контролем ЭОПа. На экране ЭОПа линейкой измерялся размер верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка. Путём сравнения с данными предоперационного планирования определялся коэффициент увеличения. Планируемые размеры VDC умножались на этот коэффициент, после чего производились измерения фактических размеров на мониторе ЭОП. При расхождении с расчётными

величинами выполнялась коррекция VDC и сегментарного угла посредством репозиционной системы.

Для решения пятой задачи диссертационного исследования была усовершенствована методика репозиции позвоночника у пациентов с повреждением грудного и поясничного отделов, учитывающая индивидуальные морфометрические параметры. Усовершенствованный способ закрытой передней декомпрессии содержимого позвоночного канала (патент РФ № 2753133) существенно расширяет возможности внутренней транспедикулярной системы «Синтез». Использование транспедикулярной репозиционной системы позволило устранять значительную часть сколиотических и кифотических деформаций позвоночника без необходимости выполнения сложной реконструкции передней остеолигаментарной колонны. Проведение репозиционных винтов в сломанный позвонок позволило устранять оставшуюся деформацию позвоночника, выполнять редукцию костных фрагментов с декомпрессией спинного мозга, воссоздать сагиттальный профиль поврежденного сегмента и распределять нагрузку более равномерно, что минимизирует риск вторичной деформации и повышает устойчивость конструкции.

Основное преимущество предлагаемого способа заключается в исключении смещения костных отломков при манипуляциях, что снижает риск неврологических осложнений. Дополнительно достигается более высокая точность установки редукционных винтов и сокращается время оперативного вмешательства. Благодаря данной методике, необходимость двухэтапных операций значительно снижается, так как устранение компрессии спинного мозга и восстановление опороспособности позвоночника могут быть выполнены за один этап из заднего доступа.

Дополнительный вентральный этап вмешательства выполнялся при неустранимой передней компрессии спинного мозга, сохраняющемся дефекте тела поврежденного позвонка. Разработанный способ остеосинтеза позвоночника из вентрального доступа при травмах и заболеваниях (патент РФ на изобретение №2559275) обеспечивал устойчивый спондилодез позвоночно-двигательных

сегментов. Данный способ не требует обнажения боковой поверхности тел позвонков на значительной площади и перевязки питающих спинной мозг артериальных сосудов в области введения винтов, что нежелательно для кровоснабжения в зоне операции, так как само лигирование сосудов создает определенный операционный риск.

Шестая задача диссертации была направлена на разработку алгоритма усовершенствованной системы лечения, основанной на компьютерно-математическом моделировании репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. Перед этапом предоперационного планирования с использованием данных СКТ проводилась морфометрия поврежденного отдела позвоночника с применением предложенной модели, где поврежденное тело позвонка со смежными дисками находится в центре модели. По данным морфометрии рассчитывались исходные величины позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, а также оценивались морфология поврежденного сегмента и степень его нестабильности.

Эффективность предложенного алгоритма лечения дополнительно обеспечивалась возможностью контроля за восстановлением целевых параметров во время аппаратной репозиции. Появилась возможность интраоперационно сравнивать фактические размеры VDC и сегментарного угла с рассчитанными, корректируя манипуляции в реальном времени. Такой подход повышал предсказуемость результата, снижал вероятность остаточной деформации и способствовал оптимальному восстановлению вертикальных размеров тела поврежденного позвонка.

Решение седьмой задачи было реализовано благодаря проведению клинического исследования, включающего две группы пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Основная группа получала лечение с использованием усовершенствованной системы, включающей предоперационное планирование и интраоперационный контроль размеров VDC и сегментарного угла, а контрольная группа – известную методику лечения. Такой подход позволил не только оценить непосредственные результаты хирургического

вмешательства, но и проследить динамику восстановления на разных этапах послеоперационного периода.

Ближайшие результаты лечения изучались в сроки до 6 месяцев с момента завершения хирургического вмешательства. Выраженность болевого синдрома оценивалась с использованием визуальной аналоговой шкалы, где наблюдалась статистически значимая разница между группами ($p < 0,01$): медиана болевого синдрома по ВАШ в основной группе 2,00 [1,00-3,00] (1-4), в контрольной — 3,00 [2,00-3,00] (1-5), что указывает на значительное снижение болевого синдрома при применении усовершенствованного подхода.

Продолжительность оперативного вмешательства в основной группе была на 15,2 % меньше и статистически значимо отличалась от таковой в контрольной ($p < 0,01$). Медиана времени операции в основной группе составила 165,00 [146,25–190,00] (120–400) минут, тогда как в контрольной — 190,00 [160,00–215,00] (120–400) минут. Существенным фактором повышения эффективности вмешательства явилось также снижение интраоперационной кровопотери на 42,9%. В основной группе медиана составила 350,00 [262,50–400,00] (100–1000) мл, тогда как в контрольной — 500,00 [400,00–650,00] (100–1000) мл.

Эффективность репозиции позвоночника оценивалась по величине дистракции позвоночно-дискового комплекса (VDC) и степени коррекции сегментарного угла. В основной группе медиана VDC после операции составила: спереди — 99,11 [96,33–102,46] (87,16–117,10)%, сзади — 100,31 [96,39–104,37] (85,71–116,86)%. Это обеспечило не только улучшение закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала, но и восстановление вертикальных размеров повреждённого позвонка.

Медиана передней высоты тела повреждённого позвонка (AVH) достигла 94,69 [90,12–99,44] (80,45–107,07)%, задней (PVH) — 97,88 [94,65–101,29] (88,12–107,66)% от рассчитанной величины. В контрольной группе данные параметры оказались ниже: AVH — 89,97 [80,19–94,20] (69,71–103,25)%, PVH — 96,50 [93,18–99,18] (82,10–108,82)%.

Остаточная дислокация костных фрагментов также статистически различалась ($p=0,015$): в основной группе медиана составила 3,00 [2,00–4,50] (0,00–6,50) мм, в контрольной — 3,75 [2,80–5,00] (0,00–8,60) мм. Медиана $\Delta\alpha$ в основной группе составила 2,34 [–2,04–5,79] (–4,32–7,77) $^\circ$ и статистически значимо ($p = 0,010$) отличалась от контрольной — 5,79 [–2,34–9,10] (–9,40–11,32) $^\circ$, что указывает на более высокую точность коррекции деформации при использовании предоперационного планирования и интраоперационного контроля целевых параметров.

Восстановление неврологических функций определялось исходной тяжестью повреждения спинного мозга, степенью сужения позвоночного канала и полнотой декомпрессии. Улучшение неврологического статуса на одну степень по классификации ASIA в ближайшем послеоперационном периоде наблюдалось у 12 (11,1%) пациентов основной группы и у 11 (9,2%) больных контрольной группы, что подтверждает сопоставимость неврологического потенциала восстановления при преимущественном влиянии исходной тяжести травмы.

Отдалённые результаты лечения изучались в сроки от 12 месяцев до 19 лет. Их оценка проводилась по тем же клиничко-рентгенологическим критериям, что и для ближайших послеоперационных исходов. При этом более пристальное внимание уделялось параметрам, отражающим стабильность фиксации повреждённых позвоночно-двигательных сегментов.

Выявлено, что выраженность болевого синдрома по ВАШ в отдалённом периоде статистически значимо различалась между группами ($p < 0,01$): медиана в основной группе составила 1,00 [1,00–2,00] (1 – 4) баллов, тогда как в контрольной – 2,00 [2,00–3,00] (1–4) баллов.

В отдалённые сроки наблюдения отмечено небольшое уменьшение медианных значений AVH и PVH по отношению к ближайшему периоду при сохранении статистически значимых различий между группами ($p < 0,001$), что отражает более устойчивое восстановление анатомических параметров в основной группе. Аналогичная динамика обнаружена для A-VDCH, тогда как статистически значимой разницы по P-VDCH выявлено не было ($p = 0,216$).

Оценка отдалённых исходов лечения по шкале R.G. Watkins показала, что доля отличных результатов была выше в основной группе — 59,3% ($p = 0,043$), что подтверждает клиническую эффективность разработанной методики предоперационного планирования и контролируемой репозиции. В то же время показатели качества жизни по опроснику MOS SF-36 статистически значимо не различались, что свидетельствует о сопоставимом уровне функционального восстановления в обеих группах.

Внедрение комплексного предоперационного планирования, совершенствование техники репозиции и повышение уровня интраоперационного контроля за восстановлением анатомических параметров позвоночника при использовании транспедикулярной фиксации привели к существенному снижению частоты технических ошибок и связанных с ними осложнений. Проведение задней фиксации без обязательного выполнения вентрального спондилодеза, а также выполнение ламинэктомии после установки транспедикулярной системы не сопровождались увеличением частоты переломов элементов металлоконструкции, что подтверждает достаточную прочность и стабильность используемой методики.

Статистически значимые различия в частоте осложнений зафиксированы между группами наблюдения ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$). Риск развития механических осложнений в контрольной группе оказался в 3,9 раза выше, чем в основной (ОР = 3,948; 95% ДИ 1,326–11,757; $p = 0,014$), что подчёркивает преимущество предложенного алгоритма хирургического лечения.

Таким образом, применение дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих операций при лечении пострадавших с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника позволяет выполнить весь объем хирургического лечения за один этап у большинства пострадавших. Предлагаемое предоперационное планирование с расчетами исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками, использование разработанного способа репозиции позвоночника улучшило результаты лечения больных и снизило количество послеоперационных осложнений. Комплексная система профилактики

неудовлетворительных исходов и оптимизация предоперационного этапа позволят уменьшить количество осложнений и улучшить результаты лечения пострадавших.

В целом, по нашему мнению, выполненное диссертационное исследование позволило достичь поставленной цели и полностью решить все сформулированные задачи. Сделанные выводы и разработанные практические рекомендации представлены в следующих разделах диссертации.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования

Дальнейшие исследования целесообразно ориентировать на расширение математической модели позвоночного сегмента и её адаптацию к многоуровневым повреждениям грудного и поясничного отделов позвоночника. Отдельного внимания заслуживает возможность применения разработанной модели при планировании и выполнении оперативных вмешательств по поводу дегенеративных, воспалительных и опухолевых поражений позвоночника.

Перспективным направлением является создание автоматизированных систем предоперационного планирования, основанных на технологиях искусственного интеллекта, позволяющих выполнять расчёт ключевых морфометрических параметров и прогнозировать результаты репозиции. Требуется дальнейшего развития биомеханическое моделирование транспедикулярных конструкций, направленное на оптимизацию их жёсткости, конструктивных характеристик и выбора материалов.

Важным аспектом будущих исследований остаётся совершенствование методов интраоперационного контроля восстановления позвоночно-дискового комплекса, включая внедрение современных навигационных и роботизированных технологий.

Дополнительные перспективы связаны с разработкой прогностических моделей риска общих и механических осложнений. Интеграция созданных моделей и алгоритмов в цифровые системы поддержки клинических решений позволит повысить точность, воспроизводимость и стандартизацию хирургического лечения посттравматических деформаций позвоночника.

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 дистракции 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 расчётов 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 четырёх смежных дисков с расчётом размеров A-VDCH, P-VDCH и сегментарного угла позвоночно-дискового комплекса, что позволяет рассчитать исходные анатомические параметры повреждённого уровня и спрогнозировать требуемую степень коррекции.

4. Для расчёта 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 расчёты 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 редуцирующих

винтов, контролируемое смещение повреждённого позвонка, исключаящий 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 она статистически значимо снижает частоту осложнений и улучшает клинические результаты.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АД – артериальное давление
- АЛТ – аланинаминотрансфераза
- АСТ – аспартатаминотрансфераза
- БСМП – больница скорой медицинской помощи
- ВАШ – визуальная аналоговая шкала
- ВМО – вызванный моторный ответ
- ГБО – гипербарическая оксигенация
- ДПК – деформация позвоночного канала
- ДС – дугоотростчатые суставы
- ДТП – дорожно-транспортное происшествие
- КТ – компьютерная томография
- ЛФК – лечебная физическая культура
- МНО – международное нормализованное отношение
- МПД – межпозвоночный диск
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- НХО – нейрохирургическое отделение
- ПДС – позвоночно-двигательный сегмент
- ПК – позвоночный канал
- ПС – позвоночный столб
- ПСМТ – позвоночно-спинномозговая травма
- СКТ – спиральная компьютерная томография
- СМ – спинной мозг
- ТМО – твердая мозговая оболочка
- ТПА – транспедикулярный аппарат
- ТПФ – транспедикулярная фиксация
- ТПУ – транспедикулярное устройство
- ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии
- ФРИ – функциональное рентгеновское исследование

ЧМТ – черепно-мозговая травма

ЧСС – частота сердечных сокращений

ШКГ – шкала комы Глазго

ЭОП – электронно-оптический преобразователь

ASIA – American Spine Injury Association

AVH – передняя высота тела позвонка

A-VDCH – передняя высота позвоночно-дискового комплекса

ISNCSCI – International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

LSC – Load-sharing classification (классификация распределения нагрузки)

VDC – Vertebral-Disc Complex (позвоночно-дисковый комплекс)

PVH – задняя высота тела позвонка

P-VDCH – задняя высота позвоночно-дискового комплекса

TLICS – Thoracolumbar injury classification and severity score

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов, Р.Р. Минимально инвазивные методы хирургического лечения переломов грудного отдела позвоночника у пациентов старшей возрастной группы : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.15 / Абдрахманов Ринат Равилевич. – Москва, 2018. – 21 с.
2. Аганесов, А.Г. Современные малоинвазивные технологии в хирургии позвоночника / А.Г. Аганесов, М.М. Алексанян, С.А. Макаров, К.П. Микаелян // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2021. – Вып. 2, №6. – С. 65-72.
3. Аганесов, А.Г. Хирургическое лечение осложненной травмы позвоночника – прошлое и настоящее / А.Г. Аганесов // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2013. – № 1. – Р. 5-12.
4. Аганесов, А.Г. Хирургическое лечение осложнённой травмы позвоночника в остром периоде / А.Г. Аганесов, К.Т. Месхи, А.П. Николаев, Е.П. Костив // Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова. – 2003. – № 3. – С. 48-52.
5. Аганесов, А.Г. Хирургическое лечение повреждений позвоночника / А.Г. Аганесов, А.Л. Хейло, М.М. Алексанян, С.А. Макаров // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2018. – 7. – С. 37-40.
6. Андреева, Т.М. Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2016 году / Т.М. Андреева, Е.В. Огрызко. – Москва: Телер, 2017. – 131 с.
7. Афаунов, А.А. Хирургическое лечение посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.А. Афаунов, Э.М. Полухович, А.И. Афаунов [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2007. – №3. – С. 8-15.
8. Афаунов, А.А. Анализ технических вариантов декомпрессивно-стабилизирующих операций при повреждениях нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника: систематический обзор литературы / А.А. Афаунов, Н.С. Чайкин // Хирургия позвоночника. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 22-37.

9. Афаунов, А.А. Анализ результатов применения транспедикулярной фиксации с цементной имплантацией винтов при лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне остеопороза / А.А. Афаунов, И.В. Басанкин, К.К. Тахмазян // Перспективы развития вертебрологии: инновационные технологии в лечении повреждений и заболеваний позвоночника и спинного мозга: Материалы IV съезда Межрегиональной общественной организации «Ассоциация хирургов-вертебрологов» с международным участием. Новосибирск, 24-25 мая 2013 года. – Новосибирск, 2013. – С. 10-16.

10. Афаунов, А.А. Дифференцированный подход к лечению больных с травматическими стенозами позвоночного канала на нижнегрудном и поясничном уровне / А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко, И.В. Басанкин // Инновационная медицина Кубани. – 2016. – № 2. – С. 5-16.

11. Афаунов, А.А. Дифференцированный подход к лечению пациентов с переломами тел нижнегрудных и поясничных позвонков с травматическими стенозами позвоночного канала / А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко, И.В. Басанкин // Хирургия позвоночника. – 2016. – № 2. – С. 8-17.

12. Афаунов, А.А. К вопросу о классификации посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко, И.В. Басанкин, М.Ю. Агеев // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 23-32.

13. Афаунов, А.А. Передний корпородез в этапном хирургическом лечении пациентов с переломами грудных и поясничных позвонков при пониженной минеральной плотности костной ткани / А.А. Афаунов, И.В. Басанкин, К.К. Тахмазян [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Пирогова. – 2020. – Т. 27, № 3. – С. 5-15.

14. Афаунов, А.А. Рабочая классификация травматических стенозов позвоночного канала для повреждений нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника / А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко // Кубанский научный медицинский вестник. – 2016. – № 2. – С. 13-19.

15. Афаунов, А.А. Ревизионные операции в хирургическом лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника / А.А. Афаунов, И.В. Басанкин, А.В. Мишагин [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т. 12, № 4. – С. 8-16.

16. Афаунов, А.А. Транспедикулярная фиксация при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника, сопровождающихся травматическим стенозом позвоночного канала / А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко // Хирургия позвоночника. – 2011. – № 4. – С. 8-17.

17. Афаунов, А.А. Транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника (экспериментально-клиническое исследование): автореф. дис. ... докт. мед. наук: 14.00.22 / Афаунов Аскер Алиевич. – Санкт-Петербург, 2006. – 36 с.

18. Бабиченко, Е.И. Классификация острой травмы позвоночника, спинного мозга и конского хвоста / Е.И. Бабиченко // Журнал. Вопросы нейрохирургии. – 1979. – №4. – С. 3-8.

19. Бадалов, В.И. Диагностика и лечение сочетанной травмы позвоночника на этапах медицинской эвакуации в условиях военного и мирного времени: автореф. дис. ... докт. мед. наук: 14.01.17 / Бадалов Вадим Измаилович. – Санкт-Петербург, 2012. – 47 с.

20. Бажанов, С.П. Отдаленные результаты применения задней фиксации при острых травмах шейного отдела позвоночника на субаксиальном уровне / С.П. Бажанов, В.Ю. Ульянов, С.В. Лихачев // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 5-8.

21. Баиндурашвили, А.Г. Анализ влияния различных факторов на динамику неврологических нарушений у детей с позвоночно-спинномозговой травмой / А.Г. Баиндурашвили, И.Ю. Солохина, Д.Н. Кокушин, С.М. Белянчиков // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2015. – Т. 3, №4. – С. 12-21.

22. Байдарбеков, М.У. Минимально инвазивные методы хирургического лечения переломов грудного и поясничного отделов позвоночника дорзальными

доступами: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Байдарбеков Мурат Умирханович/ – Новосибирск, 2018. – 20 с.

23. Басанкин, И.В. Значимость различных факторов риска в формировании проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции при оперативном лечении взрослых с деформациями позвоночника / И.В. Басанкин, Д.А. Пташников, С.В. Масевнин [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т.18, №1. – С. 14-23.

24. Белова, А.Н. Нейрореабилитация : руководство для врачей / А.Н. Белова, С.В. Прокопенко. – Москва, 2010 – 1288 с.

25. Белова, А.Н. Шкалы, тесты и опросники в неврологии и нейрохирургии / А.Н. Белова. – Москва, 2004. – 696 с.

26. Бердюгин, К.А. Алгоритм оперативного лечения больных с переломами грудных и поясничных позвонков / К.А. Бердюгин // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9-4. – С. 591-595.

27. Бердюгин, К.А. Мальпозиция винтов при транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями и её профилактика / К.А. Бердюгин, А.К. Чертков, Д.И. Штадлер [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 7-1. – С. 40-44.

28. Бердюгин, К.А. О неудовлетворительных исходах транспедикулярной фиксации позвоночника / К.А. Бердюгин, А.К. Чертков, Д.И. Штадлер, О.В. Бердюгина // Хирургия позвоночника. – 2010. – №4. – С. 19-24.

29. Бердюгин, К.А. Осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника и их профилактика / К.А. Бердюгин, М.С. Каренин // Фундаментальные исследования. – 2010. – № 9. – С. 61-71.

30. Бердюгин, К.А. Остеосинтез позвоночника аппаратами внешней фиксации / К.А. Бердюгин, О.В. Бердюгина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9-4. – С. 765-768.

31. Бердюгин, К.А. Ошибки и осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями / К.А. Бердюгин, А.К. Чертков,

Д.И. Штадлер [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 4-2. – С. 425-431.

32. Берснев, В.П. Хирургия позвоночника, спинного мозга и периферических нервов: руководство для врачей / В.П. Берснев, Е.А. Давыдов, Е.Н. Кондаков. – Санкт-Петербург, 1998. – 368 с.

33. Бикмуллин, В.Н. Сравнительный анализ шкал оценки экономического и функционального статуса D. Prolo и R. Watkins / В.Н. Бикмуллин, О.А. Клиценко, В.В. Руденко // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 5-10.

34. Блаженко, А.Н. Тактика оказания медицинской помощи пострадавшим с сочетанной позвоночно-спинномозговой травмой / А.Н. Блаженко, А.А. Афаунов, Г.М. Хашагульгов, П.Б. Нестеренко // Хирургия позвоночника. – 2010. – № 4. – С. 8-14.

35. Богданова, О.Ю. Хирургическое лечение пациентов с множественной позвоночно-спинальной травмой на грудном и поясничном : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.18 / Богданова Олеся Юрьевна. – Москва, 2019. – 29 с.

36. Богомолова, Н.В. Особенности репаративного остеогенеза поврежденных тел грудных и поясничных позвонков в различные сроки после травмы / Н.В. Богомолова, А.Е. Шульга, В.В. Зарецков [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2016. – № 4. – С. 44-49.

37. Бурцев, А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых / А.В. Бурцев, С.О. Рябых, А.О. Котельников, А.В. Губин // Гений ортопедии. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 228-235.

38. Бывальцев, В.А. Анализ редукции кифотической деформации методом минимально-инвазивной транспедикулярной стабилизации у пациентов с травматическими компрессионными переломами грудно-поясничной локализации / В. А. Бывальцев, А. А. Калинин // Вестник хирургии им. И. И. Грекова. – 2017. – Т. 176, №. 5. – С. 64-71.

39. Бывальцев, В.А. Минимально инвазивная хирургия позвоночника: этапы развития / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Н.А. Коновалов // Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко. – 2019. – Т. 83, № 5. – С. 92-100.

40. Бывальцев, В.А. Оценка клинической эффективности малотравматичного способа транспедикулярной стабилизации в хирургическом лечении пациентов с переломами позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, А.Э. Будаев // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. – 2016. – Т. 23, №1. – С. 15-20.

41. Валеев, Е.К. Диагностика состояния элементов средней остеолигаментарной колонны позвоночного столба при травме грудопоясничного отдела / Е.К. Валеев, И.Е. Валеев, И.А. Шульман, А.Ф. Ахатов // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т. 12, № 2. – С. 16-19.

42. Валеев, И.Е. Особенности транспедикулярного спондилодеза при повреждениях грудопоясничных позвонков / И.Е. Валеев, Е.К. Валеев // Практическая медицина. – 2013. – № 2-2 (68). – С. 25-28.

43. Васильченко, П.П. Моносегментарный транспедикулярный остеосинтез при лечении больных с повреждениями и заболеваниями грудного и поясничного отделов позвоночника: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Васильченко Павел Петрович. – Санкт-Петербург, 2012. – 23 с.

44. Ветрилэ, С.Т. Хирургическое лечение переломов грудного и поясничного отделов позвоночника с использованием современных / С.Т. Ветрилэ, А.А. Кулешов // Хирургия позвоночника. – 2004. – №3. – С. 33-39.

45. Виссарионов, С.В. Оперативное лечение детей с осложненными переломами позвонков грудной и поясничной локализации / С.В. Виссарионов, С.М. Белянчиков // Травматология и ортопедия России. – 2010. – Т. 16, №2. – С. 48-50.

46. Волков, А.А. Рентгеновская морфометрия межпозвонковых пространств позвоночного столба в норме и при дистрофических изменениях межпозвонковых дисков / А.А. Волков, Н.Н. Белосельский, Ю.Н. Прибытков // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2015. – № 3. – С. 23-30.

47. Воронович, И.Р. Устройство для фиксации позвоночника. Авторское свидетельство № 1674826 / И.Р. Воронович, В.Н. Николаев, О.И. Дулуб, С.В. Макаревич // Открытия, изобретения. – 1991. – № 33.
48. Гельфанд, И.М. Тригонометрия / И.М. Гельфанд, С.М. Львовский, А.Л. Тоом. – Москва :МЦНМО, 2002. – 199 с.
49. Глазырин, Д.И. Биомеханическое обоснование и первое клиническое применение аппарата внешней фиксации у больных с переломами позвоночника / Д.И. Глазырин // Травматология и ортопедия России. – 1994. – № 3. – С. 30-34.
50. Говенько, Ф.С. Исходы хирургического лечения пациентов с нестабильным поражением позвонков грудной и поясничной локализации / Ф.С. Говенько, Д.Н. Монашенко, Д.С. Лукин // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2012. – № 1 (37). – С. 150-153
51. Грибанов, А.В. Малоинвазивные операции при лечении неосложненных и осложненных взрывных переломов нижних грудных и поясничных позвонков / А.В. Грибанов, И.И. Литвинов, В.В. Ключевский // Уральский медицинский журнал. – 2016. – № 1(134). – С. 122-125.
52. Грибанов, А.В. Оперативное лечение взрывных переломов нижних грудных и поясничных позвонков : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Грибанов Алексей Викторович. – Москва, 2018. – 21 с.
53. Гринь, А.А. Фактор времени в хирургии позвоночно-спинальной травмы (обзор литературы) / А.А. Гринь, А.Ю. Кордонский, И.С. Львов [и др.] // Нейрохирургия. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 81-90.
54. Гринь, А.А. Алгоритмы диагностики и лечения пациентов с сочетанной позвоночно-спинномозговой травмой / А.А. Гринь, М.А. Некрасов, А.К. Кайков [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2011. – № 4. – Р. 18-26.
55. Гринь, А.А. Осложнения и их профилактика у больных с позвоночно-спинномозговой травмой (часть 1) / А.А. Гринь, А.К. Кайков, В.В. Крылов // Нейрохирургия. – 2014. – № 4. – С. 75-86.

56. Гринь, А.А. Осложнения и их профилактика у больных с позвоночно–спинномозговой травмой (часть 2) / А.А. Гринь, А.К. Кайков, В.В. Крылов // Нейрохирургия. – 2015. – № 1. – С. 55-66.

57. Гринь, А.А. Хирургическое лечение пациентов с множественной позвоночно-спинномозговой травмой на грудном и поясничном уровнях (обзор литературы) / А.А. Гринь, О.Ю. Богданова, А.К. Кайков, А.Ю. Кордонский // Нейрохирургия. – 2018. – Т. 20, №1. – С. 64-75.

58. Дулаев, А.К. Хирургическое лечение больных с неблагоприятными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы / А.К. Дулаев, В.Д. Усиков, Д.А. Пташников [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2010. – № 2. – С. 51–54.

59. Дулаев, А.К. Влияние организационных факторов на эффективность оказания медицинской помощи пострадавшим с острой позвоночно-спинномозговой травмой / А.К. Дулаев, Д.И. Кутянов, В.А. Мануковский [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2020. – № 3. – С. 32-42.

60. Дулаев, А.К. Выбор тактики и технологии инструментальной фиксации при изолированных неосложненных взрывных переломах грудных и поясничных позвонков / А.К. Дулаев, Д.И. Кутянов, В.А. Мануковский [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 7-17.

61. Дулаев, А.К. Позвоночно-спинномозговая травма / А.К. Дулаев, В.А. Мануковский, Д.И. Кутянов. – Санкт-Петербург : Стикс, 2018. – 48 с.

62. Дулаев, А.К. Позвоночно-спинномозговая травма в современном отечественном мегаполисе: частота, структура и потребность в коечном фонде городского здравоохранения / А.К. Дулаев, В.А. Мануковский, Д.И. Кутянов [и др.] // Скорая медицинская помощь. – 2018. – Т. 19, № 3. – С. 13-18.

63. Дулаев, А.К. Причины неудовлетворительных анатомо–функциональных результатов лечения больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника / А.К. Дулаев, И.Ш. Хан, Н.М. Дулаева // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 2. – С. 17-24.

64. Дулаев, А.К. Ревизионная хирургия позвоночно-спинномозговой травмы / А.К. Дулаев, А.В. Дыдыкин, З.Ю. Аликов [и др.] // Российский нейрохирургический журнал. – 2012. – № 4. – С. 111-112.

65. Елисеев, А.С. Философия некоторых проблем спинальной нейрохирургии / А.С. Елисеев, А.Е. Боков, С.Г. Млявых, А.А. Мордвинов // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2021. – Т. 85, № 1. – С. 28-35.

66. Зарецков, В.В. Использование транспедикулярной фиксации при оскольчатых переломах тел грудных и поясничных позвонков / В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С. В. Лихачев [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2014. – Т. 10, № 3. – С. 441-446.

67. Зубков, Е.А. Одноэтапное хирургическое лечение больных с неосложненными переломами нижнегрудных и поясничных позвонков : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Зубков Евгений Алексеевич. – Курган, 2013. – 24 с.

68. Индиаминов, С.И. Характер поражения структуры позвоночника и спинного мозга при сочетанной тупой травме / С.И. Индиаминов, Р.А. Исмаилов, С.Н. Пардаев // Судебная медицина. – 2021. – Т. 7. № 2. – С. 113-119.

69. Казакова, Э.Ю. Особенности диагностики и хирургического лечения повреждений позвоночника и спинного мозга у пострадавших в результате кататравмы (обзор литературы) / Э.Ю. Казакова, А.А. Гринь // Нейрохирургия. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 76-85.

70. Казакова, Э.Ю. Эпидемиология и особенности сочетанных повреждений у пострадавших с переломами позвоночника в результате падения с высоты / Э.Ю. Казакова, А.А. Гринь // Нейрохирургия. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 21,28.

71. Климов В.С. Совершенствование специализированной нейрохирургической помощи пострадавшим с острой травмой шейного отдела позвоночника и спинного мозга в регионе: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.28 / Климов Владимир Сергеевич. – С. Петербург, 2007. – 24 с.

72. Коваленко, Р.А. Сравнительный анализ результатов имплантации транспедикулярных винтов в грудном отделе позвоночника с использованием индивидуальных навигационных матриц и методики free hand / Р.А. Коваленко, Д.А. Пташников В.Ю., Черebilло, В.А. Кашин // Травматология и ортопедия России. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 49,60.

73. Кокушин, Д.Н. Хирургическое лечение нестабильных повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. Исторические аспекты (обзор литературы) / Д.Н. Кокушин, С.М. Белянчиков, В.В. Мурашко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11-3. – С. 442-450.

74. Коллеров, М.Ю. Влияние материала стержней транспедикулярной конструкции на механическое поведение при статистических и циклических испытаниях / М.Ю. Коллеров, С.К. Левченко, А.А. Чернышова [и др.] // Материалы МАТИ им. К.Э. Циолковского. – 2002. – Вып. 5 (77). – С. 59-64.

75. Коллеров, М.Ю. Влияние состава и структуры на характеристики упругости и сверхупругости сплавов на основе титана / М.Ю. Коллеров, В.С. Спектор, Д.Е. Гусев, В.С. Мамаев // Титан. – 2010. – № 4. – С. 13-17.

76. Коллеров, М.Ю. Медико-техническое обоснование использования титановых сплавов в имплантируемых конструкциях для стабилизации позвоночника / М.Ю. Коллеров, В.Д. Усиков, В.С. Куфтов [и др.] // Титан. – 2013. – № 1 (39). – С. 39-45.

77. Корнилов, Н.В. Повреждения позвоночника. Тактика хирургического лечения / Н.В. Корнилов, В.Д. Усиков. – Санкт-Петербург : АВ МОРСАР, 2000. – 231 с.

78. Косичкин, М.М. Инвалидность вследствие травматического поражения спинного мозга, медико-социальная экспертиза и реабилитация / М.М. Косичкин, Л.П. Гришина, Д.М. Шапиро // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. – 1999. – № 1. – С. 9-15.

79. Косулин, А.В. Избирательное применение навигационных шаблонов при идиопатическом сколиозе: технические и хронометрические особенности /

А.В. Косулин, Д.В. Елякин, Л.А. Корниевский [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 6-13.

80. Крылов, В.В. Рекомендательный протокол лечения острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых (Ассоциация нейрохирургов РФ). Часть 1 / В.В. Крылов, А.А. Гринь, А.А. Луцик [и др.] // Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко. – 2014. – Т. 78, № 6. – С. 60-67.

81. Крылов, В.В. Современные принципы в хирургии травм и заболеваний позвоночника / В.В. Крылов, А.А. Гринь, А.К. Кайков [и др.] // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». – 2014. – № 4. – С. 36-41.

82. Крылов, В.В. Травма позвоночника и спинного мозга. Клинические рекомендации / В.В. Крылов, А.А. Гринь, В.Х. Тимербаев. – Москва, 2014.

83. Кузьменко, А.В. Лечение повреждений нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника, сопровождающихся травматическим стенозом позвоночного канала, с применением транспедикулярной фиксации: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Кузьменко Александр Вениаминович. – Краснодар, 2017. – 26 с.

84. Лавруков, А.М. Остеосинтез аппаратом внешней фиксации у больных с повреждениями и заболеваниями позвоночника / А.М. Лавруков, А.Б. Томилов. – Екатеринбург, 2002. – 207 с.

85. Леонова, О.Н. Плотность костной ткани позвонков в единицах Хаунсфилда как предиктор несостоятельности межтелового блока и проседания имплантата при круговом поясничном спондилодезе / О.Н. Леонова, Е.С. Байков, А.В. Пелеганчук, А.В. Крутько // Хирургия позвоночника. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 57-65.

86. Лихачев, С.В. Оптимизация спондилосинтеза при некоторых разрывных переломах груднопоясничного отдела / С.В. Лихачев, В.Б. Арсеньевич, В.В. Островский [и др.] // Современные технологии в медицине. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 30–38.

87. Лобзин, С.В. Острая позвоночно-спинномозговая травма в Санкт-Петербурге: причины, клиническая характеристика, факторы риска / С.В. Лобзин, Л.М. Мирзаева, А.К. Дулаев, А.М. Сарана // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 65-72.

88. Лобзин, С.В. Острое травматическое повреждение спинного мозга в Санкт-Петербурге. Эпидемиологические данные: частота, гендерные и возрастные особенности / С.В. Лобзин, Л.М. Мирзаева, Н.В. Цинзерлинг [и др.] // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 27-34.

89. Луцик, А.А. Передние декомпрессивно-стабилизирующие операции при осложненной травме грудного и груднопоясничного отделов позвоночника / А.А. Луцик, Г.Ю. Бондаренко, В.Н. Булгаков, А.Г. Епифанцев // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 3. – С. 8-16.

90. Макаревич, С.В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы / С.В. Макаревич // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 95-106.

91. Макаров, А.Б. Варианты переднего межтелового спондилодеза при оскольчатых переломах нижних грудных и поясничных позвонков: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Макаров Александр Борисович. – Курган, 2013. – 22 с.

92. Макаров, А.Б. Модифицированный фиксатор для переднего спондилодеза при оскольчатых переломах грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Б. Макаров, К.С. Сергеев, В.В. Гузеев [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 2. – С. 16-23.

93. Малыгин, В.Н. Результаты хирургического лечения компрессионных переломов грудного и поясничного отделов позвоночника с использованием чрескожных транспедикулярных систем в сравнении с классическими / В.Н. Малыгин, В.М. Драгун, М.И. Скопин [и др.] // Российский нейрохирургический журнал. – 2012. – № 4. – С. 123.

94. Мануковский, В.А. Применение минимально инвазивных методов хирургического лечения компрессионных переломов позвонков / В.А. Мануковский, В.И. Бадалов, К.Е. Коростелёв [и др.] // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2012. – № 1-2 (47-48). – С. 33-34.

95. Мартикян, А.Г. Диагностика, патогенез и лечение повреждений твердой мозговой оболочки при позвоночноспинномозговой травме / А.Г. Мартикян, А.А. Гринь // Нейрохирургия. – 2018. – Т. 20, №2. – С. 74-82.

96. Мартикян А.Г. Тактика лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждении твердой мозговой оболочки / А.Г. Мартикян, А.А. Гринь, А.Э. Талыпов [и др.] // Нейрохирургия. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 35–42.

97. Михайловский, М.В. Хирургия позвоночника по Цивьяну / М.В. Михайловский // Хирургия позвоночника. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 6–19.

98. Млявых, С.Г. Дифференцированная тактика хирургического лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника / С.Г. Млявых, И.Н. Морозов // Травматология и ортопедия России. – 2008. – №3. – С. 99-100.

99. Монашенко, Д.Н. Интраоперационные осложнения в спинальной хирургии / Д.Н. Монашенко, В.И. Бадалов, В.К. Кистень // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2016. – № 4 (56). – С. 217-223.

100. Монашенко, Д.Н. Клинико-анатомическое обоснование декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств при деформациях позвоночного канала грудной и поясничной локализации: автореф. дис. ... д-ра мед. наук :14.01.18 / Монашенко Дмитрий Николаевич. – Санкт-Петербург, 2022. – 43 с.

101. Морозов, И.Н. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор) / И.Н. Морозов, С.Г. Млявых // Медицинский альманах. – 2011. – № 4. – С. 157-159.

102. Мушкин, А.Ю. Биомеханика позвоночника в норме и при патологических состояниях: основные аспекты исследований / А.Ю. Мушкин, Э.В. Ульрих, И.В. Зуев // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 4. – С. 53-61.

103. Николаев, Н.Н. Передний транспедикулярный спондилодез опороспособными аутотрансплантатами при декомпрессивно стабилизирующих операциях их заднего доступа / Н.Н. Николаев, А.А. Гринь, В.В. Крылов // Журнал нейрохирургии. – 2008. – № 1. – С. 32-38.

104. Орлов, С.В. Математический расчет прочности позвоночного столба при хирургическом лечении нестабильных переломов позвоночника / С.В. Орлов, А.Ю. Канькин, В.П. Москалев [и др.] // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. – 2009. – Т. 168, № 2. – С. 61-64.

105. Паршин, М.С. Оптимизация тактики хирургического лечения пострадавших с изолированными неосложненными «взрывными» переломами грудных и поясничных: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Паршин Михаил Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2019. – 24 с.

106. Паськов, Р.В. Видеоторакоскопический спондилодез в хирургии повреждений позвонков груднопоясничного перехода / Р.В. Паськов, К.С. Сергеев, Д.Д. Сехниаидзе [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2011. – № 3. – С. 84-90.

107. Паськов, Р.В. Первично-стабильный опорный передний межтеловой спондилодез / Р.В. Паськов, К.С. Сергеев, А.О. Фарйон, А.Б. Макаров // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 1. – С. 19-25.

108. Патент № 2108763 РФ, (51) МКИ А61В 17/70 (1995.01). Устройство для чрескостного остеосинтеза позвоночника : № 95113858/14 : заявл. 01.08.1995 : опубл. 20.04.1998/ Усиков В.Д. –11 с.

109. Перльмуттер, О.А. Травма позвоночника и спинного мозга: неотложная диагностика и лечение / О.А. Перльмуттер, В.Н. Григорьева, Л.Р. Курилина. – Нижний Новгород : НижГМА, 2016. – 96 с.

110. Рамих, Э.А. Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника / Э.А. Рамих // Хирургия позвоночника. – 2008. – № 2. – С. 95-114.

111. Рерих, В.В. Хирургическое лечение взрывных переломов грудных и поясничных позвонков, сопровождающихся сужением позвоночного канала /

В.В. Рерих, К.О. Борзых, Ш.Н. Рахматиллаев // Хирургия позвоночника. – 2007. – № 2. – Р. 8–15.

112. Рерих, В.В. Остеопластика в системе лечения переломов тел грудных и поясничных позвонков / В.В. Рерих, М.А. Садовой, Ш.Н. Рахматиллаев // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 2. – С. 25-34.

113. Рерих, В.В. Хирургическая тактика и организация специализированной помощи при неосложненных повреждениях позвоночника: автореф. дис... д-ра мед. наук: 14.00.22 / Рерих Виктор Викторович. – Новосибирск, 2009. – 42 с.

114. Рерих, В.В. Посттравматические деформации грудного и поясничного отделов позвоночника у пациентов в позднем периоде позвоночно–спинномозговой травмы после ранее проведенных оперативных вмешательств / В.В. Рерих, К.О. Борзых // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-4. – С. 657-660.

115. Рерих, В.В. Хирургическое лечение переломов грудных и поясничных позвонков с использованием транспедикулярной пластики и фиксации / В.В. Рерих, М.У. Байдарбеков, М.А. Садовой // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т.14, № 3. – С. 54-61.

116. Рерих, В.В. Сравнительный анализ методов гибридной стабилизации при лечении взрывных переломов тел позвонков на фоне остеопороза / В.В. Рерих, В.Д. Синявин // Хирургия позвоночника. – 2022. – Т. 19, № 4. – Р. 40-45.

117. Рузиев, Х.Х. Лечение неосложненных компрессионных переломов позвоночника / Х.Х. Рузиев, А.В. Басков, В.А. Басков // Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко. – 2019. – Т. 83, № 2. – С. 66-70.

118. Русова, Т.В. Строение, функции и роль замыкательных пластинок в развитии дегенеративных заболеваний позвоночника: обзор литературы / Т.В. Русова, А.А. Воропаева // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14, № 4. – С. 95-102.

119. Тахмазян, К.К. Хирургическое лечение повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне сниженной минеральной плотности

костной ткани : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 3.1.8. / Тахмазян Карапет Карапетович. – Краснодар, 2023. – 23 с.

120. Тесаков, Д.К. Рентгенологические методики измерения дуг сколиотической деформации позвоночника во фронтальной плоскости и их сравнительный анализ / Д.К. Тесаков, Д.Д. Тесакова // Проблемы здоровья и экологии. – 2007. – №3. – С. 94-103.

121. Толкачев, В.С. Эпидемиология травм позвоночника и спинного мозга (обзор) / В.С. Толкачев, С. П. Бажанов, В.Ю. Ульянов [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 592-595.

122. Томилов, А.Б. Алгоритм оперативного лечения переломов грудного и поясничного отделов позвоночника и позвоночно-спинномозговой травмы / А.Б. Томилов, Ю.В. Химич, Е.В. Плахин [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина. – 2009. – Т. 1, №1. – С. 46-49.

123. Томилов, А.Б. Транспедикулярный остеосинтез в системе лечения повреждений позвоночника и спинного мозга / А.Б. Томилов, Ю.В. Химич // Травматология и ортопедия России. – 2008. – № 3. – С. 116.

124. Томилов, А.Б. Оптимизация лечебно–диагностического алгоритма у больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Б. Томилов, Н.Л. Кузнецова // Политравма. – 2011. – №4. – С. 5-9.

125. Томилов, А.Б. Ортопедическая коррекция посттравматических деформаций позвоночника / А.Б. Томилов, Н.Л. Кузнецова // Гений ортопедии. – 2012. – № 1. – С. 60-63.

126. Томилов, А.Б. Управляемая коррекция посттравматических деформаций позвоночника / А.Б. Томилов, Н.Л. Кузнецова // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, №1. – С. 44-48.

127. Тулупов, А.Н. Тяжелая сочетанная травма / А.Н. Тулупов. – Санкт-Петербург, 2015. – 314 с.

128. Угрюмов, В.М. Повреждения позвоночника и спинного мозга и их хирургическое лечение / В.М. Угрюмов. – Москва: Медгиз, 1961. – 247 с.

129. Ульрих, Э.В. Вертебрология в терминах, цифрах, рисунках / Э.В. Ульрих, А.Ю. Мушкин. – Санкт-Петербург : ЭЛБИ-СПб, 2005.– 187 с.

130. Усиков, В.Д. Педикулокорпоральный и другие способы остеосинтеза при лечении грудных и поясничных повреждений позвоночника и спинного мозга / В.Д. Усиков, Н.В. Корнилов, В.И. Карпцов // Гений ортопедии. – 1996. – № 2-3. – С. 115.

131. Усиков, В.В. Ошибки и осложнения внутреннего транспедикулярного остеосинтеза при лечении больных с нестабильными повреждениями позвоночника, профилактика и лечение / В.В. Усиков, В.Д. Усиков // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 1. – С. 21-26.

132. Усиков, В.В. Ошибки и осложнения транспедикулярного остеосинтеза при нестабильных повреждениях позвоночника, их профилактика и лечение: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.22 / Усиков Владимир Владимирович. – Санкт-Петербург, 2006. – 28 с.

133. Усиков В.Д. Обоснование применения транспедикулярных устройств с балками из нитинола и титановых сплавов при лечении больных с травмой позвоночника / В.Д. Усиков, В.С. Куфтов, М.Ю. Коллеров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2018. – Т. 48, № 4. – С. 62-79.

134. Усиков, В.Д. Реконструктивно-стабилизирующие вмешательства при повреждениях позвоночника: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Усиков Владимир Дмитриевич. – Санкт-Петербург, 1998. – 40 с.

135. Усиков, В.Д. Анализ репозиционных возможностей транспедикулярного остеосинтеза грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждениях, сопровождающихся травматическим стенозом позвоночного канала / В.Д. Усиков, А.А. Афаунов, А.В. Кузьменко // Кубанский научный медицинский вестник. – 2005. – №5-6. – С. 27-31.

136. Усиков, В.Д. Руководство по транспедикулярному остеосинтезу позвоночника / В.Д. Усиков. – Санкт-Петербург: Гиппократ; 2006. – С. 176.

137. Усиков, В.Д. Способы малоинвазивной хирургии в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника / В.Д. Усиков, Д.А. Пташников, Д.А. Михайлов // Травматология и ортопедия России. – 2009. – №3. – С. 78-84.

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

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

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

141. Химич, Ю.В. Результаты хирургического лечения пациентов с оскольчатыми проникающими переломами тел нижних грудных и поясничных позвонков / Ю.В. Химич, А.Б. Томилов, А.И. Реутов // Хирургия позвоночника. – 2010. – № 1. – С. 13-17.

142. Химич, Ю.В. Хирургическое лечение пациентов с оскольчатыми проникающими переломами тел нижних грудных и поясничных позвонков: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Химич Юрий Викторович.– Курган, 2011. – 23 с.

143. Худяев, А.Т. Возможности аппарата наружной транспедикулярной фиксации при исправлении деформаций / А.Т. Худяев, О.Г. Прудникова, И.А. Мещерягина, Ю.А. Муштаева // Хирургия позвоночника. – 2005. – № 4. – С. 20-24.

144. Цивьян, Я.Л. Повреждения позвоночника / Я.Л. Цивьян. – Москва : Медицина, 1971. – 312 с.

145. Шевцов, В.И. Возможности коррекции деформации позвоночного столба при острой позвоночно-спинномозговой травме в условиях применения аппарата наружной фиксации / В.И. Шевцов, А.Т. Худяев, П.И. Коваленко [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 1995. – № 5. – С. 61-62.

146. Шевченко, Е.Г. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке состояния позвоночника после оперативных вмешательств с использованием методов транспедикулярного остеосинтеза / Е.Г. Шевченко, Н.В. Агурина, Е.И. Зяблдова и [и др.] // Инновационная медицина Кубани. – 2018. – №2(10). – С. 17-23.

147. Шульга, А.Е. К вопросу о причинах развития вторичных посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, В.В. Островский [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2015. – Т.11, № 4. – С. 570-575.

148. Шульга, А.Е. Дорзальная коррекция грубых посттравматических деформаций грудного отдела позвоночника при позвоночно–спинномозговой травме / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – №3. – С. 611-617.

149. Щедренок, В.В. Нестабильность при застарелых повреждениях позвоночника и спинного мозга / В.В. Щедренок, С.В. Орлов, О.В. Могучая // Травматология и ортопедия России. – 2010. – №2. – С. 79-81.

150. Щедренок, В.В. Коэффициент хирургической коррекции позвоночного канала при травме и дегенеративных заболеваниях позвоночника / В.В. Щедренок, С.В. Орлов, К.И. Себелев [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2011. – №1. – С. 121-124.

151. Якушин, О.А. Тактика этапного хирургического лечения позвоночноспинномозговой травмы при политравме / О.А. Якушин, А.А. Пронских, А.В. Новокшенов, М.Ю. Федоров // Политравма. – 2015. – №3. – С. 16-23.

152. Яриков, А.В. Повреждения грудных и поясничных позвонков / А.В. Яриков, О.А. Перльмуттер, А.П. Фраерман // Амурский медицинский журнал. – 2019. – №3 (27). – С. 65-74.

153. Aarabi, B. Efficacy of Early (≤ 24 Hours), Late (25-72 Hours), and Delayed (>72 Hours) Hours Surgery with Magnetic Resonance Imaging-Confirmed Decompression in American Spinal Injury Association Impairment Scale Grades C and D Acute Traumatic Central Cord Syndrome Caused by Spinal Stenosis / B. Aarabi, N. Akhtar-Danesh, J.M. Simard [et al.] // *J. Neurotrauma*. – 2021. – Vol. 38, N 15. – P. 2073-2083.
154. Afzal, S. Short segment pedicle screw instrumentation and augmentation vertebroplasty in lumbar burst fractures: an experience / S. Afzal, S. Akbar, S.A. Dhar // *Eur. Spine J.* – 2008. – Vol. 17, N 3. – P. 336-341.
155. Alpantaki, K. Thoracolumbar burst fractures: a systematic review of management / K. Alpantaki, A. Bano, D. Pasku // *Orthopedics*. – 2010. – Vol. 33, N 6. – P. 422-429.
156. Aly, T.A. Short Segment versus Long Segment Pedicle Screws Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Meta-Analysis / T.A. Aly // *Asian Spine J.* – 2017. – Vol. 11, N 1. – P. 150-160.
157. Amaral, R. Pedicle Screws and Facet Violation - The importance of the Angle between the Facet and the Screw / R. Amaral, L. Pimenta, A.G. Netto [et al.] // *Rev. Bras. Ortop. (Sao Paulo)*. – 2020. – Vol. 55, N 5. – P. 642-648.
158. American Spinal Injury Association. Standards for neurological classification of spinal injury patients. – Chicago: ASIA, 1982.
159. Anderson, K.K. Optimal Timing of Surgical Decompression for Acute Traumatic Central Cord Syndrome: A Systematic Review of the Literature / K.K. Anderson, L. Tetreault, M.F. Shamji [et al.] // *Neurosurgery*. – 2015. – Vol. 77, Suppl 4. – P. 15-32.
160. Azadi, A. A comprehensive approach for the validation of lumbar spine finite element models investigating post-fusion adjacent segment effects / A. Azadi, N. Arjmand // *J. Biomech.* – 2021. – Vol. 121. – P. 110430. – DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110430.

161. Bach, K. Morphometric Analysis of Lumbar Intervertebral Disc Height: An Imaging Study / K. Bach, J. Ford, R. Foley, J. Januszewski [et al.] // *World Neurosurg.* – 2018. – DOI: 10.1016/j.wneu.2018.12.014
162. Badhiwala, J.H. Variability in time to surgery for patients with acute thoracolumbar spinal cord injuries / J.H. Badhiwala, G. Lebovic, M. Balas [et al.] // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11, N 1. – ID 13312. – DOI: 10.1038/s41598-021-92310-z.
163. Bajamal, A.H. Classification and Radiological Diagnosis of Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations / A.H. Bajamal, K.R. Permana, M. Faris [et al.] // *Neurospine.* – 2021. – Vol. 18, N 4. – P. 656-666.
164. Baker, S.P. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care / S.P. Baker, B. O'Neill, W. Jr. Haddon, W.B. Long // *J. Trauma.* – 1974. – Vol. 14? N 3. – P. 187-196.
165. Bartanusz, V. Short Segment Spinal Instrumentation With Index Vertebra Pedicle Screw Placement for Pathologies Involving the Anterior and Middle Vertebral Column Is as Effective as Long Segment Stabilization With Cage Reconstruction: A Biomechanical Study / V. Bartanusz, J. Harris, M. Moldavsky [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2015. – Vol. 40, N 22. – P. 1729-1736.
166. Benek, H.B. Efficiency of Distraction and Ligamentotaxis in Posterior Spinal Instrumentation of Thoracolumbar Retropulsed Fractures / H.B. Benek, E. Akcay, H. Yilmaz, A. Yurt // *Turk. Neurosurg.* – 2021. – Vol. 31, N 6. – P. 973-979.
167. Bizdikian, A.J. Posterior Ligamentous Complex Injuries of the Thoracolumbar Spine: Importance and Surgical Implications / A.J. Bizdikian, R. El Rachkidi // *Cureus.* – 2021. – Vol. 13, N 10. - 18774. – DOI: 10.7759/cureus.18774.
168. Bliemel, C. Early or delayed stabilization in severely injured patients with spinal fractures? Current surgical objectivity according to the Trauma Registry of DGU: treatment of spine injuries in polytrauma patients / C. Bliemel, R. Lefering, B. Buecking [et al.] // *J. Trauma Acute Care Surg.* – 2014. – Vol. 76, N 2. – P. 366-373.
169. Borkowski, S.L. Challenging the Conventional Standard for Thoracic Spine Range of Motion: A Systematic Review / S.L. Borkowski, E. Tamrazian, R.E. Bowen [et al.] // *JBJS Rev.* – 2016. – Vol. 4, N 4. – P. e51-e511.

170. Burgos, J. Non-uniform Segmental Range of Motion of the Thoracic Spine During Maximal Inspiration and Exhalation in Healthy Subjects / J. Burgos, C. Barrios, G. Mariscal [et al.] // *Front. Med. (Lausanne)*. – 2021. – Vol. 8. – DOI :10.3389/fmed.2021.699357.

171. Carazzo, C.A. AO Spine Latin America Trauma Study Group. Minimally Invasive Versus Open Surgery for the Treatment of Types B and C Thoracolumbar Injuries: A PRISMA Systematic Review / C.A. Carazzo, R. Yurac, A. Guiroy // *Int. J. Spine Surg.* – 2021. – Vol. 15, N 4. – P. 803-810.

172. Celestre, P.C. Spinopelvic Parameters: Lumbar Lordosis, Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, and Sacral Slope: What Does a Spine Surgeon Need to Know to Plan a Lumbar Deformity Correction? / P.C. Celestre, J.R. Dimar 2nd, S.D. Glassman // *Neurosurg. Clin. N. Am.* – 2018. – Vol. 29, N 3. – P. 323-329.

173. Cengiz, S.L. Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (RCT) randomized controlled study / S.L. Cengiz, E. Kalkan, A. Bayir [et al.] // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2008. – Vol. 128, N 9. – P. 959-966.

174. Chen, F. Multiple parameters for evaluating posterior longitudinal ligaments in thoracolumbar burst fractures / F. Chen, T. Shi, Y. Li [et al.] // *Orthopade.* – 2019. – Vol. 48, N 5. – P. 420-425.

175. Chen, J. Epidemiological features of traumatic spinal cord injury in Guangdong Province, China / J. Chen, Z. Chen, K. Zhang [et al.] // *J. Spinal Cord Med.* – 2021. – Vol. 44, N 2. – P. 276-281.

176. Chen, T. Treatment of thoracolumbar burst fractures by posterior laminotomy decompression and bone grafting via injured vertebrae / T. Chen, L. Long, G. Cao [et al.] // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* – 2014. – Vol. 28, N 10. – P. 1236-1240.

177. Cheng, J. Reliability and reproducibility analysis of the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system by Chinese spinal surgeons / J. Cheng, P. Liu, D. Sun [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2017. – Vol. 26, N 5. – P. 1477-1482.

178. Choo, C.H. Surgical reduction technique (transpedicle) for unstable thoracolumbar burst fractures with retropulsion resulting in severe spinal canal stenosis: a preliminary case report / C.H. Choo, M.K. Kwan, Y.W. Chris Chan // *AME Case Rep.* – 2018. – Vol. 2. – P. 38.
179. Cisewski, S.E. Comparison of Oxygen Consumption Rates of Nondegenerate and Degenerate Human Intervertebral Disc Cells / S.E. Cisewski, Y. Wu, B.J. Damon // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2018. – Vol. 43, N 2. – P. 60-67.
180. Costachescu, B. Analysis of the Classification Systems for Thoracolumbar Fractures in Adults and Their Evolution and Impact on Clinical Management / B. Costachescu, C.E. Popescu, B.F. Iliescu // *J. Clin. Med.* – 2022. – Vol. 11, N 9. – ID 2498. – DOI: 10.3390/jcm11092498.
181. Cotrel, Y. New universal instrumentation in spinal surgery / Y. Cotrel, J. Dubousset, M. Guillaumat // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1988. – N 227. – P. 10-23.
182. Cunha, P.D. The ideal patient positioning in spine surgery: a preventive strategy / P.D. Cunha, T.P. Barbosa, G. Correia [et al.] // *EFORT Open Rev.* – 2023. – Vol. 8, N 2. – P. 63-72.
183. Dai, J. Correlation of bone fragments reposition and related parameters in thoracolumbar burst fractures patients / J. Dai, H. Lin, S. Niu [et al.] // *Int. J. Clin. Med.* – 2015. – Vol. 8, N 7. – P. 11125-11131.
184. De Iure, F. Vertebral body spread in thoracolumbar burst fractures can predict posterior construct failure / F. De Iure, G. Lofrese, P. De Bonis [et al.] // *Spine J.* – 2018. – Vol. 18, N 6. – P. 1005-1013.
185. Deng, Z. The retrospective analysis of posterior short-segment pedicle instrumentation without fusion for thoracolumbar burst fracture with neurological deficit / Z. Deng, H. Zou, L. Cai [et al.] // *Sci. World J.* – 2014. – DOI: 10.1155/2014/457634.
186. Denis, F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries / F. Denis // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1983. – Vol. 8, N 8. – P. 817-831.
187. Dick, W. The “fixateur interne” as a versatile implant for spine surgery / W. Dick // *Spine.* – 1987. – Vol. 12. – P. 882-900.

188. Diotalevi, L. In vitro assessment of the role of the nucleus pulposus in the mechanism of vertebral body fracture under dynamic compressive loading using high-speed cineradiography / L. Diotalevi, E. Wagnac, H. Laurent, Y. Petit // *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* – 2020. – P. 4717-4720.

189. Dobran, M. Treatment of unstable thoracolumbar junction fractures: short-segment pedicle fixation with inclusion of the fracture level versus long-segment instrumentation / M. Dobran, D. Nasi, D. Brunozzi [et al.] // *Acta Neurochir. (Wien)*. – 2016. – Vol. 158, N 10. – P. 1883-1889.

190. Dukes, E.M. Relationship of American Spinal Injury Association Impairment Scale Grade to Post-injury Hospitalization and Costs in Thoracic Spinal Cord Injury / E.M. Dukes, S. Kirshblum, A.A. Aimetti [et al.] // *Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 83, N 3. – P. 445-451.

191. Elmasry, S. Effectiveness of pedicle screw inclusion at the fracture level in short-segment fixation constructs for the treatment of thoracolumbar burst fractures: a computational biomechanics analysis / S. Elmasry, S. Asfour, F. Travascio // *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng.* – 2017. – Vol. 20, N 13. – P. 1412-1420.

192. Fan, Y. A Comparison of the Mini-Open Wiltse Approach with Pedicle Screw Fixation and the Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Neurologically Intact Thoracolumbar Fractures / Y. Fan, J. Zhang, X. He [et al.] // *Med. Sci. Monit.* – 2017. – Vol. 23. – P. 5515-5521.

193. Farcy, J.P. Sagittal index in management of thoracolumbar burst fractures / J.P. Farcy, M. Weidenbaum, S.D. Glassman // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1990. – Vol. 15, N 9. – P. 958-965.

194. Feng, Z. Surgery for severe thoracolumbar fracture dislocation via a posterior approach / Z. Feng, C. Xiaoqing, C. Xiangdong [et al.] // *J. Clin. Neurosci.* – 2015. – Vol. 22, N 12. – P. 1954-1958.

195. Ferguson, R.L. A mechanistic classification of thoracolumbar spine fractures / R.L. Ferguson, B.L Jr. Allen // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1984. – N 189. – P. 77-88.

196. Ferrero, E. Sagittal spinopelvic alignment in 654 degenerative spondylolisthesis / E. Ferrero, M. Ould-Slimane, O. Gille [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2015. – Vol. 24, N 6. – P. 1219-1227.
197. Fletcher, J.G. CT morphometry of adult thoracic intervertebral discs / J.G. Fletcher, M.D. Stringer, C.A. Briggs // *Eur. Spine J.* – 2015. – Vol. 24, N 10. – P. 2321-2329.
198. Formica, M. Which patients risk segmental kyphosis after short segment thoracolumbar fracture fixation with intermediate screws? / M. Formica, L. Cavagnaro, M. Basso // *Injury.* – 2016. – Vol. 47, Suppl 4. – P. 29-34.
199. Fossey, M.P.M. Spinal cord injury impairs cardiac function due to impaired bulbospinal sympathetic control / M.P.M. Fossey, S.J.T. Balthazaar, J.W. Squair [et al.] // *Nat. Commun.* – 2022. – Vol. 13, N 1.–ID 1382. –DOI:10.1038/s41467-022-29066-1.
200. Francaviglia, N. Reconstruction of vertebral body in thoracolumbar AO type A post-traumatic fractures by balloon kyphoplasty: a series of 85 patients with a long follow-up and review of the literature / N. Francaviglia, A. Villa, M. Maiello [et al.] // *J. Neurosurg. Sci.* – 2022. – Vol. 66, N 3. – P. 193-199.
201. Frankel, H.L. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia / H.L. Frankel, D.O. Hancock, G. Hyslop [et al.] // *J. Paraplegia.* – 1969. – Vol. 7, N 3. – P. 179-192.
202. Fredrickson, B.E. Vertebral burst fractures: an experimental, morphologic, and radiographic study / B.E. Fredrickson, WT. Edwards, W. Rauschnig [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 1992. – Vol. 17, N 9. – P. 1012-1021.
203. Furlan, J.C. Sex-related discrepancies in the epidemiology, injury characteristics and outcomes after acute spine trauma: A retrospective cohort study / J.C. Furlan, B.C. Craven, M.G. Fehlings // *J. Spinal Cord Med.* – 2019. – Vol. 42, suppl. – P. 10-20.
204. Fyllos, A.H. Magnetic resonance morphometry of the adult normal lumbar intervertebral space / A.H. Fyllos, D.L. Arvanitis, A.H. Karantanas [et al.] // *Surg. Radiol. Anat.* – 2018. – Vol. 40, N 9. – P. 1055-1061.

205. Gaitanis, I.N. Restoring geometric and loading alignment of the thoracic spine with a vertebral compression fracture: effects of balloon (bone tamp) inflation and spinal extension / I.N. Gaitanis, G. Carandang, F.M. Phillips [et al.] // *Spine J.* – 2005. – Vol. 5, N 1. – P. 45-54.
206. Gamanagatti, S. Imaging evaluation of traumatic thoracolumbar spine injuries: Radiological review / S. Gamanagatti, D. Rathinam, K. Rangarajan [et al.] // *World J. Radiol.* – 2015. – Vol. 7, N 9. – P. 253-265.
207. Gatti, M.A. Demographic and clinical characteristics of individuals with traumatic spinal cord injury in Argentina from 2015 to 2019: a multicenter study / M.A. Gatti, M.P. Sampayo, A. Rolandelli [et al.] // *Spinal Cord Ser. Cases.* – 2020. – Vol. 6, N 1. – P. 109.
208. Giordan, E. Treatment of thoracolumbar burst fractures: SpineJack vs. posterior arthrodesis-comparison of clinical and radiological outcomes / E. Giordan, J. Del Verme, G. Pastorello [et al.] // *J. Spine Surg.* – 2022. – Vol. 8, N 2. – P. 242-253.
209. Giraldo, Y.A. Epidemiology of traumatic spinal cord injuries in Colombia / Y.A. Giraldo, J.L. Castro, M.A. Tovar-Sánchez [et al.] // *Spinal Cord Ser. Cases.* – 2021. – Vol. 7, N 1. – P. 42. – DOI: 10.1038/s41394-021-00408-3.
210. Gómez-Vega, J.C. Open reduction of thoraco-lumbar fractures and sagittal balance correction using Schanz screws / J.C. Gómez-Vega, M.F. Vergara Lago // *Rev. Esp. Cir. Ortop. Traumatol. (Engl. Ed).* – 2021. – Vol. 65, N 3. – P. 229-236.
211. Gonzalvo, A. Correlation between pedicle size and the rate of pedicle screw misplacement in the treatment of thoracic fractures: Can we predict how difficult the task will be? / A. Gonzalvo, G. Fitt, S. Liew [et al.] // *Br. J. Neurosurg.* – 2015. – Vol. 29, N 4. – P. 508-512.
212. Guerra, J. Vertebral burst fractures: CT analysis of the retropulsed fragment / J. Guerra, S.R. Garfin, D. Resnick // *Radiology.* – 1984. – Vol. 153, N 3. – P. 769-772.
213. Guglielmi, G. Vertebral morphometry: current methods and recent advances / G. Guglielmi, D. Diacinti, C. van Kuijk [et al.] // *Eur. Radiol.* – 2008. – Vol. 18, N 7. – P. 1484-1496.

214. Guo, H. A Finite Element Study on the Treatment of Thoracolumbar Fracture with a New Spinal Fixation System / H. Guo, J. Li, Y. Gao [et al.] // *Biomed. Res. Int.* – 2021. – 2021. – ID 8872514. – DOI: 10.1155/2021/8872514.
215. Hachem, L.D. Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation / L.D. Hachem, C.S. Ahuja, M.G. Fehlings // *J. Spinal Cord Med.* – 2017. – Vol. 40, N 6. – P. 665-675.
216. Hadgaonkar, S. A Levering Technique Using Small Parallel Rods for Open Reduction of High-Grade Thoracolumbar Dislocation / S. Hadgaonkar, K. Shah, K. Khurjekar [et al.] // *Global Spine J.* – 2017. – Vol. 7, N 4. – P. 302-308.
217. Haghnegahdar, A. A Randomized Controlled Trial of Early versus Late Surgical Decompression for Thoracic and Thoracolumbar Spinal Cord Injury in 73 Patients / A. Haghnegahdar, R. Behjat, S. Saadat [et al.] // *Neurotrauma Rep.* – 2020. – Vol. 1, N 1. – P. 78-87.
218. Hajewski, C.J. Comparison of a right versus left sided anterior approach to the thoracic and thoracolumbar spine: A case series / C.J. Hajewski, K. Bradburn, B. Boody, R. Sasso // *J. Orthop.* – 2022. – Vol. 33. – P. 5-8.
219. Hajnal, B. New method to apply the lumbar lordosis of standing radiographs to supine CT-based virtual 3D lumbar spine models / B. Hajnal, P.E. Eltes, F. Bereczki [et al.] // *Sci. Rep.* – 2022. – Vol. 12, N 1. – ID 20382. – DOI:10.1038/s41598-022-24570-2.
220. Halvorsen, A. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Norway in 2012-2016: a registry-based cross-sectional study / A. Halvorsen, A.L. Pettersen, S.M. Nilsen [et al.] // *Spinal Cord.* – 2019. – Vol. 57, N 4. – P. 331-338.
221. Han, L. Biomechanical Evaluation of the Cross-link Usage and Position in the Single and Multiple Segment Posterior Lumbar Interbody Fusion / L. Han, H. Yang, Y. Li [et al.] // *Orthop. Surg.* – 2022. – Vol. 14, N 10. – P. 2711-2720.
222. Haririm, O.R. Posterior-only Stabilization for Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures / O.R. Hariri, S. Kashyap, A. Takayanagi [et al.] // *Cureus.* – 2018. – Vol. 10, N 3. – P. e2296. – DOI: 10.7759/cureus.2296.

223. Harrington, P.R. Reduction of severe spondylolisthesis in children / P.R. Harrington, H.S. Tullos // *South Med. J.* – 1969. – Vol. 62. – P. 1–7.

224. Hasegawa, K. Difference in whole spinal alignment between supine and standing positions in patients with adult spinal deformity using a new comparison method with slot-scanning three-dimensional X-ray imager and computed tomography through digital reconstructed radiography / K. Hasegawa, M. Okamoto, S. Hatsushikano [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2018. – Vol. 19, N 1. – P. 437. – DOI: 10.1186/s12891-018-2355-5.

225. Hashemizadeh, S. Novel therapeutic approach to slow down the inflammatory cascade in acute/subacute spinal cord injury: Early immune therapy with lipopolysaccharide enhanced neuroprotective effect of combinational therapy of granulocyte colony-stimulating factor and bone-marrow mesenchymal stem cell in spinal cord injury / S. Hashemizadeh, S. Hosseindoost, A. Omid [et al.] // *Front. Cell Neurosci.* – 2022. – Vol. 16. – ID 993019. – DOI: 10.3389/fncel.2022.993019.

226. Hey, H.W.D. Lumbar Spine Alignment in Six Common Postures: An ROM Analysis With Implications for Deformity Correction / H.W.D. Hey, E.T. Lau, K.A. Tan [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2017. – Vol. 42, N 19. – P. 1447-1455.

227. Hipp, J.A. Definition of Normal Vertebral Morphometry Using NHANES-II Radiographs / J.A. Hipp, T.F. Grieco, P. Newman, C.A. Reitman // *JBMR Plus*. – 2022. – Vol. 6, N 10. – P. e10677. – DOI: 10.1002/jbm4.10677.

228. Hirota, R. Risk Factors for Postoperative Loss of Correction in Thoracolumbar Injuries Caused by High-Energy Trauma Treated via Percutaneous Posterior Stabilization without Bone Fusion / R. Hirota, A. Teramoto, H. Irifune [et al.] // *Medicina (Kaunas)*. – 2022. – Vol. 58, N 5. – P. 583. – DOI: 10.3390/medicina58050583.

229. Hitchon, P.W. Management in Neurologically Intact Thoracolumbar Burst Fractures: Clinical and Radiographic Outcomes / P.W. Hitchon, K. Abode-Iyamah, N.S Dahdaleh // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2016. – Vol. 41, N 6. – P. 483-489.

230. Hoffmann, C. Long-term results after thoracoscopic anterior spondylodesis with or without posterior stabilization of unstable incomplete burst fractures of the

thoracolumbar junction: a prospective cohort study / C. Hoffmann, U.J. Spiegl, R. Paetzold [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2020. – Vol. 15, N 1. – P. 412. – DOI: 10.1186/s13018-020-01807-2.

231. Holdsworth, F. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine / F. Holdsworth // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1970. – Vol. 52, N 8. – P. 1534-1551.

232. Hou, G.J. Risk factors of recurrent kyphosis in thoracolumbar burst fracture patients treated by short segmental pedicle screw fixation / G.J. Hou, F. Zhou, Y. Tian [et al.] // *Beijing Da XueXueBao Yi Xue Ban.* – 2020. – Vol. 53, N 1. – P. 167-174.

233. Hu, Z. Correlations between posterior longitudinal ligament status and size of bone fragment in thoracolumbar burst fractures / Z. Hu, Y. Zhou, N. Li, X. Xie // *Int. J. Clin. Ex.p Med.* – 2015. – Vol. 8, N 2. – P. 2754-2759.

234. Huang, J. Effect of manual reduction and indirect decompression on thoracolumbar burst fracture: a comparison study / J. Huang, L. Zhou, Z. Yan [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2020. – Vol. 15, N 1. – ID 532. DOI: 10.1186/s13018-020-02075-w.

235. Huang, Z. Percutaneous pedicle screw fixation combined with transforaminal endoscopic spinal canal decompression for the treatment of thoracolumbar burst fracture with severe neurologic deficit: A case report / Z. Huang, C. Hu, Y. Tong [et al.] // *Medicine (Baltimore).* – 2020. – Vol. 99, N 21. – P. e20276. – DOI: 10.1097/MD.00000000000020276.

236. Hussain, I. Evolving Navigation, Robotics, and Augmented Reality in Minimally Invasive Spine Surgery / I. Hussain, M. Cosar, S Kirnaz [et al.] // *Global Spine J.* – 2020. – Vol. 10, N 2 Suppl. – P. 22-33.

237. Iliescu, D.M. Anatomic-imaging correlations of lumbar disk-vertebral morphometric indices / D.M. Iliescu, P. Bordel, E.V. Ionescu [et al.] // *Int. J. Morphol.* – 2017. – Vol. 35, N 4. – P. 1553-1559.

238. International standards for neurological and functional classification of spinal cord injuries // International Medical Society of Paraplegia – ASIA/IMSOP, 1992: American Association for Spinal Injuries.

239. Jiang, S.D. Reliability of the measurement of thoracolumbar burst fracture kyphosis with Cobb angle, Gardner angle, and sagittal index / S.D. Jiang, Q.Z. Wu, S.H. Lan, L.Y. Dai // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2012. – Vol. 132, N 2. – P. 221-225.
240. Jiang, Y. A Comparative Study on Functional Recovery, Complications, and Changes in Inflammatory Factors in Patients with Thoracolumbar Spinal Fracture Complicated with Nerve Injury Treated by Anterior and Posterior Decompression / Y. Jiang, F. Wang, X. Yu [et al.] // *Med. Sci. Monit.* – 2019. – Vol. 25. – P. 1164-1168.
241. Jindal, R. Current status of short segment fixation in thoracolumbar spine injuries / R. Jindal, V. Jasani, D. Sandal, S.K. Garg // *J. Clin. Orthop. Trauma.* – 2020. – Vol. 11, N 5. – P. 770-777.
242. Joaquim, A.F. A simplified treatment algorithm for treating thoracic and lumbar spine trauma / A.F. Joaquim, A.A. Patel, G.D. Schroeder, A.R. Vaccaro // *J. Spinal Cord Med.* – 2019. – Vol. 42, N 4. – P. 416-422.
243. Joaquim, A.F. Thoracolumbar Injury Classification and Injury Severity Score System: A Literature Review of Its Safety / A.F. Joaquim, D.C. de Almeida Bastos, H.H. Jorge Torres, A.A. Patel // *Global Spine J.* – 2016. – Vol. 6, N 1. – P. 80-85.
244. Jogia, T. Prognostic value of early leukocyte fluctuations for recovery from traumatic spinal cord injury / T. Jogia, T. Lübstorf, E. Jacobson [et al.] // *Clin. Transl. Med.* – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. e272. – DOI:10.1002/ctm2.272.
245. Johansson, E. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Finland / E. Johansson, T.M. Luoto, A. Vainionpää [et al.] // *Spinal Cord.* – 2021. – Vol. 59, N 7. – P. 761-768.
246. Kanna, R.M. Posterior fixation including the fractured vertebra for severe unstable thoracolumbar fractures / R.M. Kanna, A.P. Shetty, S. Rajasekaran // *Spine J.* – 2015. – Vol. 15, N 2. – P 256-264.
247. Kato, S. Does Surgical Intervention or Timing of Surgery Have an Effect on Neurological Recovery in the Setting of a Thoracolumbar Burst Fracture? / S. Kato, J.C. Murray, B.K. Kwon [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* – 2017. – Vol. 31, Suppl 4. – P. 38-43.

248. Kaur, K. Computed tomographic-based morphometric study of thoracic spine and its relevance to anaesthetic and spinal surgical procedures / K. Kaur, R. Singh, V. Prasath [et al.] // *J. Clin. Orthop. Trauma.* – 2016. – Vol. 7, N 2. – P. 101-108.

249. Kelly, R.P. Treatment of lumbodorsal fracture-dislocations / R.P. Kelly, T.E. Jr. Whitesides // *Ann. Surg.* – 1968. – Vol. 167, N 5. – P. 705-717.

250. Kepler, C.K. Reliability analysis of the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system by a worldwide group of naïve spinal surgeons / C.K. Kepler, A.R. Vaccaro, J.D. Koerner [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2016. – Vol. 25, N 4. – P. 1082-1086.

251. Kerwin, A.J. The effect of early surgical treatment of traumatic spine injuries on patient mortality / A.J. Kerwin, E.R. Frykberg, M.A. Schinco [et al.] // *J. Trauma.* – 2007. – Vol. 63, N 6. – P. 1308-1313.

252. Keynan, O. Radiographic measurement parameters in thoracolumbar fractures: a systematic review and consensus statement of the spine trauma study group / O. Keynan, C.G. Fisher, A. Vaccaro [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2006. – Vol. 31, N 5. – P. 156-165.

253. Khorasanizadeh, M. Neurological recovery following traumatic spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis / M. Khorasanizadeh, M. Yousefifard, M. Eskian [et al.] // *J. Neurosurg. Spine.* – 2019. – P. 1-17.

254. Kim, H.S. Comparison of surgical outcomes in thoracolumbar fractures operated with posterior constructs having varying fixation length with selective anterior fusion / H.S. Kim, S.Y. Lee, A. Nanda [et al.] // *Yonsei Med. J.* – 2009. – Vol. 50, N 4. – P. 546-554.

255. Kirshblum, S. Characterizing Natural Recovery after Traumatic Spinal Cord Injury / S. Kirshblum, B. Snider, F. Eren, J. Guest // *J. Neurotrauma.* – 2021. – Vol. 38, N 9. – P. 1267-1284.

256. Kirshblum, S. International Standards Committee of ASIA and ISCoS. Updates of the International Standards for Neurologic Classification of Spinal Cord Injury: 2015 and 2019 / S. Kirshblum, B. Snider, R. Rupp, M.S. Read // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* – 2020. – Vol. 31, N 3. – P. 319-330.

257. Kitamura, K. Temporary Monosegmental Fixation Using Multiaxial Percutaneous Pedicle Screws for Surgical Management of Bony Flexion-Distraktion Injuries of the Thoracolumbar Spine: A Technical Note / K. Kitamura, K. Fukuda, Y. Takahashi [et al.] // Spine Surg. Relat. Res. – 2022. – Vol. 6, N 6. – P. 711-716.

258. Kluger, P. Das Fixateurprinzip an der Rumpfwirbelsaul-Sain Einsatz beim kombinieren ventralen und dorsalen Eingriff / P. Kluger // Fixateur Externe – Fixateur Interne. – Berlin: Springer, 1989. – P. 36–58.

259. Koller, H. Long-term investigation of nonsurgical treatment for thoracolumbar and lumbar burst fractures: an outcome analysis in sight of spinopelvic balance / H. Koller, F. Acosta, A. Hempfing [et al.] // Eur. Spine J. – 2008. – Vol. 17, N 8. – P. 1073-1095.

260. Korovessis, P. Combined anterior plus posterior stabilization versus posterior short-segment instrumentation and fusion for mid-lumbar (L2-L4) burst fractures / P. Korovessis, A. Baikousis, S. Zacharatos [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2006. – Vol. 31, N 8. – P. 859-868.

261. Kose, K.C. Short segment pedicle screw instrumentation with an index level screw and cantilevered hyperlordotic reduction in the treatment of type-A fractures of the thoracolumbar spine / K.C. Kose, M.E. Inanmaz, C. Isik [et al.] // Bone Joint J. – 2014. – Vol. 96-B, N 4. – P. 541-547.

262. Kuklo, T.R. Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis: evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability / T.R. Kuklo, D.W. Polly, B.D. Owens [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2001. – Vol. 26, N 1. – P. 61-65.

263. Kumar, S. Thoracolumbar fracture dislocation , N AO type C injury: A systematic review of surgical reduction techniques / S. Kumar, M.K. Patralekh, T. Boruah [et al.] // J. Clin. Orthop. Trauma. – 2020. - Vol. 11, N 5. – P. 730-741.

264. Kwon, S.M. Computed Tomographic Assessment of Sagittal Plane Alignment of the Thoracolumbar Junction in a Young Adult Korean Population / S.M. Kwon, H.J. Chun, H.J. Yi [et al.] // World Neurosurg. – 2019. – Vol. 121. – P. 351-357.

265. La Barbera, L. ASTM F1717 standard for the preclinical evaluation of posterior spinal fixators: can we improve it? / L. La Barbera, F. Galbusera, T. Villa [et al.] // *Proc. Inst. Mech. Eng. H.* – 2014. – Vol. 228, N 10. – P. 1014-1026.
266. La Maida, G.A. Monosegmental vs bisegmental pedicle fixation for the treatment of thoracolumbar spine fractures / G.A. La Maida, F. Luceri, M. Ferraro [et al.] // *Injury.* – 2016. – Vol. 47, Suppl 4. – P. 35-43.
267. Lafage, R. Understanding Thoracic Spine Morphology, Shape, and Proportionality / R. Lafage, J. Steinberger, S. Pesenti [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2020. – Vol. 45, N 3. – P. 149-157.
268. Lavecchia, C.E. Lumbar model generator: a tool for the automated generation of a parametric scalable model of the lumbar spine / C.E. Lavecchia, D.M. Espino, K.M. Moerman [et al.] // *J. R. Soc. Interface.* – 2018. – Vol. 15, N 138. – ID 20170829. – DOI: 10.1098/rsif.2017.0829.
269. Lee, B.B. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate / B.B. Lee, R.A. Cripps, M. Fitzharris, P.C. Wing // *Spinal Cord.* – 2014. – Vol. 52, N 2. – P. 110-116.
270. Lee, J.C. Adjacent Segment Pathology after Lumbar Spinal Fusion / J.C. Lee, S.W. Choi // *Asian Spine J.* – 2015. – Vol. 9, N 5. – P. 807-817.
271. Leferink, V.J. Burst fractures of the thoracolumbar spine: changes of the spinal canal during operative treatment and follow-up / V.J. Leferink, J.M. Nijboer, K.W. Zimmerman [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2003. – Vol. 12, N 3. – P. 255-260.
272. Lentle, B.C. Gender and the recognition of vertebral fractures / B.C. Lentle // *Quant. Imag. Med. Surg.* – 2020. – Vol. 10, N 6. – P. 1401-1407.
273. Levasseur, A. Are early clinical manifestations of spasticity associated with long-term functional outcome following spinal cord injury? A retrospective study / A. Levasseur, J.M. Mac-Thiong, A. Richard-Denis // *Spinal Cord.* – 2021. – Vol. 59, N 8. – P. 910-916.
274. Li, C. Unilateral Wiltse intermuscular approach and contralateral decompression for the treatment of thoracolumbar burst fracture / C. Li, J. Wang, H.L. Teng [et al.] // *Zhongguo Gu Shang.* – 2017. – Vol. 30, N 5. – P. 453-457.

275. Li, J. Treating Lumbar Fracture Using the Mixed Reality Technique / J. Li, H. Zhang, Q. Li [et al.] // *Biomed. Res. Int.* – 2021. – N 6620746. – DOI: 10.1155/2021/6620746.

276. Li, W.J. Influence of different postures under vertical impact load on thoracolumbar burst fracture / W.J. Li, L.X. Guo // *Med. Biol. Eng. Comput.* – 2020. – Vol. 58, N 11. – P. 2725-2736.

277. Li, Y. Stepwise resection of the posterior ligamentous complex for stability of a thoracolumbar compression fracture: An in vitro biomechanical investigation / Y. Li, Z. Shen, M. Huang, X. Wang // *Medicine (Baltimore)*. – 2017. – Vol. 96, N 35. – P. e7873. – DOI: 10.1097/MD.0000000000007873.

278. Liao, J.C. Treatment of thoracolumbar burst fractures by short-segment pedicle screw fixation using a combination of two additional pedicle screws and vertebroplasty at the level of the fracture: a finite element analysis / J.C. Liao, W.P. Chen, H. Wang // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2017. – Vol. 18, N 1. – P. 262. – DOI: 10.1186/s12891-017-1623-0.

279. Lindtner, R.A. Monosegmental anterior column reconstruction using an expandable vertebral body replacement device in combined posterior-anterior stabilization of thoracolumbar burst fractures / R.A. Lindtner, M. Mueller, R. Schmid [et al.] // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2018. – Vol. 138, N 7. – P. 939-951.

280. Linhares, D. Análise da Revisão Cochrane: Fixação com Parafusos Pediculares de Fraturas Traumáticas da Coluna Vertebral Torácica e Lombar. *Cochrane Database Syst Rev* / D. Linhares, N. Neves, M. Ribeiro da Silva, J. Almeida Fonseca // *Acta Med. Port.* – 2016. – Vol. 29, N 5. – P. 297-300.

281. Liu, F.Y. Modified grade 4 osteotomy for the correction of post-traumatic thoracolumbar kyphosis: A retrospective study of 42 patients / F.Y. Liu, Z.F. Gu, Z.Q. Zhao [et al.] // *Medicine (Baltimore)*. – 2020. – Vol. 99, N 37. – P. e22204. – DOI: 10.1097/MD.00000000000022204.

282. Liu, J. Epidemiological features of traumatic spinal cord injury in Beijing, China / J. Liu, HW. Liu, F Gao [et al.] // *J. Spinal Cord Med.* – 2020. – Vol. 45, N 2. – P. 1-7.

283. Lorente, R. Safety and utility of implant removal after percutaneous osteosynthesis of type A thoracolumbar and lumbar fracture / R. Lorente, P. Palacios, A. Vaccaro [et al.] // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2021. – Vol. 107, N 7. – ID 102740. – DOI: 10.1016/j.otsr.2020.08.013.

284. Machino, M. Age-related degenerative changes and sex-specific differences in osseous anatomy and intervertebral disc height of the thoracolumbar spine / M. Machino, H. Nakashima, K. Ito [et al.] // *J. Clin. Neurosci.* – 2021. – Vol. 90. – P. 317-324.

285. Machino, M. Dynamic changes in longitudinal stretching of the spinal cord in thoracic spine: Focus on the spinal cord occupation rate of dural sac / M. Machino, D. Morita, K. Ando [et al.] // *Clin. Neurol. Neurosurg.* – 2020. – Vol. 198. – ID 106225. – DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.106225.

286. Magerl, F. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries / F. Magerl, M. Aebi, S.D. Gertzbein [et al.] // *Eur. Spine J.* – 1994. – Vol. 3, N 4. – P. 184-201.

287. Magerl, F. External spinal skeletal fixation / F. Magerl // *Fixateur Externe – Fixateur Interne*. – New York: Springer-Verlag, 1985. – P. 290-370.

288. Malhotra, D. Instrumentation of the posterior thoracolumbar spine: from wires to pedicle screws / D. Malhotra, S. Kalb, N. Rodriguez-Martinez // *Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 10, Suppl 4. – P. 497-504.

289. Marie-Hardy, L. Evaluation of disc degeneration adjacent to AO spine A fractures: pre- and post-operative MRI analysis / L. Marie-Hardy, N. Barut, H. Sari Ali [et al.] // *SICOT J.* – 2020. – Vol. 6. – P. 33. – DOI:10.1051/sicotj/2020032.

290. Marino, R.J. Trends in Rates of ASIA Impairment Scale Conversion in Traumatic Complete Spinal Cord Injury / R.J. Marino, M. Leff, D.D. Cardenas [et al.] // *Neurotrauma Rep.* – 2020. – Vol. 1, N 1. – P. 192-200.

291. Mavrych, V. Age-Related Changes of Lumbar Vertebral Body Morphometry / V. Mavrych, O. Bolgova, P. Ganguly, S. Kashchenko // *Austin J. Anat.* – 2014. – Vol. 1, N 3. – P. 1014.

292. Mayer, M. Impact of Sagittal Balance on Clinical Outcomes in Surgically Treated T12 and L1 Burst Fractures: Analysis of Long-Term Outcomes after Posterior-Only and Combined Posteroanterior Treatment / M. Mayer, R. Ortmaier, H. Koller [et al.] // *Biomed. Res. Int.* – 2017. – ID 1568258. – DOI: 10.1155/2017/1568258.

293. McAfee, P.C. The value of computed tomography in thoracolumbar fractures. An analysis of one hundred consecutive cases and a new classification / P.C. McAfee, H.A. Yuan, B.E. Fredrickson, J.P. Lubicky // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1983. – Vol. 65, N 4. – P. 461-473.

294. McCormack, T. The load sharing classification of spine fractures / T. McCormack, E. Karaikovic, R.W. Gaines // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1994. – Vol. 19, N 15. – P. 1741-1744.

295. McDonnell, M. Biomechanical Analysis of Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures / M. McDonnell, K.N. Shah, D.J. Paller [et al.] // *Orthopedics*. – 2016. – Vol. 39, N 3. – P. 514-518.

296. Milicevic, S. Analysis of the factors influencing functional outcomes in patients with spinal cord injury / S. Milicevic, V. Piscevic, Z. Bukumiric // *J. Phys. Ther. Sci.* – 2014. – Vol. 26, N 1. – P. 67-71.

297. Misir, A. Lumbar spine posture and spinopelvic parameters change in various standing and sitting postures / A. Misir, T.B. Kizkapan, S.K. Tas [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2019. – Vol. 28, N 5. – P. 1072-1081.

298. Mitchell, J. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in New Zealand (2007-2016) / J. Mitchell, J. Nunnerley, C. Frampton [et al.] // *N. Z. Med. J.* – 2020. – Vol. 133, N 1509. – P. 47-57.

299. Miyashita, T. Clinical results of posterior stabilization without decompression for thoracolumbar burst fractures: is decompression necessary? / T. Miyashita, H. Ataka, T. Tanno // *Neurosurg. Rev.* – 2012. – Vol. 35, N 3. – P. 447-454.

300. Mohi Eldin, M.M. Lumbar transpedicular implant failure: a clinical and surgical challenge and its radiological assessment / M.M. Mohi Eldin, A.M. Ali // *Asian Spine J.* – 2014. – Vol. 8, N 3. – P. 281-297.

301. Morita, D. Dynamic changes in the cross-sectional area of the dural sac and spinal cord in the thoracic spine / D. Morita, Y. Yukawa, H. Nakashima [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2017. – Vol. 26, N 1. – P. 64-70.
302. Morita, D. Range of motion of thoracic spine in sagittal plane / D. Morita, Y. Yukawa, H. Nakashima [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2014. – Vol. 23, N 3. – P. 673-678.
303. Mulcahy, M.J. Orthosis versus no orthosis for the treatment of thoracolumbar burst fractures: A systematic review / M.J. Mulcahy, A. Dower, M. Tait // *J. Clin. Neurosci.* – 2021. – Vol. 85. – P. 49-56.
304. Ning, L. Vertebral heights and ratios are not only race-specific, but also gender- and region-specific: establishment of reference values for mainland Chinese / L. Ning, L.J. Song, S.W. Fan [et al.] // *Arch. Osteoporosis* – 2017. – Vol. 12, N 1. – P. 88. – DOI: 10.1007/s11657-017-0383-7.
305. Qiu, C. The Comparison between Spinal Facet Joint Toothed Plate and Traditional Pedicle Screw-rod on Reduction of Thoracolumbar Fracture / C. Qiu, L. Cheng, J. Liu [et al.] // *Orthop Surg.* – 2024. – Vol. 16, N 7. – P. 1592-1602.
306. Okada, E. Ten-year Longitudinal Follow-up MRI Study of Age-related Changes in Thoracic Intervertebral Discs in Asymptomatic Subjects / E. Okada, K. Daimon, H. Fujiwara [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2019. – Vol. 44, N 22. – P. 1317-1324.
307. Olivares, O.B. Preoperative and Postoperative Sagittal Alignment and Compensatory Mechanisms in Patients With Posttraumatic Thoracolumbar Deformities Who Undergo Corrective Surgeries / O.B. Olivares, M.V. Carrasco, G.I. Pinto [et al.] // *Int. J. Spine Surg.* – 2021. – Vol. 15, N 3. – P. 585-590.
308. Padalkar, P. Bi-Pedicle Fixation of Affected Vertebra in Thoracolumbar Burst Fracture / P. Padalkar, V. Mehta // *J. Clin. Diagn. Res.* – 2017. – Vol. 11, N 4. – P. 4-7.
309. Panjabi, M.M. Thoracolumbar burst fracture. A biomechanical investigation of its multidirectional flexibility / M.M. Panjabi, T.R. Oxland, R.M. Lin, T.W. McGowen // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1994. – Vol. 19, N 5. – P. 578-585.

310. Park, K.H. The Association Between Sagittal Plane Alignment and Disc Space Narrowing of Lumbar Spine in Farmers / K.H. Park, S. Baek, E.K. Kang // *Ann. Rehabil. Med.* – 2021. – Vol. 45, N 4. – P. 294-303.
311. Payer, M. Unstable burst fractures of the thoraco-lumbar junction: treatment by posterior bisegmental correction/fixation and staged anterior corpectomy and titanium cage implantation / M. Payer // *Acta Neurochir (Wien)*. – 2006. – Vol. 148, N 3. – P. 299-306.
312. Pellisé, F. Viability and long-term survival of short-segment posterior fixation in thoracolumbar burst fractures / F. Pellisé, D. Barastegui, A. Hernandez-Fernandez [et al.] // *Spine J.* – 2015. – Vol. 15, N 8. – P. 1796-1803.
313. Peng, Y. Relationship between fracture-relevant parameters of thoracolumbar burst fractures and the reduction of intra-canal fracture fragment / Y. Peng, L. Zhang, T. Shi [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2015. – Vol. 10. – P. 131. – DOI: 10.1186/s13018-015-0260-2.
314. Perry, T.G. Biomechanical evaluation of a simulated T-9 burst fracture of the thoracic spine with an intact rib cage / T.G. Perry, P. Mageswaran, R.W. Colbrunn [et al.] // *J. Neurosurg. Spine.* – 2014. – Vol. 21, N 3. – P. 481-488.
315. Piazza, M. Timing of Surgery After Spinal Cord Injury / M. Piazza, J. Schuster // *Neurosurg. Clin. N. Am.* – 2017. – Vol. 28, N 1. – P. 31-39.
316. Piccone, L. Thoracolumbar burst fractures associated with incomplete neurological deficit in patients under the age of 40: Is the posterior approach enough? Surgical treatment and results in a case series of 10 patients with a minimum follow-up of 2 years / L. Piccone, V. Cipolloni, LA. Nasto [et al.] // *Injury.* – 2020. – Vol. 51, N 2. – P. 312-316.
317. Pishnamaz, M. Posttraumatic deformity of the thoracolumbar spine / M. Pishnamaz, M. Scholz, P.D. Trobisch [et al.] // *Unfallchirurg.* – 2020. – Vol. 123, N 2. – P. 143-154.
318. Quadri, S.A. Recent update on basic mechanisms of spinal cord injury / S.A. Quadri, M. Farooqui, A. Ikram [et al.] // *Neurosurg Rev.* – 2020. – Vol. 43, N 2. – P. 425-441.

319. Rajasekaran, S. The value of CT and MRI in the classification and surgical decision-making among spine surgeons in thoracolumbar spinal injuries / S. Rajasekaran, A.R. Vaccaro, R.M. Kanna [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2017. – Vol. 26, N 5. – P. 1463-1469.
320. Rau, Y. Incidence of spinal cord injuries in Germany / Y. Rau, A.P. Schulz, R. Thietje [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2022. – Vol. 32, N 2. – P. 1-7.
321. Reduction techniques for type C fractures. AO surgery reference, spine section, thoracic and lumbar trauma-C, posterior long segment fixation. – URL: <https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma/thoracolumbar/c/posterior-long-segment-fixation-c>
322. Reinhold, M. Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, Internet-based multicenter study of the Spine Study Group of the German Association of Trauma Surgery / M. Reinhold, C. Knop, R. Beisse [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2010. – Vol. 19, N 10. – P. 1657-1676.
323. Ren, E.H. Anterior versus posterior decompression for the treatment of thoracolumbar fractures with spinal cord injury: a Meta-analysis / E.H. Ren, Y.J. Deng, Q.Q. Xie [et al.] // *Zhongguo Gu Shang.* – 2019. – Vol. 32, N 3. – P. 269-277.
324. Rezvani, M. In-Fracture Pedicular Screw Placement During Ligamentotaxis Following Traumatic Spine Injuries, a Randomized Clinical Trial on Outcomes / M. Rezvani, J. Asadi, A. Sourani [et al.] // *Korean J. Neurotrauma.* – 2023. – Vol. 19, N 1. – P. 90-102.
325. Richter, P.H. Application of navigation in the fractured spine / P.H. Richter, F. Gebhard // *Oper. Orthop. Traumatol.* – 2022. – DOI: 10.1007/s00064-022-00790-7.
326. Roberts, T.T. Classifications In Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale / T.T. Roberts, G.R. Leonard, D.J. Cepela // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2017. – Vol. 475, N 5. – P. 1499-1504.
327. Roussouly, P. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position / P. Roussouly, S. Gollogly, E. Berthonnaud, J. Dimnet // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2005. – Vol. 30, N 3. – P. 346-353.

328. Roy-Camille, R. Osteosynthese du rachis dorsal, lombaire et lombo-sacre par plaques metalliques vissees dans les pedicules vertebraux et les apophyses articulaires / R. Roy-Camille, C. Demeulenaere // Presse Med. – 1970. – N 78. – P. 1447-1448.

329. Sabre, L. Mortality and causes of death after traumatic spinal cord injury in Estonia / L. Sabre, T. Rekand, T. Asser, J. Kõrv // J. Spinal Cord Med. – 2013. – Vol. 36, N 6. – P. 687-694.

330. Salaud, C. Morphometric study of the posterior longitudinal ligament at the lumbar spine / C. Salaud, S. Ploteau, O. Hamel [et al.] // Surg. Radiol. Anat. – 2018. – Vol. 40, N 5. – P. 563-569.

331. Saruta, W. Transdural reduction of a bone fragment protruding into the spinal canal during surgical treatment of lumbar burst fracture: A case report / W. Saruta, T. Takahashi, T. Kumabe [et al.] // Surg. Neurol. Int. – 2021. – Vol. 12. – P. 406. – DOI:10.25259/SNI_611_2021.

332. Seng, W.R.D. Pedicle Screw Designs in Spinal Surgery: Is There a Difference? A Biomechanical Study on Primary and Revision Pull-Out Strength / W.R.D. Seng, S.M. Chou, S.S. Siddiqui, J.Y.L. Oh // Spine (Phila Pa 1976). – 2019. – Vol. 44, N 3. – P. 144-149.

333. Shang, J. Biomechanical effects of pedicle screw adjustments on the thoracolumbar burst fractures / J. Shang, X.D. Ling, Y.C. Liu [et al.] // Chin. Med. J. (Engl). – 2013. – Vol. 126, N 2. – P. 300-305.

334. Sharif, S. Outcome Prediction in Spinal Cord Injury: Myth or Reality / S. Sharif, M.Y. Jazaib Ali // World Neurosurg. – 2020. – N 140. – P. 574-590.

335. Shlobin, N.A. Spinal neurovascular complications with anterior thoracolumbar spine surgery: a systematic review and review of thoracolumbar vascular anatomy / N.A. Shlobin, E. Raz, M. Shapiro [et al.] // Neurosurg. Focus. – 2020. – Vol. 49, N 3. – P. 9. – DOI: 10.3171/2020.6.FOCUS20373.

336. Song, Y. Finite element analysis of the indirect reduction of posterior pedicle screw fixation for a thoracolumbar burst fracture / Y. Song, X. Pang, F. Zhu // Medicine (Baltimore). – 2022. – Vol. 101, N 41. – 30965. – DOI:10.1097/MD.0000000000030965.

337. Sousa, A. Early Versus Late Spine Surgery in Severely Injured Patients- Which Is the Appropriate Timing for Surgery? / A. Sousa, C. Rodrigues, L. Barros [et al.] // *Global Spine J.* – 2022. – Vol. 12, N 8. – P. 1781-1785.

338. Spiegl, U.J. Biomechanics and clinical outcome after posterior stabilization of mid-thoracic vertebral body fractures: a systematic literature review / U.J. Spiegl, G. Osterhoff, P. Bula [et al.] // *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* – 2021. – Vol. 47, N 5. – P. 1389-1398.

339. Spiegl, U.J.A. Traumatic Fractures of the Thoracic Spine / U.J.A. Spiegl, K.J. Schnake, F. Hartmann [et al.] // *Z. Orthop. Unfall.* – 2021. – Vol. 159, N 4. – P. 373-382.

340. Starlinger, J. Bisegmental posterior stabilisation of thoracolumbar fractures with polyaxial pedicle screws: Does additional balloon kyphoplasty retain vertebral height? / J. Starlinger, G. Lorenz, A. Fochtmann-Frana, K. Sarahrudi // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15, N 5. – P. e0233240. – DOI: 10.1371/journal.pone.0233240.

341. Steffee, A.D. Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine / A.D. Steffee, R.S. Bicsup, D.J. Sitkowski // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1986. – N 203. – P. 45-53.

342. Su, Q. 3D Computed Tomography Mapping of Thoracolumbar Vertebrae Fractures / Q. Su, Y. Zhang, S. Liao [et al.] // *Med Sci Monit.* – 2019, N 25. – P. 2802-2810.

343. Su, Q. Analysis and improvement of the three-column spinal theory / Q. Su, C. Li, Y. Li [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2020. – Vol. 21, N 1. – P. 537.

344. Sun, Y. Comparison of manual versus automated measurement of Cobb angle in idiopathic scoliosis based on a deep learning keypoint detection technology / Y. Sun, Y. Xing, Z. Zhao [et al.] // *Eur Spine J.* – 2022. – Vol. 31, N 8. – P. 1969 - 1978.

345. Szkoda-Poliszuk, K. A Comparative Biomechanical Analysis of the Impact of Different Configurations of Pedicle-Screw-Based Fixation in Thoracolumbar Compression Fracture / K. Szkoda-Poliszuk, R. Załuski // *Appl. Bionics Biomech.* – 2022. – N 3817097. – DOI: 10.1155/2022/3817097.

346. Tachibana, N. Preventive Effect of Dynamic Stabilization Against Adjacent Segment Degeneration After Posterior Lumbar Interbody Fusion / N. Tachibana, N. Kawamura, D. Kobayashi [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2017. – Vol. 42, N 1. – P. 25-32.
347. Tan, J. Correlations between posterior longitudinal injury and parameters of vertebral body damage / J. Tan, L. Shen, L. Fang [et al.] // *J. Surg. Res.* – 2015. – Vol. 199, N 2. – P. 552-556.
348. Tan, T. Anterior versus posterior approach in the management of AO Type B1 & B2 traumatic thoracolumbar fractures: A level 1 trauma centre study / T. Tan, M.S. Huang, J. Mathew [et al.] // *J. Clin. Neurosci.* – 2020. – Vol. 72. – P. 219-223.
349. Ter Wengel, P.V. Complete Traumatic Spinal Cord Injury: Current Insights Regarding Timing of Surgery and Level of Injury / P.V. Ter Wengel, Y. De Haan, R.E. Feller [et al.] // *Global Spine J.* – 2020. – Vol. 10, N 3. – P. 324-331.
350. Toyone, T. Short-segment fixation without fusion for thoracolumbar burst fractures with neurological deficit can preserve thoracolumbar motion without resulting in post-traumatic disc degeneration: a 10-year follow-up study / T. Toyone, T. Ozawa, K. Inada [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2013. – Vol. 38, N 17. – P. 1482-1490.
351. Ullrich, B.W. Local spinal profile following operative treatment of thoracolumbar and lumbar fractures : Impact of reduction technique and bone quality / B.W. Ullrich, M. Ottich, A. Lawson McLean [et al.] // *Unfallchirurg*. – 2022. – Vol. 125, N 4. – P. 295-304.
352. Ulmar, B. Inter- and intraobserver reliability of the vertebral, local and segmental kyphosis in 120 traumatic lumbar and thoracic burst fractures: evaluation in lateral X-rays and sagittal computed tomographies / B. Ulmar, A. Brunner, M. Gühring [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2010. – Vol. 19, N 4. – P. 558-566.
353. Vaccaro, A.R. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status / A.R. Vaccaro, R.A. Jr. Lehman, R.J. Hurlbert [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2005. – Vol. 30, N 20. – P. 2325-2333.

354. Vaccaro, A.R. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers / A.R. Vaccaro, C. Oner, C.K. Kepler [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2013. – Vol. 38, N 23. – P. 2028-2037.

355. Vaccaro, A.R. The surgical algorithm for the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system / A.R. Vaccaro, G.D. Schroeder, C.K. Kepler [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2016. – Vol. 25, N 4. – P. 1087-1094.

356. Venier, A. Armed Kyphoplasty: An Indirect Central Canal Decompression Technique in Burst Fractures / A. Venier, L. Roccatagliata, M. Isalberti [et al.] // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* – 2019. – Vol. 40, N 11. – P. 1965-1972.

357. Verheyden, A.P. Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries / A.P. Verheyden, A. Hölzl, H. Ekkerlein [et al.] // *Unfallchirurg.* – 2011. – Vol. 114, N 1. – P. 9-16.

358. Verheyden, A.P. Treatment of Fractures of the Thoracolumbar Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU) / A.P. Verheyden, U.J. Spiegel, H. Ekkerlein [et al.] // *Global Spine J.* – 2018. – Vol. 8, 2 Suppl. – P. 34-45.

359. Vialle, R. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects / R. Vialle, N. Levassor, L. Rillardon [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2005. – Vol. 87, N 2. – P. 260-267.

360. Wälchli, B. Loss of correction after dorsal stabilization of burst fractures of the thoracolumbar junction. The role of transpedicular spongiosa plasty / B. Wälchli, P. Heini, U. Berlemann // *Unfallchirurg.* – 2001. – Vol. 104, N 8. – P. 742-747.

361. Wang, F. MRI May Serve as a Valid Alternative to Standing Radiography in Evaluating the Sagittal Alignment of the Upper Thoracic Spine / F. Wang, X. Sun, S. Mao [et al.] // *Clin. Spine Surg.* – 2017. – Vol. 30, N 3. – P. 124-128.

362. Wang, H. Comparison of short-segment monoaxial and polyaxial pedicle screw fixation combined with intermediate screws in traumatic thoracolumbar fractures: a finite element study and clinical radiographic review / H. Wang, Y. Zhao, Z. Mo [et al.] // *Clinics (Sao Paulo)*. – 2017. – Vol. 72, N 10. – P. 609-617.

363. Wang, J. Measurement of scoliosis Cobb angle by end vertebra tilt angle method / J. Wang, J. Zhang, R. Xu [et al.] // *J Orthop Surg Res.* – 2018. – Vol. 13, N1. – P. 223-229.
364. Wang, T. The efficacy and safety of anterior versus posterior approach for the treatment of thoracolumbar burst fractures: a systematic review and meta-analysis / T. Wang, Z. Wang, P. Ji [et al.] // *Ann. Transl. Med.* – 2022. – Vol. 10, N 6. – P. 309. – DOI: 10.21037/atm-22-903.
365. Wang, W. External spinal skeletal fixation combination with percutaneous injury vertebra bone grafting in the treatment of thoracolumbar fractures / W. Wang, N. Yao, X. Song [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2011. – Vol. 36, N 9. – P. 606-611.
366. Wang, X.B. Posterior Distraction and Instrumentation Cannot Always Reduce Displaced and Rotated Posterosuperior Fracture Fragments in Thoracolumbar Burst Fracture / X.B. Wang, G.H. Lü, J. Li [et al.] // *Clin. Spine Surg.* – 2017. – Vol. 30, N 3. – P. 317-322.
367. Wang, X.Y. Biomechanical effect of the extent of vertebral body fracture on the thoracolumbar spine with pedicle screw fixation: an in vitro study / X.Y. Wang, L.Y. Dai, H.Z. Xu // *J. Clin. Neurosci.* – 2008. – Vol. 15, N 3. – P. 286-290.
368. Wang, Y. Morphometric measurement of lumbar pedicle in different regions: a systematic review / Y. Wang, A. Kahaer, W. Shi [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2023. – Vol. 18, N 1. – P. 30. – DOI: 10.1186/s13018-023-03499-w.
369. Ware, J.E. Jr. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection / J.E. Ware Jr., C.D. Sherbourne // *Med. Care.* – 1992. – Vol. 30, N 6. – P. 473-483.
370. Watkins, R.G. Comparisons of preoperative and postoperative MMPI data in chronic back patients / R.G. Watkins, J.P. O'Brien, R. Draugelis, D. Jones // *Spine (Phila Pa 1976).* – 1986. – Vol. 11, N 4. – P. 385-390.
371. Weidling, M. Influence of thread design on anchorage of pedicle screws in cancellous bone: an experimental and analytical analysis / M. Weidling, M. Heilemann, S. Schoenfelder, C.E. Heyde // *Sci. Rep.* – 2022. – Vol. 12, N 1. – ID 8051. – DOI: 10.1038/s41598-022-11824-2.

372. Whang, P.G. Thoracolumbar fracture: posterior instrumentation using distraction and ligamentotaxis reduction / P.G. Whang, A.R. Vaccaro // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2007. – Vol. 15, N 11. – P. 695-701.

373. Wong, C.E. Optimization of Spinal Reconstructions for Thoracolumbar Burst Fractures to Prevent Proximal Junctional Complications: A Finite Element Study / C.E. Wong, H.T. Hu, Y.H. Huang, K.Y. Huang // *Bioengineering (Basel)*. – 2022. – Vol. 9, N 10. – P. 491. – DOI: 10.3390/bioengineering9100491.

374. Wu, Y. The stability of long-segment and short-segment fixation for treating severe burst fractures at the thoracolumbar junction in osteoporotic bone: A finite element analysis / Y. Wu, C.H. Chen, F.Y. Tsuang [et al.] // *PLoS One*. – 2019. – Vol. 14, N 2. – P. e0211676.

375. Xiong, C. Effect of the short-segment internal fixation with intermediate inclined-angle polyaxial screw at the fractured vertebra on the treatment of Denis type B thoracolumbar fracture / C. Xiong, B. Huang, T. Wei [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2020. – Vol. 15, N 1. – ID 182. – DOI: 10.1186/s13018-020-01686-7.

376. Xu, G.J. Anterior versus posterior approach for treatment of thoracolumbar burst fractures: a meta-analysis / G.J. Xu, Z.J. Li, J.X. Ma [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2013. – Vol. 22, N 10. – P. 2176-2183.

377. Yamada, H. Strength of biological materials / H. Yamada, F.G. Evans. – Hingtington (N.Y.): Krieger, 1973.

378. Yaman, O. Kyphosis After Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations / O. Yaman, M. Zileli, S. Şentürk [et al.] // *Neurospine*. – 2021. – Vol. 18, N 4. – P. 681-692.

379. Ye, C. Comparing the efficacy of short-segment pedicle screw instrumentation with and without intermediate screws for treating unstable thoracolumbar fractures / C. Ye, Z. Luo, X. Yu [et al.] // *Medicine (Baltimore)*. – 2017. – Vol. 96, N 34. – e7893. – DOI: 10.1097/MD.0000000000007893.

380. Yoshihara, H. Indirect decompression in spinal surgery / H. Yoshihara // *J. Clin. Neurosci.* – 2017. – Vol. 44. – P. 63-68.

381. Yuan, L. Surgical consideration for thoracolumbar burst fractures with spinal canal compromise without neurological deficit / L. Yuan, S. Yang, Y. Luo [et al.] // *J. Orthop. Translat.* – 2019. – Vol. 21. – P. 8-12.
382. Yue, J.K. Update on critical care for acute spinal cord injury in the setting of polytrauma / J.K. Yue, EA. Winkler, J.W. Rick [et al.] // *Neurosurg. Focus.* – 2017. – Vol. 43, N 5. – ID 19. – DOI: 10.3171/2017.7.FOCUS17396.
383. Yüksel, M.O. The Association between Sagittal Index, Canal Compromise, Loss of Vertebral Body Height, and Severity of Spinal Cord Injury in Thoracolumbar Burst Fractures / M.O. Yüksel, M.S. Gürbüz, Ş. Gök [et al.] // *J. Neurosci. Rural Pract.* – 2016. – Vol. 7, N Suppl 1. – P. 57-61.
384. Zaidi, Q. Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature / Q. Zaidi, O.A. Danisa, W.Cheng // *Spine.* – 2019. – Vol. 15, N 44. – P. E239-E244.
385. Zappalá, M. The relationship between thoracic kyphosis and age, and normative values across age groups: a systematic review of healthy adults / M. Zappalá, S. Lightbourne, N.R. Heneghan // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2021.– Vol. 16, N 1. – P. 447. – DOI: 10.1186/s13018-021-02592-2.
386. Zeng, J. Complete fracture-dislocation of the thoracolumbar spine without neurological deficit: A case report and review of the literature / J. Zeng, Q. Gong, H. Liu [et al.] // *Medicine (Baltimore).* – 2018. – Vol. 97, N 9. – e0050. – DOI: 10.1097/MD.00000000000010050.
387. Zhan, J.W. Effects of Axial Compression and Distraction on Vascular Bud and VEGFA Expression in the Vertebral Endplate of an Ex Vivo Rabbit Spinal Motion Segment Culture Model / J.W. Zhan, S.Q. Wang, M.S. Feng [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2021. – Vol. 46, N 7. – P. 421-432.
388. Zhang, B. A new decompression technique for upper lumbar fracture with neurologic deficit-comparison with traditional open posterior surgery / B. Zhang, F. Zhou, L. Wang [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2019. – Vol. 20, N 1. – P. 580. – DOI: 10.1186/s12891-019-2897-1.

389. Zhang, C. Adjacent Segment Degeneration Versus Disease After Lumbar Spine Fusion for Degenerative Pathology: A Systematic Review With Meta-Analysis of the Literature / C. Zhang, S.H. Berven, M. Fortin, M.H. Weber // *Clin. Spine Surg.* – 2016. – Vol. 29, N 1. – P. 21-29.

390. Zhang, F. Correlation between lumbar intervertebral disc height and lumbar spine sagittal alignment among asymptomatic Asian young adults / F. Zhang, K. Zhang, HJ. Tian [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2018. – Vol. 13, N 1. – P. 34. – DOI: 10.1186/s13018-018-0737-x.

391. Zhang, G. The effect of the sequence of intermediate instrumentation and distraction-reduction of the fractured vertebrae on the surgical treatment of mild to moderate thoracolumbar burst fractures / G. Zhang, P. Li, C. Qi [et al.] // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* – 2022. – Vol. 36, N 5. – P. 600-608.

392. Zhang, H. Retrospective analysis of reasons and revision strategy for failed thoracolumbar fracture surgery by posterior approach: a series of 31 cases / H. Zhang, T. Li, H. Sun [et al.] // *Am. J. Transl. Res.* – 2022. – Vol. 14, N 9. – P. 6323-6331.

393. Zhang, S. Anterior stabilization for unstable traumatic thoracolumbar spine burst fractures / S. Zhang, J.D. Thakur, I.S. Khan [et al.] // *Clin. Neurol. Neurosurg.* – 2015. – Vol. 130. – P. 86-90.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Шкала оценки тяжести повреждений AIS/ISS

Вид повреждений	Степень тяжести травмы	Балл
КОНЕЧНОСТИ		
Ушиб локтя, плеча, кисти, лодыжек. Переломы и вывихи пальцев кисти или стопы. Повреждение связок	Легкая	1
Переломы локтевой, лучевой, плечевой, берцовых костей, ключицы, лопатки, плюсневых, пяточной, лонной. Простые переломы таза. Вывихи крупных костей. Обширные ранения мышц, сухожилий. Малые раны (внутренние надрывы) подмышечной, плечевой, ладонной артерий, вен.	Значительная	2
Оскольчатые переломы таза. Перелом бедра. Вывих в кистевом, голеностопном, коленном, т/бедренном суставе. Травматические ампутации (до коленного сустава) верхних конечностей. Разрыв коленных сухожилий. Повреждение седалищного нерва. Малые раны (внутренние надрывы) бедренной артерии. Большие раны, тромбозы подмышечной, подколенной, бедренной артерии, вен.	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Размозжение таза. Травматические ампутации выше коленного сустава. Синдром длительного сдавления. Большие раны плечевой, бедренной артерии	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Открытые сдавленные переломы таза	Критическая с сомнительным выживанием	5
ГОЛОВА		
Головная боль, головокружение	Легкая	1
Сонливость, доступен контакту при речевых стимулах, бессознательное состояние < 1 часа, простые переломы костей свода черепа	Значительная	2
Отсутствие сознания 1 - 6 часов или < 1 часа, но при наличии неврологического дефицита, переломы основания черепа, оскольчатые сложные или вдавленные	Тяжелая без угрозы для жизни	3

переломы свода, ушибы мозга, субарахноидальные кровоизлияния		
Отсутствие сознания 1 - 6 часов с неврологическим дефицитом, отсутствие сознания 6 - 24 часа, соответствующие ответы только на болевые стимулы, переломы черепа с вдавлениями более 2 см, разрыва тмо или паутинной оболочки, интракраниальная гематома < 100 мл	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Утрата сознания с несоответствующими движениями, отсутствие сознания > 24 часов, повреждения ствола, интракраниальная гематома > 100 мл	Критическая с сомнительным выживанием	5
ШЕЯ		
Растяжение позвоночного столба без переломов и смещений	Легкая	1
Ушибы щитовидной железы, травма плечевых сплетений, переломы или смещения остистых или поперечных отростков С-позвонков, малые компрессионные переломы менее 20% высоты С-позвонков	Значительная	2
Внутренние надрывы/тромбозы внутренней сонной артерии. Ушибы гортани, глотки, ушибы спинного мозга, смещения или переломы тел, или суставных поверхностей С-позвонков, компрессионные переломы > 1 позвонка или более 20% передней высоты позвонка	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Неполное повреждение спинного мозга, раздавливание гортани, внутренние надрывы/тромбозы сонной артерии с неврологическим дефицитом	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Полное повреждение спинного мозга на уровне С4 и ниже	Критическая с сомнительным выживанием	5
ЛИЦО		
Ссадины роговицы, поверхностные раны языка, переломы носа или ветвей н/челюсти, переломы или отрывы зубов, их дислокации	Легкая	1
Переломы скуловых костей, орбит, субкондиллярные н/челюсти, Лефорт 1, ранения склеры или роговицы	Значительная	2
Ранения зрительного нерва, перелом Лефорт 2	Тяжелая без угрозы для жизни	3

Перелом Лефорт 3	Тяжелая с угрозой для жизни	4
	Критическая с сомнительным выживанием	5
ГРУДЬ		
Переломы 1 ребра, растяжения грудных позвонков, ушибы грудной клетки, ушибы грудины	Легкая	1
Переломы 2 - 3 ребер, грудины, дислокация или переломы остистых или поперечных отростков Th-позвонков, малые компрессионные переломы менее чем на 20% высоты позвонка	Значительная	2
Ушиб/разрыв легкого < 1 доли, односторонний гидропневмоторакс, разрывы диафрагмы, переломы более 4 ребер, внутренние надрывы/малые разрывы/тромбозы подключичной или безымянной артерий, легкие ингаляционные ожоги, дислокации или переломы тел позвонков, компрессионные переломы > 1 позвонка или компрессионные переломы более чем на 20% его высоты, ушибы спинного мозга с приходящей неврологической симптоматикой	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Ушибы или разрывы нескольких долей легкого, гемопневмомедиастенум, билатеральный гемопневмоторакс, размолоченная грудная клетка, ушибы миокарда, напряженный пневмоторакс, гемоторакс > 1000 мл, переломы трахеи, внутренние надрывы аорты, большие разрывы подключичной или безымянной артерий, синдром неполного повреждения спинного мозга	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Большие раны аорты, раны сердца, разрывы бронхов, трахеи, размолоченная грудная клетка, ингаляционные ожоги, требующие механического вспоможения, мультилобарные разрывы легких с напряженным пневмотораксом, гемопневмомедиастинумом или гемотораксом > 1000 мл, разрыв спинного мозга или полное его повреждение	Критическая с сомнительным выживанием	5
ЖИВОТ		

Ссадины, ушибы, поверхностные раны мошонки, влагалища, вульвы, промежности, растяжения поясничных позвонков, гематурия	Легкая	1
Ушибы, поверхностные раны желудка, тонкого кишечника, мочевого пузыря, матки, уретры; легкие ушибы/ранения почек, печени, селезенки, поджелудочной железы; ушибы 12-перстной кишки/толстого кишечника; дислокации или переломы остистых или поперечных отростков поясничных позвонков, незначительные компрессионные переломы (< 20%) позвонков, травма корешков	Значительная	2
Поверхностные раны 12-перстной кишки/толстой кишки/прямой кишки; перфорации брюшной полости/тонкого кишечника/мочевого пузыря/уретры; тяжелые ушибы/незначительные повреждения с повреждением сосудов или гидроперитонеумом > 1000 мл от почек/печени/селезенки/поджелудочной железы; малые разрывы а. или в. ііаса; ретроперитонеальная гематома; дислокация или переломы тел позвонков, компрессионные переломы более 1 позвонка или > 20% его передней высоты; ушибы спинного мозга с преобладающей неврологической симптоматикой	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Перфорация желудка/12-перстной кишки/толстой кишки/прямой кишки; перфорации с дефектом ткани желудка/брюшины/мочевого пузыря/уретры; обширные разрывы печени, обширные разрывы а. или в. ііаса; признаки неполного повреждения спинного мозга; разрыв плаценты	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Большие раны с дефектами тканей или сильно загрязненные 12-перстной кишки/толстой кишки/прямой кишки; осложненные разрывы печени/почек/селезенки/печени/поджелудочной железы; полное повреждение спинного мозга	Критическая с сомнительным выживанием	5
НАРУЖНЫЕ ПОКРОВЫ		
Ссадины, ушибы < 25 см на лице/руке или < 50 см на теле; поверхностные раны < 5 см на лице/руке или < 10 см на теле; ожог 1 степени до 100% поверхности тела или 2 - 3 степени ожог < 10% всего тела	Легкая	1

Ссадины, ушибы > 25 см на лице/руке или > 50 см на теле; поверхностные раны > 5 см на лице/руке или > 10 см на теле; ожог 2 - 3 степени 10 - 19% всего тела	Значительная	2
Ожог 2 - 3 степени 20 - 29% всего тела	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Ожог 2 - 3 степени 30 - 39% всего тела	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Ожог 2 - 3 степени 40 - 89% всего тела	Критическая с сомнительным выживанием	5

Тяжесть политравмы (ISS - Injury Severity Scale) в баллах равна сумме квадратов баллов тяжести шкалы повреждений (AIS) трех наиболее тяжелых повреждений шести областей тела.

Приложение Б

Классификация повреждений позвоночника AO Spine

Компрессионные повреждения (тип А):

- A0 – перелом отсутствует или минимальные костные повреждения (дужка, остистый отросток);
- A1 – компрессионный перелом в области одной из концевых пластин, не затрагивающий задний опорный комплекс;
- A2 – перелом, проходящий через обе концевые пластины без отломков и повреждения заднего опорного комплекса;
- A3 – оскольчатый перелом в области одной из концевых пластин со смещением в канал и возможным повреждением заднего опорного комплекса;
- A4 – оскольчатый перелом тела позвонка, затрагивающий обе концевые пластины.

Дистракционные переломы (тип В):

- В1 – перелом дужки позвонка в аксиальной плоскости на фоне гиперфлексии с переходом линии перелома на ножки и тело позвонка;
- В2 – повреждение преимущественно связочного аппарата заднего опорного комплекса на фоне гиперфлексии с возможным вовлечением суставных отростков и межпозвонкового диска;
- В3 – разгибательное повреждение переднего опорного комплекса с вовлечением передней и задней продольной связок, диска. Возможен перелом тела позвонка (каплевидный или горизонтальный через все тело).

Трансляция позвонка (тип С): подразумевает полное отделение одного позвонка от другого с вывихом в любом направлении или угловой деформацией.

Неврологические нарушения:

- N0 – нет неврологического дефицита;
- N1 – преходящий неврологический дефицит, который полностью регрессировал в течении 24 часов;
- N2 – радикулопатия;
- N3 – неполное повреждение спинного мозга;
- N4 – функциональный перерыв спинного мозга;
- NX – неуточненное повреждение (применяется для пациентов, находящихся в бессознательном состоянии).

Модификаторы:

- M1 – частичное повреждение связочного аппарата заднего опорного комплекса;
- M2 – системные заболевания соединительной ткани, повышающие «жесткость» позвоночного столба (диффузный идиопатический гиперостоз, анкилозирующий спондилит и т.д.).

Приложение В

Классификация тяжести повреждения грудопоясничного отдела позвоночника (TLICS)

Морфология: механизм травмы:

- 1) компрессия / (простая компрессия) – 1 балл;
- 2) взрывная компрессия – 2 балла;
- 3) поступательный/вращательный – 3 балла;
- 4) дистракция – 4 балла.

Целостность заднего связочного комплекса:

- 1) целый – 0 баллов;
- 2) подозрение/не определён – 2 балла;
- 3) поврежден – 3 балла.

Неврологический статус:

- 1) норма – 0 баллов;
- 2) повреждение корешков – 2 балла;
- 3) конус СМ: норма – 2 балла;
- 4) конус СМ: повреждён – 3 балла;
- 5) конский хвост – 3 балла.

Выбор метода лечения:

- 3 и менее баллов – консервативное лечение;
4 балла – на выбор консервативное или оперативное лечение;
5 или более баллов – оперативное лечение.

Приложение Г

Визуальная аналоговая шкала для оценки болевого синдрома



Приложение Д

Шкала неврологических нарушений ASIA/ISCS

Patient Name _____ Date/Time of Exam _____

Examiner Name _____ Signature _____

INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISCS)

INTERNATIONAL SPINAL CORD SOCIETY

RIGHT

MOTOR KEY MUSCLES

Elbow flexors C5
Wrist extensors C6
Elbow extensors C7
Finger flexors C8
Finger abductors (little finger) T1

UER
(Upper Extremity Right)

LEFT

MOTOR KEY MUSCLES

Elbow flexors C5
Wrist extensors C6
Elbow extensors C7
Finger flexors C8
Finger abductors (little finger) T1

UEL
(Upper Extremity Left)

● Key Sensory Points

SENSORY KEY SENSORY POINTS
Light Touch (LT) Pin Prick (PP)

C2		
C3		
C4		
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		
T7		
T8		
T9		
T10		
T11		
T12		
L1		
L2		
L3		
L4		
L5		
S1		
S2		
S3		
S4-5		

SENSORY KEY SENSORY POINTS
Light Touch (LT) Pin Prick (PP)

C2		
C3		
C4		
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		
T7		
T8		
T9		
T10		
T11		
T12		
L1		
L2		
L3		
L4		
L5		
S1		
S2		
S3		
S4-5		

COMMENTS (Non-key Muscle? Reason for MT7 Pair?)

NERVOLOGICAL LEVELS
Steps 1-5 for classification as on reverse

1. SENSORY R L

2. MOTOR R L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE?
Incomplete = Any sensory or motor function in S4-5

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)
Most caudal level with any innervation

MOTOR SUBSCORES

UER + UEL = UEMS TOTAL LER + LEL = LEMS TOTAL

MAX (25) (25) (50) (25) (25) (50)

RIGHT TOTALS (MAXIMUM) (50)

LEFT TOTALS (MAXIMUM) (50)

SENSORY SUBSCORES

LTR + LTL = LT TOTAL PPR + PPL = PP TOTAL

MAX (56) (56) (112) (56) (56) (112)

NEUROLOGICAL LEVELS

1. SENSORY R L

2. MOTOR R L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE?
Incomplete = Any sensory or motor function in S4-5

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)
Most caudal level with any innervation

REVISION 11/15

Приложение Е

Шкала R.G. Watkins для оценки болей, экономического и функционального статуса

Оценка боли

- 0 – Нет боли.
- 1 – Минимальные боли, не требующие анальгетиков, не нарушающие сон.
- 2 – Умеренные, непостоянные боли, помогают ненаркотические анальгетики.
- 3 – Не сильные постоянные боли или сильные непостоянные, постоянный приём анальгетиков, иногда наркотических. Нарушения сна. Возможны периоды некоторого облегчения.
- 4 – Постоянные сильные боли с постоянным приёмом наркотических анальгетиков, с минимальным облегчением или без периодов облегчения.

Оценка экономического статуса

- 0 – Нет никакого ухудшения; нет уменьшения времени, затрачиваемого на работу.
- 1 – Минимальное ухудшение, та же работа, нет изменений или часть времени, затрачиваемого на работу, уменьшается.
- 2 – Та же работа, существенное снижение времени, затрачиваемого на работу, частичная занятость (менее 50% возможностей).
- 3 – Изменение характера работы из-за болей.
- 4 – Не в состоянии работать вообще из-за болей в пояснице/ноге.

Оценка функционального статуса

- 0 – Нет нарушений функции.
- 1 – Минимальные нарушения.
- 2 – Умеренные нарушения функции, приводящие к адаптивному изменению спортивной или повседневной деятельности. Возможности передвижения сохранены.
- 3 – Значительное нарушение функции, препятствующее самообслуживанию, значительное ухудшение повседневной активности. Ходьба менее четверти километра и сидение меньше 30 минут. Передвижение только по дому. При ходьбе нуждается в помощи.
- 4 – Грубое нарушение функции, прикован к постели, передвижение по дому с трудом, не в состоянии за собой ухаживать.

Оценка результатов:

- 0-3 балла – отличный исход;
- 4-7 баллов – хороший исход;
- 8-12 баллов – плохой исход.

Приложение Ж

Опросник MOS SF -36

1. В целом Вы бы оценили состояние Вашего здоровья как (обведите одну цифру):

Отличное	1
Очень хорошее	2
Хорошее	3
Посредственное	4
Плохое	5

2. Как бы Вы в целом оценили свое здоровье сейчас по сравнению с тем, что было год назад (обведите одну цифру):

Значительно лучше, чем год назад	1
Несколько лучше, чем год назад	2
Примерно так же, как год назад	3
Несколько хуже, чем год назад	4
Гораздо хуже, чем год назад	5

3. Следующие вопросы касаются физических нагрузок, с которыми Вы, возможно, сталкиваетесь в течение своего обычного дня. Ограничивает ли Вас состояние Вашего здоровья в настоящее время в выполнении перечисленных ниже физических нагрузок? Если да, то в какой степени? (обведите только одну цифру в каждом вопросе)

Да, значительно ограничивает	1
Да, немного ограничивает	2
Нет, совсем не ограничивает	3

А. Тяжелые физические нагрузки, такие как бег, поднятие тяжестей, занятие силовыми видами спорта.

1 2 3

Б. Умеренные физические нагрузки, такие как передвинуть стол, поработать с пылесосом, собирать грибы или ягоды.

1 2 3

В. Поднять или нести сумку с продуктами.

1 2 3

Г. Подняться пешком по лестнице на несколько пролетов.

1 2 3

Д. Подняться пешком по лестнице на один пролет.

1 2 3

Е. Наклониться, встать на колени, присесть на корточки.

1 2 3

Ж. Пройти расстояние более одного километра.

1 2 3

З. Пройти расстояние в несколько кварталов.

1 2 3

И. Пройти расстояние в один квартал.

1 2 3

К. Самостоятельно вымыться, одеться.

1 2 3

4. Бывало ли за последние 4 недели, что Ваше физическое состояние вызывало затруднения в Вашей работе или другой обычной повседневной деятельности, вследствие чего (обведите одну цифру в каждой строке):

Да 1

Нет 2

А. Пришлось сократить количество времени, затрачиваемое на работу или другие дела.

1 2

Б. Выполнили меньше, чем хотели.

1 2

В. Вы были ограничены в выполнении какого-либо определенного вида работ или другой деятельности.

1 2

Г. Были трудности при выполнении своей работы или других дел (например, они потребовали дополнительных усилий).

1 2

5. Бывало ли за последние 4 недели, что Ваше эмоциональное состояние вызывало затруднения в Вашей работе или другой обычной повседневной деятельности, вследствие чего (обведите одну цифру в каждой строке):

Да 1

Нет 2

А. Пришлось сократить количество времени, затрачиваемого на работу или другие дела.

1 2

Б. Выполнили меньше, чем хотели.

1 2

В. Выполняли свою работу или другие дела не так аккуратно, как обычно.

1 2

6. Насколько Ваше физическое и эмоциональное состояние в течение последних 4 недель мешало Вам проводить время с семьей, друзьями, соседями или в коллективе? (обведите одну цифру)

Совсем не мешало 1

Немного 2

Умеренно 3

Сильно 4

Очень сильно 5

7. Насколько сильную физическую боль Вы испытывали за последние 4 недели? (обведите одну цифру)

Совсем не испытывал(а) 1

Очень слабую 2

Слабую	3
Умеренную	4
Сильную	5
Очень сильную	6

8. В какой степени боль в течение последних 4 недель мешала Вам заниматься Вашей нормальной работой (включая работу вне дома или по дому)? (обведите одну цифру)

Совсем не мешала	1
Немного	2
Умеренно	3
Сильно	4
Очень сильно	5

9. Следующие вопросы касаются того, как Вы себя чувствовали и каким было Ваше настроение в течение последних 4 недель. Пожалуйста, на каждый вопрос дайте один ответ, который наиболее соответствует Вашим ощущениям. (обведите одну цифру)

Все время	1
Большую часть времени	2
Часто	3
Иногда	4
Редко	5
Ни разу	6

А. Вы чувствовали себя бодрым(-ой)?

1 2 3 4 5 6

Б. Вы сильно нервничали?

1 2 3 4 5 6

В. Вы чувствовали себя таким(-ой) подавленным(-ой) что ничто не могло Вас взбодрить?

1 2 3 4 5 6

Г. Вы чувствовали себя спокойным(-ой) и умиротворенным(-ой)?

1 2 3 4 5 6

Д. Вы чувствовали себя полным(-ой) сил и энергии?

1 2 3 4 5 6

Е. Вы чувствовали себя упавшим(-ой) духом и печальным(-ой)?

1 2 3 4 5 6

Ж. Вы чувствовали себя измученным(-ой)?

1 2 3 4 5 6

З. Вы чувствовали себя счастливым(-ой)?

1 2 3 4 5 6

И. Вы чувствовали себя уставшим(-ей)?

1 2 3 4 5 6

10. Как часто за последние 4 недели Ваше физическое или эмоциональное состояние мешало Вам активно общаться с людьми (навещать друзей, родственников и т. п.)? (обведите одну цифру)

Все время	1
Большую часть времени	2
Иногда	3
Редко	4
Ни разу	5

11. Насколько **ВЕРНЫМ** или **НЕВЕРНЫМ** представляются по отношению к Вам каждое из ниже перечисленных утверждений? (обведите одну цифру в каждой строке)

Определенно верно	1
В основном верно	2
Не знаю	3
В основном неверно	4
Определенно неверно	5

А. Мне кажется, что я более склонен к болезням, чем другие

1 2 3 4 5

Б. Мое здоровье не хуже, чем у большинства моих знакомых

1 2 3 4 5

В. Я ожидаю, что мое здоровье ухудшится

1 2 3 4 5

Г. У меня отличное здоровье

1 2 3 4 5

Опросник имеет следующие шкалы:

1. Физическая активность (PF).
2. Роль физических проблем в ограничении жизнедеятельности (RP).
3. Физическая боль (P).
4. Общее восприятие здоровья (GH).
5. Жизнеспособность (VT).
6. Социальная активность (SF).
7. Роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности (RE).
8. Психологическое здоровье (MH).

Все шкалы опросника объединены в 2 суммарных измерения – физический компонент здоровья (1 – 4 шкалы) и психический (5 – 8 шкалы).

Методика вычисления основных показателей по опроснику SF-36

Показатели	Вопросы	Минимальное и максимальное значения	Возможный диапазон значений
Физическая активность (PF)	3А, 3Б, 3В, 3Г, 3Д, 3Е, 3Ж, 3З, 3И, 3К	10 – 30	20
Роль физических проблем в ограничении жизнедеятельности (RP)	4А, 4Б, 4В, 4Г	4 – 8	4
Физическая боль (Р)	7, 8	2 - 12	10
Общее восприятие здоровья (GH)	1, 11А, 11Б, 11В, 11Г	5 - 25	20
Жизнеспособность (VT)	9А, 9Д, 9Ж, 9И	4 - 24	20
Социальная активность (SF)	6, 10	2 - 10	8
Роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности (RE)	5А, 5Б, 5В	3 - 6	3
Психологическое здоровье (MH)	9Б, 9В, 9Г, 9Е, 9З	5 - 30	25

Формула вычисления значений: [(реальное значение показателя) – (минимально возможное значение показателя)] : (возможный диапазон значений) * 100.