

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕКОМПРЕССИВНО-СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ  
ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПРИ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЕ  
ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОМПЬЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1.8. Травматология и ортопедия

3.1.10. Нейрохирургия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

доктора медицинских наук

Научные консультанты:

доктор медицинских наук, профессор

Усиков Владимир Дмитриевич

доктор медицинских наук, профессор

Улитин Алексей Юрьевич

Санкт-Петербург – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	21
1.1    Актуальность и частота позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов .....	21
1.2 Основные классификации травм позвоночника и спинного мозга грудного и поясничного отделов и прогностические факторы восстановления функции спинного мозга .....	23
1.3 Использование морфометрии позвоночника при планировании хирургического лечения деформации поврежденных позвоночно-двигательных сегментов грудного и поясничного отделов.....	29
1.4 Влияние характера повреждения позвоночника, степени компрессии спинного мозга и развития неврологических расстройств на тактику хирургического лечения грудного и поясничного отделов .....	37
1.5 Закрытая и открытая декомпрессия содержимого позвоночного канала при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов.....	47
1.6 Современные подходы к изучению транспедикулярной фиксации при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов.....	57
1.7 Резюме .....	67
ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	68
2.1 Общая характеристика диссертационного исследования.....	68
2.2 Общая характеристика пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов .....	74
2.3 Методы исследования.....	87
2.3.1 Клинический метод исследования .....	87

2.3.2 Рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансно-томографический методы исследования .....	87
2.3.3 Морфометрический метод исследования .....	89
2.3.4 Экспериментальный метод исследования .....	89
2.3.5 Неврологический метод исследования .....	92
2.3.6 Лабораторный метод исследования .....	94
2.3.7 Статистический метод исследования.....	94
2.4 Оценка анатомо-функциональных исходов .....	94

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ РАСЧЕТОВ ИСХОДНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕННОГО ТЕЛА ПОЗВОНКА СО СМЕЖНЫМИ ДИСКАМИ НА ЭТАПАХ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ.....	98
---	----

3.1 Разработка методики предоперационного планирования для расчетов исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного тела позвонка со смежными дисками на грудном и поясничном отделах .....	98
---	----

3.2 Определение факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла, влияющих на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка у больных с позвоночно-спинно-мозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	110
--	-----

3.3 Определение факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла, влияющих на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	120
--	-----

3.4 Разработка способа интраоперационного контроля при восстановлении исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах .....	130
--	-----

3.5 Разработка компьютерной программы для математических расчетов необходимых параметров при восстановлении поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах .....	135
ГЛАВА 4. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ УСТРОЙСТВ И ОЦЕНКА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	143
4.1 Изучение влияния материала изготовления и диаметра транспедикулярных устройств на их жесткость .....	143
4.2 Определение оптимальных характеристик работоспособности транспедикулярных устройств посредством математического моделирования методом конечных элементов .....	147
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ДЕКОМПРЕССИВНО-СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ У БОЛЬНЫХ С ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ.....	156
5.1 Разработка навигационного устройства для введения винтов при транспедикулярном остеосинтезе у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	156
5.2 Усовершенствование способа репозиции позвончика при оскольчатых переломах и переломовывихах у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	168
5.3 Разработка способа передней декомпрессии дурального мешка из трансфораминального доступа у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов и инструменты для его выполнения.....	175
ГЛАВА 6. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ БОЛЬНЫХ С ПОЗВОНОЧНО- СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ.....	186
6.1 Усовершенствованная система лечения пациентов с позвоночно- спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов .....	186

6.2 Особенности лечения больных основной группы с позвоночно-спинномозговой травмой.....	193
6.3 Особенности лечения больных контрольной группы с позвоночно-спинномозговой травмой.....	224
6.4. Сравнительный анализ ближайших результатов лечения пациентов основной и контрольной групп с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	240
6.5 Сравнительный анализ отдаленных результатов лечения пациентов основной и контрольной групп с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.....	245
6.6 Анализ ошибок и осложнений при лечении больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов и определение мер по их профилактике и лечению.....	250
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	255
ВЫВОДЫ .....	265
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	267
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	269
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	271
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	319
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	320
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	321
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	323
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	324
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	326

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Лечение больных с повреждениями позвоночника остается актуальной проблемой вертебрыологии и требует дальнейшего изучения. Это определяется сохраняющимся большим удельным весом повреждений позвоночника в структуре травм скелета, преобладанием среди пострадавших лиц трудоспособного возраста, огромными затратами на лечение, возрастающим числом инвалидов, что делает данную проблему актуальной (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). Доля повреждений позвоночника составляет от 2,2% до 20,6% среди всех повреждений опорно-двигательной системы (Морозов И.Н., Млявых С.Г., 2011; Толкачев В.С. с соавт., 2018; Kumar S. et al., 2020).

Частота травм спинного мозга при переломах позвоночника колеблется от 3,6 до 195,4 на миллион населения во всем мире (Дулаев А.К. с соавт., 2018; Marino R.J. et al., 2020; Rau Y. et al., 2022). При позвоночно-спинномозговой травме (ПСМТ) почти 50,0% составляют сочетанные и комбинированные повреждения, затрудняющие диагностику и лечение (Андреева Т.М., Огрызко Е.В., 2017; Толкачев В.С. с соавт., 2018; Лобзин С.В. с соавт., 2019).

Увеличивается количество повреждений, связанных с ДТП (22,0–70,0%), кататравмой (18,0–61,0%), травмой на воде (7,0–18,0%) (Бажанов С.П. с соавт., 2019; Chen J. et al., 2021; Gatti M.A. et al., 2020; Johansson E. et al., 2021).

Переломы грудного и поясничного отделов позвоночника составляют до 60% от всех повреждений позвоночника, из которых на груднопоясничную область приходится от 70,0% до 90,0% (Liao J.C. et al., 2017; Mulcahy M.J. et al., 2021). Осложненная травма грудного отдела позвоночника составляет 35,0–39,2%, поясничного – 11,0–28,5% (Nachem L.D. et al., 2017; Marino R.J. et al., 2020). Частота встречаемости пациентов с множественными повреждениями позвоночника на грудном и поясничном уровнях в многопрофильном стационаре

мегаполиса составляет 11,5% от общего числа пациентов с ПСМТ, нуждающихся в хирургическом лечении (Богданова О.Ю., 2019). У пациентов с неврологическими расстройствами, кроме двигательных и чувствительных нарушений, происходят изменения в вегетативной нервной системе, что приводит к нарушению работы внутренних органов и высокому риску вторичных осложнений (Fossey M.P.M. et al., 2022).

Сохраняющиеся дискуссии о хирургических подходах при лечении пострадавших с повреждениями позвоночника (Гринь А.А. с соавт., 2018; Ren E.H. et al., 2019; Wang T. et al., 2022), разнообразие способов декомпрессионных вмешательств (Афаунов А.А. с соавт., 2018; Hoffmann C. et al., 2020), нерешенные вопросы объема и протяженности фиксации позвоночно-двигательных сегментов (Лихачев С.В. с соавт., 2021; Ye C. et al., 2017), возникающие ошибки и осложнения (Zhang H. et al., 2022) требуют совершенствования системы хирургического лечения.

Огромные затраты на лечение, возрастающее число инвалидов, летальность при сочетанных повреждениях делают проблему особенно актуальной и в настоящее время (Quadri S.A. et al., 2020).

### **Степень разработанности темы исследования**

Основными задачами хирургического лечения таких больных являются коррекция локальной деформации, декомпрессия сосудисто-нервных образований позвоночного канала и стабильная фиксация поврежденного отдела позвоночника (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 хорошего сагиттального и фронтального выравнивания, даже в случаях полного повреждения спинного мозга, по-прежнему важно, так как это обеспечивает биомеханическую стабильность и тем самым облегчает проведение реабилитации (Мушкин А.Ю. с соавт., 2009; Kumar S. et al., 2020). Спорным остается вопрос о том, к каким параметрам нужно стремиться и по каким

ориентироваться в процессе устранения деформации позвоночника, а предлагаемые авторами расчеты углов исправления деформации являются приблизительными, исходя из большого индивидуального анатомического разнообразия (Рерих В.В. с соавт., 2007; Hou G.J. et al., 2020). Множество предложенных методов оценки углов кифотической деформации позвоночника вносят путаницу в результаты 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 местный сагиттальный угол (Vialle R. et al., 2005); сагиттальный индекс или деформацию Гарднера (Ulmar B. et al., 2010); местный сегментарный угол или сегментарный лордоз (Park K.H. et al., 2021). Количественный анализ деформации позвоночника важен для понимания нормальной анатомии позвоночника, хирургического планирования и анализа результатов лечения. В остром периоде травмы оптимальным является стремление к возвращению всех параметров позвоночника на исходный уровень, т.е. на этапе планирования оперативного вмешательства важно провести моделирование поврежденного отдела позвоночника. Выявлению закономерностей между разными анатомическими образованиями позвонков посвящены многие работы по морфометрии позвоночника (Heu N.W.D. et al., 2017; Lafage R. et al., 2020; Machino M. et al., 2020). Однако опубликовано слишком мало результатов исследований, оценивающих клинические исходы в отношении сагиттального баланса при травмах позвоночника. Результаты хирургического лечения пациентов с оскольчатыми переломами тел в грудопоясничном отделе свидетельствуют о том, что успех клинических результатов зависит от восстановления сагиттального профиля (Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Mayer M. et al., 2017; Yoshihara H., 2017).

Выбор наиболее подходящего хирургического подхода, особенно при наличии неврологических нарушений и разрушения тела позвонка, все еще является предметом дискуссии (Елисеев А.С. с соавт., 2021; Lindtner R.A. et al., 2018; Wang T. et al., 2022). Меньшая кровопотеря и периоперационные осложнения, а



также сокращение длительности операции являются основными преимуществами заднего доступа (Yaman O. et al., 2021).

Широкое распространение получила закрытая декомпрессия позвоночного канала за счет дистракции и лигаментотаксиса, при которой можно уменьшить стеноз позвоночного канала почти наполовину (Афаунов А.А., Кузьменко А.В., 2011; Hadgaonkar S. et al., 2017). При сохраняющейся компрессии сосудисто-нервных образований позвоночного канала после закрытой декомпрессии встает вопрос о выполнении открытой декомпрессии. Существующие в настоящее время способы декомпрессионных вмешательств на грудном и поясничном отделах позвоночника нуждаются в дальнейшем изучении (Zhang B. et al., 2019; Hoffmann C. et al., 2020; Huang Z. et al., 2020). Поэтому тактика хирургического лечения при повреждении грудного и поясничного отделов позвоночника требует уточнения показаний для использования передних и задних доступов, их объема и очередности, а морфологическое разнообразие повреждений позвоночника требует усовершенствования способов закрытой и открытой декомпрессии позвоночного канала.

Большое внимание уделяется поддержанию стабильности оперированного отдела позвоночника. Недооценка стабильности в остром периоде будет способствовать нарастанию посттравматической деформации и нарушению баланса позвоночника, что потребует более тяжелых реконструктивных операций (Liu F.Y. et al., 2020; Olivares O.V. et al., 2021). Вместе с тем потеря коррекции послеоперационного кифоза и его ожидаемая корреляция с клиническим исходом по-прежнему являются предметом обсуждения среди хирургов (Дулаев А.К., Мануковский В.А. с соавт., 2018; Басанкин И.В., 2021; Payer M., 2006). Осложнения, связанные с некорректной установкой транспедикулярных винтов, переломами винтов и штанг, миграцией имплантатов, составляют до 19% и приводят к нарастанию деформации в отдаленном периоде травмы (Hirota R. et al., 2022; Zhang H. et al., 2022). Профилактика данных осложнений и их своевременное лечение также заслуживают большого внимания (Li J. et al., 2021; Richter P.H. et al., 2022). Применяемые для установки винтов навигационные

шаблоны требуют определенных финансовых, технических и временных ресурсов (Коваленко Р.А. с соавт., 2020; Косулин А.В. с соавт., 2022). Дорогостоящие навигационные системы, применяемые в настоящее время для имплантации транспедикулярных винтов, недоступны для широкого использования в клиниках, что побуждает к разработке доступных навигационных устройств.

Адекватная декомпрессия должна заканчиваться надежной фиксацией позвоночника. Остается спорной и протяженность транспедикулярной фиксации при разном характере повреждений позвоночника (Spiegel U.J. et al., 2021), а также включение в фиксацию сломанного позвонка (Усиков В.Д., 2006; Yaman O. et al., 2021).

Повышенная жесткость металлоконструкции на неподвижном сегменте приводит к компенсированным кинематическим и механическим требованиям к соседним нефиксированным сегментам. Соответственно, можно логически постулировать, что повышенная подвижность в соседних сегментах является основной причиной их ускоренной дегенерации (Усиков В.В., Усиков В.Д., 2006; Бердюгин К.А., Каренин М.С., 2010). Учитывая недостатки жесткой транспедикулярной фиксации, ряд исследователей вынуждены удалять транспедикулярные конструкции через определенное время (Lorente R. et al., 2021). Для уменьшения жесткости фиксации не определены возможности применения полуригидной фиксации при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника.

После репозиционного транспедикулярного остеосинтеза с восстановлением высоты поврежденного позвонка и устранения передней компрессии содержимого позвоночного канала уточняются показания для выполнения 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 методов лечения, применение новейших хирургических систем заставляют пересмотреть подходы и выработать наиболее обоснованную лечебную тактику (Мануковский В.А. с соавт., 2012; Аганесов А.Г. с соавт., 2018; Бывальцев В.А. с соавт., 2019; Pishnamaz M. et al., 2020).

Анализ проблем лечения позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов показывает актуальность дальнейших исследований по ряду направлений, касающихся предоперационного планирования, разработки способов и устройств для декомпрессии содержимого позвоночного канала и оптимальной фиксации поврежденных сегментов позвоночника. Данные литературы по хирургическому лечению больных с позвоночно-спинномозговой травмой позволили подтвердить актуальность темы исследования, определить следующую цель и задачи.

**Цель исследования** – научное обоснование, разработка и оценка эффективности усовершенствованной системы лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, основанной на компьютерно-математическом моделировании хирургических вмешательств.

#### **Задачи исследования**

1. Разработать на основании анализа компьютерных томограмм неповрежденного грудного и поясничного отделов позвоночника методику предоперационного планирования, предполагающую применение морфометрии для расчетов исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла.

2. Посредством ретроспективного анализа компьютерных томограмм у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов определить факторы, влияющие на восстановление вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и результаты закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала.

3. Разработать специальную компьютерную программу для расчетов исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения в грудном и поясничном отделах позвоночника.

4. Изучить в ходе стендовых испытаний прочностные характеристики продольных штанг из стали и титановых сплавов разного диаметра в транспедикулярных устройствах и оценить посредством математического

моделирования устойчивости фиксации с использованием их при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника.

5. Разработать и внедрить в клиническую практику навигационное устройство для точной установки винтов при транспедикулярном остеосинтезе у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов и оценить обеспечиваемые им преимущества.

6. Усовершенствовать способ репозиции поврежденного позвоночника транспедикулярным устройством и разработать способ передней декомпрессии спинного мозга у пациентов изучаемого профиля с оценкой их клинической эффективности.

7. Разработать алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, основанный на компьютерно-математическом моделировании декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств.

8. Провести сравнительный анализ ближайших и отдаленных результатов хирургического лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов с использованием известной и усовершенствованной систем лечения.

### **Научная новизна**

1. На основании анализа морфометрических данных разработана оригинальная методика предоперационного планирования и получены новые данные о эффективности предложенных математических расчетов исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла на грудном и поясничном отделах.

2. Разработана и внедрена в клиническую практику специальная компьютерная программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668665) для математических расчетов и архивирования линейных и угловых параметров на уровне повреждения у

пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.

3. Разработано на уровне изобретения новое навигационное устройство (патент РФ на полезную модель №211140) для точного проведения винтов при транспедикулярном остеосинтезе на грудном и поясничном отделах позвоночника.

4. Усовершенствован способ репозиции при оскольчатых переломах и переломовывихах в грудном и поясничном отделах позвоночника (патент РФ на изобретение № 2753133).

5. В эксперименте на стендовом аппарате в соответствии с международным стандартом ASTM F1717 получены новые данные о жесткости продольных штанг из стали и титановых сплавов в транспедикулярных устройствах с учетом материала изготовления и их диаметра.

6. Посредством математического моделирования методом конечных элементов определены оптимальные характеристики устойчивости продольных штанг в транспедикулярных устройствах при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника

7. Разработан новый способ передней декомпрессии содержимого позвоночного канала из дорсального доступа и инструменты для его выполнения в грудном и поясничном отделах (патент РФ на изобретение № 2798042).

8. Обоснована и представлена в виде алгоритма усовершенствованная система лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, основанная на компьютерно-математическом моделировании декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств.

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

1. Проведенные морфометрические исследования результатов спиральной компьютерной томографии с предложенными математическими расчетами индивидуальных параметров в виде размеров межтеловых промежутков и

сегментарного угла на уровне повреждения позволяют рекомендовать их для лечения больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.

2. Разработанная компьютерная программа для математических расчетов исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками позволяет выполнять расчеты и сохранять полученные результаты в до-, интра- и послеоперационном периодах.

3. Внедрение при лечении больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов навигационного устройства для проведения транспедикулярных винтов позволяет повысить точность проведения винтов, снизить лучевую нагрузку и уменьшить продолжительность операции.

4. Применение в хирургическом лечении пациентов с ПСМТ усовершенствованного способа репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов позволяет улучшить репозиционные возможности транспедикулярной системы и повысить устойчивость остеосинтеза.

5. Использование разработанного способа декомпрессии содержимого позвоночного канала из дорсального доступа при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов позволяет устранить сохраняющуюся компрессию после аппаратной репозиции и выполнить межтеловой спондилодез.

6. Проведенное экспериментальное исследование на стендовом аппарате в соответствии с международным стандартом ASTM F1717 обосновывает использование для фиксации при нестабильных повреждениях грудного и поясничного отделов продольных штанг в транспедикулярных устройствах из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм, которые имеют оптимальную жесткость при максимальной нагрузке.

7. Предложенная система лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, основанная на компьютерно-математическом моделировании декомпрессивно-стабилизирующих

вмешательств, способствует снижению риска осложнений, повышению эффективности хирургических вмешательств и улучшению результатов лечения.

### **Методология и методы исследования**

Методологической основой диссертационного исследования явился ретроспективный анализ (120 пациентов) и проспективная оценка (96 пациентов) результатов обследования и лечения пациентов со средним возрастом  $31,5 \pm 4,8$  лет с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, находившихся на лечении в ГАУЗ «Брянская городская больница № 1» (г. Брянск) с 2003 по 2022 г. Основными направлениями исследования явились: разработка методики предоперационного планирования по данным компьютерной томографии «неповрежденного» позвоночника, основанной на морфометрических измерениях и математических расчетах исходных индивидуальных параметров в виде вертикальных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла; ретроспективное изучение влияния индивидуальных параметров на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала; стендовые испытания по международным стандартам ASTM F1717 для определения прочностных характеристик продольных штанг в транспедикулярных устройствах с учетом материала изготовления и их диаметра, определение оптимальных характеристик их работоспособности посредством математического моделирования методом конечных элементов; разработка способов и устройств для декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств в грудном и поясничном отделах.

Объекты исследования – взрослые пациенты с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, спондилограммы, СКТ, МРТ. Предметом исследования явились: сравнительные результаты хирургического лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов с учетом традиционных подходов (контрольная группа) и усовершенствованных методик хирургического лечения (основная группа).

На основании изучения отечественной и зарубежной литературы, посвященной нерешенным проблемам по данному направлению, создавался дизайн диссертационного исследования. Проводились отбор и формирование двух репрезентативных групп больных, их хирургическое лечение, оценка результатов с учетом применяемых методов диагностики и лечения. Критериями исключения явились больные с многоуровневыми повреждениями позвоночника, патологические и застарелые переломы, а также пациенты, не нуждающиеся в хирургическом лечении.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Планирование декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на основе математических расчетов размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов позволяет восстанавливать исходные параметры поврежденного отдела позвоночника с обоснованной декомпрессией содержимого позвоночного канала и устойчивой фиксацией транспедикулярным устройством без вентрального вмешательства.

2. Практическое использование у пациентов изученного профиля предложенной компьютерной программы для математических расчетов исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения в грудном и поясничном отделах позвоночника позволяет производить точные расчеты и сохранять полученные результаты в до-, интра- и послеоперационном периодах.

3. Разработанное навигационное устройство для установки транспедикулярных винтов позволяет повысить точность их проведения, снизить лучевую нагрузку и уменьшать продолжительность операции у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов.

4. Предложенные и успешно апробированные в клинике способы декомпрессивно-стабилизирующих операций на грудном и поясничном отделах позвоночника у профильных пациентов позволяют осуществить дозированную репозицию поврежденного отдела позвоночника, полноценную закрытую и



открытую декомпрессию содержимого позвоночного канала и устойчивую фиксацию прооперированного отдела позвоночника.

5. Усовершенствованная система хирургического лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, предполагающая компьютерно-математическое моделирование по разработанной методике размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла, позволяет в большинстве случаев выполнять весь объем оперативного вмешательства в один этап из заднего доступа с достоверным улучшением ближайших и отдаленных результатов лечения.

### **Личный вклад автора**

Диссертантом определены цель и задачи исследования, проанализированы данные отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, лично разработан и обоснован дизайн научной работы.

Представленные в диссертации экспериментальные и клинические результаты исследования получены автором лично или при его непосредственном участии. Автором самостоятельно выполнены операции у 123 пациентов, у 76 пациентов он участвовал в операциях в качестве ассистента, статистическая обработка и анализ собственных полученных данных экспериментального, морфометрического и клинического исследований. Самостоятельно проведены сравнительная оценка эффективности хирургического лечения, анализ ближайших и отдаленных результатов лечения при применении разных хирургических доступов, выявление и профилактика возникающих осложнений. На основании многолетних исследований автором сформулированы выводы, практические рекомендации, написан текст диссертации и автореферат. Все материалы, использованные в диссертационном исследовании, проанализированы, обобщены и изложены лично автором.

### **Достоверность исследования**

Достоверность результатов исследования основана на большом клиническом материале (n=216). Анализ результатов экспериментального, морфометрического и клинического исследований, ближайших и отдаленных результатов хирургического лечения пациентов с ПСМТ грудной и поясничной локализации проведены на основании стандартизированных методик, классификаций и общепринятых шкал. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена статистической обработкой данных с использованием пакета программ SPSS Statistica v.23. Оценивались средние значения с 95% доверительным интервалом, определялся t-критерий для парных сравнений, коэффициент корреляции Пирсона, значимость различий между группами оценивалась с помощью  $\chi^2$  Пирсона.

### **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 интермиттирующей катетеризации в Дании (Копенгаген, 2012); «Неотложные состояния в вертебрологии» (Санкт-Петербург, 2013); «Актуальные вопросы нейрохирургии: диагностика и лечение» (Архангельск, 2014); «Современные принципы комплексного лечения, реанимации и реабилитации больных с заболеваниями и травмой нервной системы» (Красноярск, 2015); VIII съезде ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS) «Фундаментальные и прикладные аспекты поражений и повреждений позвоночника» (Иркутск, 2017); IX съезде

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

### **Публикации и реализация результатов работы**

По теме диссертационного исследования опубликовано 39 печатных работ, 12 из них в изданиях, входящих в перечень ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. По специальности «травматология и ортопедия» опубликовано 7, а по специальности «нейрохирургия» – 5 статей. Получено 4 патента и свидетельство на компьютерную программу: «Способ остеосинтеза позвоночника при травмах и заболеваниях» (патент РФ на изобретение №2559275), «Способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов» (патент РФ на изобретение №2753133), «Навигационное устройство для введения винтов при транспедикулярной фиксации на грудном и поясничном отделах позвоночника» (патент РФ на полезную модель №211140), «Способ декомпрессии спинного мозга при переломах грудных и поясничных позвонков» (патент РФ на изобретение №2798042), «Программа для расчёта восстановления исходной анатомии позвоночника» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668665).

Основные положения диссертации внедрены в практическую работу нейрохирургических отделений ГАУЗ «Брянская городская больница №1» (г. Брянск), 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).

Положения диссертации включены в учебный процесс кафедры нервных болезней и нейрохирургии ФГБОУ ВО Смоленского государственного медицинского университета, кафедры нейрохирургии им. профессора А.Л. Поленова ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России .

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 331 странице и состоит из введения, обзора литературы, пяти глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, который включает 387 источников, в том числе 151 отечественных и 236 зарубежных авторов, и приложений. Работа содержит 27 таблиц и иллюстрирована 115 рисунками.

# ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## 1.1 Актуальность и частота позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов

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 позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ) в мире составлял 23 случая на миллион жителей или 179 312 случаев в год (Lee V.V. 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 позвоночно-спинномозговой травме сочетанные повреждения отмечались в 41,5% случаев (Индиаминов С.И. с соавт., 2021). Сочетанные повреждения локализуются чаще в грудном (45,3%) и поясничном (33,3%) отделах позвоночника с одновременным повреждением двух (42,7%) и трех (27,4%) анатомических областей тела (Тулупов А.Н., 2015).

Частота травм спинного мозга колеблется от 3,6 до 195,4 случаев на миллион населения во всем мире (Rau Y. et al., 2022). Страны с высоким уровнем дохода располагают отчетами о травме спинного мозга, в то время как в некоторых африканских и азиатских странах отсутствуют соответствующие эпидемиологические данные.

Из грудного и поясничного отделов позвоночника основная часть 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 в последнее время увеличивается (Mitchell J. et al., 2020). Мужчины подвержены большему риску травм, чем женщины. Соотношение мужчин и женщин составляет 3,8/1 и сохраняется во все возрастные периоды (Bárbara-

Bataller E. et al., 2017). Данные о потенциальном влиянии пола на тяжесть травмы и его исходы противоречивы. У женщин чаще наблюдаются повреждения в груднопоясничном отделе, травмы менее тяжелые, но продолжительность госпитализации и летальные исходы сопоставимы (Furlan J.C. et al., 2019). Основные причины травм позвоночника и спинного мозга меняются в зависимости от региона. Так, основными причинами травм спинного мозга в Колумбии являются межличностное насилие (47,3%) и кататравма (33,6%) (Giraldo Y.A. et al., 2021). В Норвегии падения были основной причиной травм спинного мозга (47,0%) и чаще происходили в выходные дни (Halvorsen A. et al., 2019). В Аргентине основными причинами были ДТП – 47,3%, за которыми следовали падения с высоты – 21,5% (Gatti M.A., 2020). В Китае основной причиной были падения с высоты – 49,3%, за которыми следовали ДТП – 34,8% (Chen J. et al., 2021). В России первое место занимает кататравма – 49,8%, затем ДТП – 18,9% (Лобзин С.В. с соавт., 2019). В структуре повреждений позвоночного столба у пациентов с кататравмой преобладают переломы грудных (24,5%) и поясничных (48,3%) позвонков, а у 11,3% больных – множественные и многоуровневые повреждения (Казакова Э.Ю., Гринь А.А., 2019). По социальному статусу в Китае среди травмированных рабочие составили 28,6%, офисные работники – 16,8% и пенсионеры – 15,4% (Liu J. et al., 2020).

Расходы на последующую жизнь для лиц, получивших травму спинного мозга, варьируют в зависимости от ее тяжести. Средние экономические затраты в течение ожидаемой продолжительности жизни на госпитализацию пациента, получившего травму грудного отдела спинного мозга в 35 лет, обходится бюджету США от 68 120 до 321 534 долларов (Dukes E.M. et al., 2018). Несмотря на высокий уровень современной медицины, летальность при осложненной травме грудного и поясничного отделов позвоночника, особенно при сочетанной травме, достигает 5,0% (Sabre L. et al., 2013). Неврологическое восстановление после травмы спинного мозга в значительной степени зависит от факторов травмы (т.е. тяжести, уровня и механизма травмы), но не связано с типом лечения или местом рождения (Афаунов А.А., Чайкин Н.С., 2022; Khorasanizadeh M. et al.,

2019). При полном повреждении спинного мозга вероятность частичного неврологического восстановления со временем выше при травме грудного отдела по сравнению с верхнегрудным отделом позвоночника (Marino R.J. et al., 2020). Инвалидность в результате повреждений позвоночника и спинного мозга в России варьирует от 57,5% до 96,0% и даже 100,0% (Морозов И.Н., Млявых С. Г., 2011), составляя 0,7% в структуре общей инвалидности (Косичкин М.М. с соавт., 1999). От двух до трех миллионов человек во всем мире живут с инвалидностью, связанной с травмой спинного мозга (Quadri S.A. et al., 2020). Высокие показатели инвалидности обусловлены тяжестью полученной травмы и неудовлетворительными анатомо-функциональными исходами (Белова А.Н., Прокопенко С.В., 2010).

## **1.2 Основные классификации травм позвоночника и спинного мозга грудного и поясничного отделов и прогностические факторы восстановления функции 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 классификациях используются различные классификационные критерии: механизм травмы, характер повреждения позвонка, наличие и характер повреждения спинного мозга и корешков, нарушение стабильности позвоночника. Остановимся на основных классификациях.

Согласно двухколонной концепции стабильности позвоночника, F. Holdsworth (1970) предложил костно-связочный аппарат позвоночника делить на две опорные колонны: переднюю и заднюю. Передняя опорная колонна образована телами позвонков и межпозвонковых дисков, а также передней и задней продольными связками; задняя опорная колонна образована дугами

позвонков, суставами, поперечными и остистыми отростками, желтыми, межкостистыми, надкостистыми и межпоперечными связками. Важность задней колонны в поддержании стабильности позвоночника подчеркивалась целостностью межкостистой связки.

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

С появлением в начале 1980 годов компьютерной томографии стало необходимым пересмотреть предыдущие классификации. И в 1983 году F. Denis (1983) заменил двухколонную концепцию строения позвоночника на трехколонную. Он разделил переднюю колонну, предложенную F. Holdsworth, на переднюю и среднюю. Средняя колонна состоит из задней части тела позвонка, включает фиброзное кольцо и заднюю продольную связку. Задняя колонна в рамках обеих концепций включает анатомические структуры позвонка, расположенные кзади от задней продольной связки. При разрушении по меньшей мере двух опорных столбов позвоночника существует опасность дальнейшего смещения структур позвоночника, угрожающее сдавливанием нервно-сосудистых образований позвоночного канала. Признаками нестабильности позвоночника считали снижение высоты тел позвонков в грудном и поясничном отделах на 50% или кифозе более 20° и горизонтальное смещение более 3,5 мм. Трехколонная теория F. Denis соответствует характеристикам физиологии и биомеханики переломов позвонков (Su Q. et al., 2020).

P.C. McAfee (1983) улучшил классификацию F. Denis (1983), где основное внимание уделялось средней остеолигаментарной колонне. Степень разрушения среднего костно-связочного комплекса определяла характер повреждения позвоночника, тяжесть неврологических нарушений и возникающую нестабильность.

В 1984 году R.L. Ferguson и B.L. Allen (1984) предложили классификацию переломов груднопоясничного отдела позвоночника, основанную на механическом



способе разрушения тел позвонков. Акцент делается на компоненте травмы, вызывающем переломы.

Появление новых методов визуализации и улучшение понимания биомеханики позвоночника привели к разработке нескольких систем классификации, причем каждая последующая система внесла значительный вклад в понимание биомеханики повреждения и определение тактики лечения. В 1994 году F. Magerl с соавторами разработали комплексную систему классификации, известную как АО, основанную на прогрессирующем морфологическом повреждении, по которой определяется степень нестабильности. Различают три типа повреждений: А (компрессия тела позвонка), В (повреждения элементов позвоночника за счет дистракции) и С (повреждения с ротацией). Каждый тип состоит из трех групп, каждая из которых содержит три подгруппы. Перелом А1 – наименее тяжелый, в то время как перелом С3 – наиболее тяжелый. Повреждения позвоночника делятся на стабильные и нестабильные. Повреждения типа А как правило носят стабильный характер, а типы В и С – нестабильный. Недостатком классификации АО было отсутствие характеристики неврологического дефицита. Несмотря на это, данная классификация показала хорошую 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 Френкеля 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 T.T. 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 (B), сохранение некоторой сенсорной и двигательной функций (C), 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 одна только задняя фиксация может привести к перелому имплантата или нарастанию деформации.

В 2002 году для оценки тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника A.R. 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.

Лечение по классификации TLICS показало высокую достоверность, и 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 года по оценке тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника имеет ограничения, особенно когда МРТ не дает 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 схему классификации 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, и в ней содержится подробная морфологическая картина степени повреждения тела позвонка, стенозе канала, поражении межпозвоночного диска и неврологической травме (Vajamal A.H. et al., 2021). Согласно классификации травмы позвоночника, набравшие 3 балла или менее, должны лечиться консервативно, в то время как оцененные в 5 баллов или более следует лечить хирургическим путем (Kepler C.K. et al., 2016).

Нет общих рекомендаций относительно точных сроков ранней операции на позвоночнике (Aarabi B. et al., 2021; Badhiwala 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 при 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 груднопоясничной 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). Мета-анализ показал, что неврологическое восстановление после травмы спинного мозга в значительной степени зависит от факторов повреждения, но не связано с типом лечения или страной проживания (Khorasanizadeh M. et al., 2019).

### **1.3 Использование морфометрии позвоночника при планировании хирургического лечения деформации поврежденных позвоночно-двигательных сегментов грудного и поясничного отделов**

Статистические корреляции между анатомическими образованиями позвоночника человека указывают на возможность прогнозирования морфометрии позвоночника, которая в перспективе может быть применена для создания упрощенных геометрических моделей позвоночника. Хорошие знания анатомии, морфологии и биомеханики позвоночника являются незаменимыми при лечении переломов позвонков (Афаунов А.А. с соавт., 2007; Рерих В.В., Борзых К.О., 2015; Olivares O.V. et al., 2021).

Высота тел позвонков зависит не только от расы, но также от пола и региона проживания (Ning L. et al., 2017). Данные, полученные от разных расовых популяций, показали сходные соотношения размеров во всех позвонках (Kaig K.

et al., 2016). Высота позвонков постепенно увеличивается от TIV до LIII, но затем уменьшается на уровне LIV и LV (Kaur K. et al., 2016; Ning L. et al., 2017), и размеры грудных позвонков всегда меньше, чем поясничных. В грудном отделе задняя высота тела позвонка всегда на 1–2 мм больше передней (Kaur K. et al., 2016). У людей обоих полов соотношение размеров позвонков одинаково, но позвонки у мужчин статистически больше, чем у женщин. Изменения размеров тел позвонков у мужчин и женщин с возрастом происходят по-разному. У женщин в постменопаузе высота позвонков спереди уменьшается примерно на 1,5 мм в год, тогда как средняя и задняя высота уменьшаются примерно на 1,2–1,3 мм в год (Lentle B.C. et al., 2020). Возрастное уменьшение высоты позвонков влияет на определение нормального диапазона формы позвонков. Получена статистически значимая корреляция между передней высотой тела позвонка и возрастом человека (Mavrych V. et al., 2014). Так, передняя и задняя высота тела позвонка почти одинаковая для всех поясничных позвонков у новорожденных, затем передняя высота непрерывно увеличивается в детстве, подростковом возрасте и взрослой жизни и незначительно уменьшается у пожилых людей. Полученные морфометрические данные используют при расчете передних и задних размеров тела позвонка, исходя из того, что их размеры составляют среднее значение размеров соседних позвонков (Guglielmi G. et al., 2008).

Анатомические передние и задние размеры дисков в грудном и поясничном отделах варьируют в зависимости от уровня диска, пола и возраста (Okada E. et al., 2019). Самой низкой считается высота диска на уровне ThIV-ThV позвонков (Волков А.А. с соавт., 2015), затем их размеры увеличиваются к сегменту LIV-LV у всех исследуемых (Machino M. et al., 2021). Морфометрия корней дуг, особенно грудных позвонков, крайне важна при планировании транспедикулярной фиксации (Wang Y. et al., 2023).

Для понимания анатомических закономерностей М.Е. Kunkel с соавторами (2011) предложили способ расчета высоты диска по высоте соседних тел позвонков. А.Н. Fylos с соавторами (2018) предложили индекс высоты диска, где учитываются по 3 размера межпозвонкового диска и соседних тел позвонков, а

также фиксированный процентный коэффициент  $\alpha$ . Были выведены коэффициенты корреляции для расчета высоты диска в зависимости от пола и возраста (Lavecchia C.E. et al., 2018). Для каждого сегмента поясничного отдела авторами был рассчитан дискоverteбральный индекс (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 до 3,8 градуса, причем минимальным он является в сегменте ThIV-ThV. Суммарный объем движений в грудном отделе, сложенный из сегментарных углов составил  $31,7 \pm 11,3$  градуса (Morita D. et al., 2014). При вдохе и выдохе общий объем движений в грудном отделе позвоночника составляет  $15,9 \pm 4,6$  градуса (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). 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. Щедренюк 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 градусов (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 (Keynan 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 градуса (Heu N.W.D. et al., 2017), а общий грудной кифоз – на 2 градуса (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 у ряда 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

груднопоясничном 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 стоя (Hajnal B. et al., 2022).

J.P. Farcy et al. (1990) предложил расчет сагиттального индекса при переломах груднопоясничного 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 Rossouly 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 по описанию 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, степени компрессии спинного мозга и развития неврологических расстройств на тактику хирургического лечения грудного и поясничного отделов**

Доказано, что различное положение тела в момент травмы приводит к различным типам переломов (Li W.J. et al., 2020). Соединение между жестким грудным отделом позвоночника и подвижным поясничным отделом позвоночника подвергается концентрированному напряжению, что увеличивает вероятность травм (Machino M. et al., 2019). Важными этапами хирургического лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов являются декомпрессия невральных структур, репозиция с коррекцией деформации и надежная фиксация позвоночника, на что акцентируют внимание многие авторы (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). Немаловажную роль в лечении пострадавших с ПСМТ оказывают и организационные факторы (Дулаев А.К. с соавт., 2020).

Лечение неосложненных грудопоясничных переломов остается спорным вопросом (Кокушин Д.Н. с соавт., 2016; Spiegl U.J. et al., 2021). Ряд авторов пришли к выводу о благоприятных результатах при консервативном лечении (Alpantaki K. et al., 2010), которое позволяет избежать операционные риски. При сравнении консервативного лечения с хирургическим при нестабильных неосложненных переломах грудопоясничного отдела ряд исследователей представил сходные функциональные результаты (Kato S. et al., 2017).

Несмотря на адекватную внешнюю иммобилизацию пациентов при консервативном лечении постепенно может прогрессировать посттравматическая кифотическая деформация и боль в спине (Zeng J. et al., 2018). Степень

компенсации посттравматического кифоза индивидуальна и в перспективе неизвестна (Pishnamaz M. et al., 2020). Почти четверть первоначально направленных на консервативное лечение пациентов подвергаются хирургическому вмешательству (Hitchon P.W. et al., 2016). При переломах типов А2 и А3 по классификации АО применение вертебропластики или кифопластики статистически значительно уменьшает боль в течение первого месяца после травмы позвоночника по сравнению с консервативным лечением (Рузиев Х.Х. с соавт., 2019), а при переломах типа А3 у пациентов с нарушением минеральной плотности костной ткани авторы предлагают воздержаться от транспедикулярной фиксации в пользу вертебропластики (Бердюгин К.А. с соавт., 2012).

При принятии решения о методе лечения основную роль играет определение стабильности травмы и степень компрессии невральных структур (Усиков В.Д. с соавт., 2013; Verheyden A.P. et al., 2018). Нестабильность определяется степенью морфологических разрушений тела позвонка (De Iure F. et al., 2018; Rajasekaran S. et al., 2017), заднего связочного комплекса (Machino M. et al., 2020). Все оскольчатые переломы, которые приводят к кифотической деформации, относятся к нестабильным (Pellisé F. et al., 2015). Считалось, что наличие неврологического повреждения указывает на нестабильность, независимо от деформации позвонка (Rajasekaran S. et al., 2017; Verheyden A.P. et al., 2018). Вывих позвонка – крайне нестабильная форма повреждения (тип С в классификации АО) и требует обязательного хирургического лечения (Бадалов В.И., 2012; Vaccaro A.R. et al., 2013).

Большое место в повреждениях типа А по классификации АО отводится межпозвоночному диску, пульпозное ядро которого под воздействием вертикальной нагрузки разрывает верхнюю кортикальную пластинку и внедряется внутрь тела позвонка, разрывая его на отдельные фрагменты (Diotalevi L. et al., 2020). Одной из гипотез, объясняющих дегенерацию диска, наблюдаемую после травмы, является кальцификация замыкательной пластинки поврежденного позвонка (Cisewski S.E. et al., 2018). По мнению L. Marie-Hardy с соавторами (2020), подавляющее большинство переломов типа А не приводит к немедленному

повреждению диска, и восстановление тела позвонка предотвращает вторичную дегенерацию. Эти результаты могут побудить хирургов не выполнять спондилодез при переломах типа А3 и А4.

При сочетанной травме объем вмешательства планируется в зависимости от повреждения 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). Показанием к хирургическому лечению являются следующие рентгенологические признаки: кифотическая деформация более 15 градусов (Kim H.S. et al., 2009); сколиотическая деформация более 10 градусов (Joaquim A.F. et al., 2019); разброс костных фрагментов по периметру более 62,7% (De Iure F. et al., 2018); увеличение межкостистого промежутка более чем на 20,0% (Machino M. et al., 2020).

Важную роль при выборе переднего, заднего или комбинированного подходов играют морфология перелома, неврологический статус, подготовка и предпочтения хирурга (Афаунов А.А. с соавт., 2018; Pishnamaz M. et al., 2015). Выбор наиболее подходящего хирургического подхода, особенно при наличии неврологических нарушений, разрушении передней колонны и сегментарном кифозе высокой степени выраженности, все еще является предметом дискуссии (Lindtner R.A. et al., 2018; Wang T. et al., 2022). Для сокращения объема и травматичности оперативного вмешательства при использовании внутренних транспедикулярных конструкций в лечении переломов позвонков с посттравматическим стенозом позвоночного канала рекомендована интраоперационная оценка состояния позвоночного канала после проведенной репозиции (Зубков Е.А., 2013). Не существует жесткого стандарта для переднего и заднего хирургических доступов. Из переднего доступа можно также эффективно исправить угловую деформацию и сохранить стабильность. Передний доступ является более подходящим при сохранности заднего связочного комплекса (Рамих Э.А., 2008; Рерих В. В. с соавт., 2007) и показан при нестабильных неосложненных повреждениях 1–2 позвонков на грудном уровне в остром периоде с кифотической деформацией (Гринь А.А. с соавт., 2018).

Изолированные передние доступы используются в основном при повреждениях типов А3, А4, В1 и В2 и позволяют добиться первично-стабильного опорного спондилодеза (Паськов Р.В. с соавт., 2012; Hoffmann C. et al., 2020; Zhang B. et al., 2019). К переднему доступу предъявляются более высокие технические требования, но он позволяет добиться полного удаления компримирующих костных фрагментов и мягких тканей из позвоночного канала при прямой визуализации (Луцик А.А. с соавт., 2012), а также восстановить физиологическую анатомию сломанных позвонков и выполнить фиксацию (Монашенко Д.Н., 2022).

Однако передний доступ имеет серьезные осложнения из-за прилегающих органов грудной клетки и брюшной полости, а также крупных кровеносных сосудов (Jiang Y. et al., 2019). Осложнения при правостороннем доступе к грудному и груднопоясничному отделам позвоночника возникали у 22,8% пациентов по сравнению с 14,0% при левостороннем доступе (Hajewski C.J. et al., 2022). Традиционно левосторонний передний доступ считался самым безопасным способом к грудному и груднопоясничному отделам позвоночника из-за исключения риска повреждения нижней полой вены. Выполнение переднего межтелового спондилодеза не всегда целесообразно, например, при лечении неосложненных переломов, когда достаточно только задней фиксации (Рерих В.В., 2009). К недостаткам переднего доступа можно отнести и болевой синдром после самой торакотомии, который отмечается в 31,0% случаев (Zhang S. et al., 2015). Передний спондилодез не приводит к клинико-рентгенологическому улучшению, а повышает осложнения в месте забора 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 соавторами (2019), использование открытых передних доступов для реконструкции вентральной колонны может быть оправданным лишь при давности травмы более 7 суток в рамках комбинированных операций, прежде всего в сочетании с малоинвазивной задней транспедикулярной фиксацией. Хотя передняя фиксация и рекомендуется при



оскольчатых переломах тела позвонка, но исследования показали, что задний доступ одинаково эффективен и представляется более безопасным и экономически эффективным (Ren E.H. et al., 2019; Wang T. et al., 2022). При сравнении переднего и заднего доступов для лечения переломов типов B1 и B2 задний доступ имеет преимущества за счет уменьшения времени операции и лучшей коррекции деформации (Tan T. et al., 2020).

Уменьшение травматичности декомпрессивно-стабилизирующих операций при лечении взрывных переломов грудных и поясничных позвонков достигается за счет малоинвазивной адекватной декомпрессии и стабилизации. Применение минимально инвазивного переднего доступа с использованием торакоскопического оборудования улучшает результаты хирургического лечения (Грибанов А.В. с соавт., 2016; Hoffmann C. et al., 2020).

В настоящее время наблюдается тенденция к выполнению всего объема хирургического лечения нестабильных разрывных переломов только с помощью заднего доступа (Бердюгин К.А., 2013; Усиков В.Д. с соавт., 2013; Marie-Hardy L. et al., 2020). Оптимальным вариантом оперативного пособия в первую неделю после травмы как с точки зрения удобства и безопасности для пациента, так и с позиций максимально эффективного использования любых ресурсов стационара, следует считать открытую либо малоинвазивную заднюю инструментальную фиксацию позвоночника транспедикулярными системами в компоновках от 6 при неполных, до 8–10 опорных элементов при полных взрывных повреждениях (Дулаев А.К. с соавт., 2019). Меньшая кровопотеря и сокращение времени операции, расходы на госпитализацию и осложнения являются основными преимуществами заднего доступа (Yaman O. et al., 2021; Wang T. et al., 2022). Единственный задний доступ является приемлемым вариантом с точки зрения клинических, рентгенологических и функциональных результатов (Piccone L. et al., 2020).

При определении объема хирургического вмешательства следует учитывать и оценку распределения нагрузки по McCormack. При нагрузке до 6 баллов с надежностью в 100,0% требуется только задняя фиксация (Pellisé F. et al., 2015).

Другими исследователями высказано предположение, что задняя фиксация бывает несостоятельной из-за большого дефекта кости, образовавшегося внутри тела поврежденного позвонка после непрямого восстановления высоты при взрывных переломах груднопоясничного отдела позвоночника. Как правило, по классификации распределения нагрузки эти повреждения – более 7 баллов (Ren E.H. et al., 2019). По классификации распределения нагрузки после короткой фиксации при  $LSC \geq 7$  рекомендован дополнительный передний доступ (Pellisé F. et al., 2015). Больным с неосложненными переломами грудного и поясничного отделов позвоночника типов A2 и A3, с оценкой не ниже 6–8 баллов по классификации LSC, без признаков остеопороза показано проведение короткосегментарной транскутанной транспедикулярной фиксации и транскутанной транспедикулярной пластики тела позвонка из дорзального доступа, а с оценкой выше 8 баллов по классификации LSC показано применение декомпрессивно-стабилизирующей операции из вентрального и дорзального доступов (Байдарбеков М.У., 2018).

Показанием к выполнению переднего межтелового спондилодеза после коррекции деформации позвоночника и транспедикулярного спондилосинтеза, по данным Ю.В. Химич (2011), является величина посттравматического дефекта более 25% от среднеарифметической величины объемов тел, смежных с поврежденным позвонком, или после передней декомпрессии спинного мозга и его элементов. Недостаточная фиксация приводит к нарастанию кифотической деформации, усилению нагрузки на винты и их прорезанию либо поломке (Дулаев А.К. с соавт., 2018; Hirota R. et al., 2022). Наиболее распространенной ошибкой является установка короткосегментарного транспедикулярного остеосинтеза при нестабильных повреждениях (типы В и С) (Гринь А.А. с соавт., 2015; Шульга А.Е. с соавт., 2015). Так как основная нагрузка после операции ложится на ТПФ, для минимизации осложнений необходим передний спондилодез (Макаров А.Б., 2013; Pishnamaz M. et al., 2020). Анализ лечения оскольчатых переломов позвонков транспедикулярными системами с выполнением переднего спондилодеза показал, что передний межтеловой

спондилодез вторым этапом показан всего в 28,9% случаев (Дулаев А.К. с соавт., 2009).

Эффективность фиксации промежуточными винтами в поддержании сагиттального выравнивания была наиболее заметной 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).

Учитывая, что традиционный открытый задний доступ может привести к некоторым недостаткам, включая кровопотерю и длительное пребывание в больнице, большая роль отводится малоинвазивным подходам (Паськов Р.В. с соавт., 2011; Малыгин В.Н. с соавт., 2012; Бывальцев В.А. с соавт., 2016). На основе усовершенствованного дорсального межмышечного минидоступа разработана модифицированная малоинвазивная методика полноценной передней декомпрессии позвоночного канала с применением видеоэндоскопии и без нее, а также транскутанно-открытая методика имплантации транспедикулярных винтов (Грибанов А.В. с соавт., 2016).

Факторы, влияющие на исход операции, делят на клинические и рентгенологические (Liu F.Y. et al., 2020). Клиническими факторами являются: предшествующий неврологический статус, сроки операции, артериальное давление, возраст, прочность костей, ожирение, курение и сопутствующие заболевания (Formica M. et al., 2016). Наиболее значимыми рентгенологическими факторами, обычно используемыми для выбора хирургического лечения и прогнозирования результата, являются: высота тела позвонка, межкостистое расстояние, анатомическая целостность заднего связочного комплекса, фасеточные суставы и диск, стеноз позвоночного канала, смещение и степень раздробленности тел позвонков, первоначальный угол кифотической деформации и недостаточная коррекция деформации (Wang F. et al., 2017).

У пациентов старшей возрастной группы при снижении качества кости и наличии факторов риска остеопороза в анамнезе рекомендуется дополнительно использовать аугментацию тела сломанного позвонка и/или винтов

(Абдрахманов Р.Р., 2018). Даже на фоне сниженной минеральной плотности костной ткани отдаленные результаты задней стабилизации с применением ТПФ и цементной имплантацией винтов не имеют статистически значимых отличий от результатов комбинированной стабилизации с применением бесцементной ТПФ (Афаунов А.А., 2013; Тахмазян К.К., 2023).

После транспедикулярной фиксации дополнительный задний спондилодез улучшал результаты лечения, особенно при протяженной фиксации (Hariri O.R. et al., 2018). По мнению X.Y. Wang с соавторами (2008), применение заднебокового спондилодеза не предотвращает рецидива кифоза и разрушение имплантата, а также не обеспечивает достаточную прочность позвоночника для сопротивления преимущественно передним осевым нагрузкам.

Как один из вариантов передняя реконструкция может быть выполнена из заднего доступа (Николаев Н.Н. с соавт., 2008; Рерих В.В. с соавт., 2017; Шульга А.Е. с соавт., 2018). Для дополнительного поддержания вентральной колонны после задней фиксации без ламинэктомии разные авторы использовали транспедикулярный доступ для интракорпоральной пластики с помощью аутооттрансплантата (Chen T. et al., 2014), вертебропластики (Afzal S. et al., 2008), кифопластики (Starlinger J. et al., 2020). К недостаткам предлагаемых методов следует отнести рассасывание аутооттрансплантата, утечку цемента, миграцию фрагментов перелома, дополнительное облучение (Toyone T. et al., 2013). После декомпрессивной ламинотомии выполняется костная пластика через поврежденные позвонки (Chen T. et al., 2014). Хорошо зарекомендовал себя спондилодез, выполняемый через трансфораминальный доступ (Feng Z. et al., 2015).

Недооценка стабильности и фиксации у пациентов, оперированных только из заднего доступа, будет способствовать нарастанию посттравматической деформации и нарушению баланса позвоночника, что потребует более тяжелых реконструктивных операций (Дулаев А.К. с соавт., 2010, 2012; Liu F.Y. et al., 2020; Olivares O.B. et al., 2021).

Но следует иметь в виду, что некоторая степень рецидива кифоза или стеноз позвоночного канала не всегда влияют на клинический исход лечения (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 оставшемся стенозе позвоночного канала нужно помнить о его ремоделировании и не спешить прибегать к агрессивным методам декомпрессии, особенно при неосложненных 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).

Доступ может быть выполнен в один этап (Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., 2004). У детей с осложненной травмой грудного и поясничного отделов А.В. Виссарионов с соавторами (2010) предлагают одномоментно выполнять двухэтапную декомпрессивно-стабилизирующую операцию.

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).

Однако М. Reinhold с соавторами (2010) доказали, что пациенты, которых оперировали только задним доступом, имели лучший функциональный и субъективный результаты с меньшим количеством осложнений, чем пациенты, получавшие комбинированное задне-переднее хирургическое вмешательство.

По данным М.С. Паршина (2019), качество жизни пострадавших по шкале ODI в ближайшем послеоперационном периоде было статистически значимо выше у тех из них, кто был прооперирован через расширенные задние доступы. Эти различия имели место в сроки до одного года, а в дальнейшем различия по шкале ODI отсутствовали. Выполнение заднего или комбинированного доступа не повлияли на восстановление неврологических расстройств у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов (Монашенко Д.Н., 2022).

J.C. Liao с соавторами (2017) не обнаружили существенной разницы по ВАШ, степени послеоперационной коррекции кифоза или количестве послеоперационных осложнений между задним и комбинированным доступами.

В последнее время используются малоинвазивные хирургические доступы к позвоночнику, которые позволяют минимизировать операционную травму, снизить интенсивность болевого синдрома в послеоперационном периоде, сократить сроки стационарного лечения и ускорить реабилитацию пациента (Аганесов А.Г. с соавт., 2021; Мануковский В.А. с соавт., 2012; Hoffmann C. et al., 2020).

Приняв во внимание все ограничения и недостатки заднего доступа, даже при нестабильных повреждениях его следует рассматривать как золотой стандарт хирургического лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника (Spiegel U.J.A. et al., 2021).

## **1.5 Закрытая и открытая декомпрессия содержимого позвоночного канала при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов**

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

Основная роль в повреждении спинного мозга при компрессионных переломах отводится костным фрагментам 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 является декомпрессия содержимого позвоночного канала для предотвращения прогрессирования неврологических нарушений с восстановлением 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 жизненно важна для лечения неврологических нарушений (Гринь А.А. с соавт. 2018; Anderson K.K. et al., 2015). Неустраненная деформация позвоночника может привести к неправильному положению соседних сегментов, к изменениям в общей статике позвоночника и хроническому болевому синдрому (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 может быть достигнут только при соблюдении биомеханических принципов по восстановлению сагиттального профиля позвоночника (Бурцев А.В. с соавт., 2017; Mayer M. et al., 2017). Чрезмерная или недостаточная коррекция деформации позвоночника способствует развитию синдрома смежного уровня (Lee J.C. et al., 2015).

Непрямая декомпрессия в хирургии позвоночника означает декомпрессию тканей позвоночного канала без удаления компримирующей ткани

(Yoshihara H., 2017), которая выполняется в основном из заднего доступа за счет лигаментотаксиса и 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 позвоночного канала тесно связана с задней продольной связкой, средняя ширина которой составляет 7,8 мм на уровне L1. А отношение ширины задней продольной связки к ширине тела L1 позвонка составляет 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.B. et al., 2021). Повреждение задней продольной связки мешает выполнению репозиции костных фрагментов и закрытой декомпрессии (Wang X.B., 2017). Разрыв задней продольной связки можно предположить, если по данным компьютерной томографии дефицит просвета позвоночного канала составляет 52%, а угол поворота костного фрагмента – 33 градуса (Chen F. et al., 2019). По данным некоторых авторов, наблюдается корреляция между размером костного фрагмента и повреждением задней продольной связки (Hu Z. et al., 2015). J. Tan с соавторами (2015) не наблюдали корреляции между повреждением задней продольной связки, локальным кифозом и степенью компрессии тела позвонка.

Размер костного фрагмента является основным фактором, определяющим эффективность лигаментотаксиса (Peng Y. et al., 2015). Когда ширина внутриканального костного фрагмента составляет более 75,0% от поперечного диаметра позвоночного канала, а высота более 47,0% от высоты поврежденного позвонка, то сместить фрагмент с помощью задней продольной связки не удастся. Если смещение костного фрагмента более 0,85 см, а угол поворота превышает 55 градусов, то лигаментотаксис не эффективен (Wang X.B. et al., 2017). Выполнение лигаментотаксиса противопоказано пациентам со свободным костным фрагментом в позвоночном канале и разворотом его на 180 градусов (Yoshihara H., 2017). Непрямая декомпрессия может быть эффективной при смещении костного фрагмента в позвоночный канал не более 50,0%, и при



сохранении задней продольной связки (Huang J. et al., 2020; Benek H.V. et al., 2021; Rezvani M. et al., 2023). По данным P.G. Whang с соавторами (2007), лигаментотаксис эффективен при смещении костного фрагмента в канал до 67,0%.

У пациентов без неврологических нарушений коррекция посттравматической деформации и редуцирующий маневр позволяют увеличить резервные эпидуральные пространства путем частичного или полного вправления фрагментов и таким образом снизить риск возникновения неврологических осложнений. Решение о способе восстановления формы позвоночного канала должно быть принято с учетом уменьшения 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).

Немаловажным фактором, влияющим на устранение локальной посттравматической деформации, являются сроки, прошедшие с момента перелома позвонков (Рерих В.В. с соавт., 2009). Если в течение 72 часов не удастся устранить посттравматическую деформацию, то происходит фиксация порочного положения, и в позвоночном канале развиваются рубцовые сращения (Аганесов А.Г., 2013). Доказана высокая эффективность закрытой репозиционной декомпрессии при позвоночно-спинномозговой травме в нижнегрудном и поясничном отделах в сроки до 10 дней (Афаунов А.А. с соавт., 2016).

По данным Н.В. Богомоловой с соавторами (2016), первые признаки сращения в виде фиброзной спайки происходят через 10–12 суток. Через 3 недели соединительная ткань еще больше организуется, и наблюдаются очаги пролиферации элементов соединительной ткани, поля ангиогенеза, формирование хондрогенных островков и остеоида. Поэтому попытки реклинации позвоночника в подостром периоде (от 2 до 3 недель после травмы) заведомо обречены на неудачу (Богомолова Н.В. с соавт., 2016).

Эффект не прямой закрытой декомпрессии позвоночного канала можно получить за счет укладки на операционном столе, инструментальной коррекции транспедикулярных винтов. Правильное положение пациента на операционном

столе с соответствующим лордозом может помочь в достижении частичного вправления позвонков (Hadgaonkar S. et al., 2017). При винтовой редукции в первую очередь должны быть выполнены лордозирующие маневры, а затем контролируемая дистракция (Whang P.G., Vaccaro A.R., 2007). По данным В. Wälchli с соавторами (2001), вначале лучше применить дистракцию для восстановления высоты поврежденного позвонка, а затем создавать лордоз. Внутриканальный фрагмент лучше всего смещался из позвоночного канала при создании анатомического лордоза в поясничном отделе со средним значением в 10 градусов (Fredrickson B.E. et al., 1992). Создание лордоза без дистракции не приведет к смещению внутриканального костного фрагмента. Было обнаружено, что дистракция является преобладающей силой, необходимой для непрямого заднего вправления (Fredrickson B.E. et al., 1992). Комбинированная регулировка разгибания и дистракции, по мнению J. Shang с соавторами (2013), может быть более подходящей при коррекции деформации. Для восстановления высоты тела позвонка и получения не прямой декомпрессии позвоночного канала путем лигаментотаксиса осевая дистракция составляет приблизительно 3–5 мм (Payer M., 2006). С учетом предстоящей потери коррекции К.С. Косе с соавторами (2014) предлагают создавать гиперлордоз перед фиксацией.

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

При выполнении дополнительной интраоперационной ручной редукции достигается лучший клинический эффект, чем при не прямой декомпрессии без

редукции (Huang J. et al., 2020). Осторожно следует проводить редукцию при сопутствующих переломах дужек, при которых наблюдается разрыв ТМО. Может произойти ущемление корешков и усугубление неврологических нарушений (Мартикян А. Г. С соавт., 2022).

Непрямая декомпрессия позвоночного канала с помощью задней дистракции и стабилизации короткого сегмента внутренними фиксаторами считается оптимальным методом лечения большинства нестабильных взрывных переломов грудопоясничного отдела. Эта менее обширная хирургическая 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, которые обеспечивают 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. Внутренний фиксатор АО обеспечивает независимый, но переменный контроль дистракции и лордоза, устройство RF обеспечивает переменную дистракцию с установленной коррекцией кифоза, а система Steffee обеспечивает 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) предлагают использовать оригинальное внешнее репозиционное устройство при транспедикулярном спондилосинтезе, которое позволяет провести полноценную дозированную коррекцию посттравматических многоплоскостных ригидных деформаций поврежденного отдела позвоночника вне зависимости от давности травмы. Введение регулируемых упругих устройств в компоновку аппарата внешней фиксации позвоночника человека является новым прогрессивным подходом к процессу коррекции деформаций позвоночника, позволяющим значительно сократить сроки лечения (Худяев А.Т. с соавт., 2005). Но при выборе внешнего

транспедикулярного спондилосинтеза как основного метода лечения необходима 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 за счет длинных винтов репозиция более эффективна (Padalkar P. et al., 2017). Другие считают, что длинные винты в поврежденном позвонке не влияют на вправление перелома, но лучше могут поддержать восстановленную переднюю высоту и уменьшить потерю кифоза (Zhang G. et al., 2022). Установка педикулярного винта в сломанный позвонок во время выполнения лигаментотаксиса приводит к дополнительной декомпрессии содержимого позвоночного канала и уменьшению послеоперационной боли (Rezvani M. et al., 2023). К.С. Kose с соавторами (2014) используют короткие тонкие промежуточные винты из-за риска смещения внутриканальных костных фрагментов. К методам не прямой декомпрессии может добавляться прямая декомпрессия за счет 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 заключается в предварительном моделировании штанг перед установкой, фиксации штанг сверху или снизу от перелома. За счет ручных приемов с дистракцией и лордозированием штанги вставляются и притягиваются к остальным винтам (Farcy J.P. et al., 1990; Kose K.C. et al., 2014; Pellisé F. et al., 2015). Также лордоз создается за счет изгиба штанги в ране с уже фиксированными винтами (Choo C.H. et al., 2018).

Эффективность не прямой репозиционной декомпрессии позвоночного канала в нижнегрудном и поясничном отделах коррелирует с процентом компрессии позвоночного канала и сопоставима с декомпрессивной ламинэктомией (Афаунов А.А. с соавт., 2016; Венек Н.В., 2021). На уровне L1 и LII позвонков не прямая декомпрессия была более эффективна, чем на уровне

ThXI, ThXII (Benek H.V. et al., 2021). По результатам Y. Song с соавторами (2022), эффект редукции лучше на уровне ThXII и L1, чем на уровне LII. Причина связана с анатомией задней продольной связки, у которой наибольшая прочность в грудопоясничном переходе.

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

1. Штанга фиксируется двумя дистальными винтами с одной стороны. Расширителем разводятся остистые отростки, штанга вставляется в проксимальные головки винтов. Затягиваются гайки винтов, затем фиксируется штанга с другой стороны с добавлением двух поперечных штанг.

2. После фиксации штанг в дистальных винтах остистые отростки разводятся с помощью щипцов вручную, и штанга направляется в проксимальные головки винтов. Остальные этапы проводились, как и в первой методике.

3. Короткие штанги поперечно фиксируются в проксимальных и дистальных винтах для маневров при редукции вместо щипцов, что позволяет прилагать большие усилия при редукции. Вставляется и фиксируется короткая штанга с одной стороны, затем разбираются поперечные штанги с дистальных винтов, с другой стороны фиксируется длинная штанга, затем с противоположной стороны короткая штанга меняется на длинную.

4. Короткие штанги фиксируются выше и ниже вывиха с одной стороны вертикально, а с другой стороны в дистальные винты фиксируется длинная штанга. После ручной редукции длинная штанга вставляется в проксимальные винты и фиксируется, затем демонтируются короткие штанги с противоположной стороны и меняются на длинную.

5. Метод применяется в основном при частичных неврологических нарушениях. Две длинные штанги с двух сторон фиксируются в дистальных винтах. Удаляются фасеточные суставы, выполняется широкая ламинэктомия для визуализации невральных структур. Инструментальным маневром штанги вставляются в проксимальные винты и затягиваются.

S. Hadgaonkar с соавторами (2017) предложили для редукции использовать 4 короткие штанги, фиксированные вертикально выше и ниже повреждения. Если редукция кажется достижимой, для поддержания стабильности следует не подкусывать фасетки. Данная компоновка коротких штанг, с одной стороны, облегчает редукцию, а с другой стороны, затрудняет выполнение окончательной фиксации при замене коротких штанг на длинные.

Достаточно эффективное вправление вывихов позвонков осуществляется с помощью транспедикулярной системы ООО МТФ «Синтез» (Кузьменко А.В., 2017). Монтируется внешняя репозиционная система, состоящая из четырех центральных стержней, жестко закрепленных на головках винтов. В условиях фиксации и distraction осуществляется дозированное встречно направленное перемещение стержней, закрепленных в винтах. В результате таких действий устраняется локальный кифоз и осуществляется редукция вывихнутого позвонка.

Технику вправления при полном переломовывихе на уровне LI-LII без неврологических расстройств описал J. Zeng с соавторами (2018). Транспедикулярные винты введены в тела ThXII, LI, LIII, LIV, LV позвонков с двух сторон, и с одной стороны винт введен в тело LII позвонка, выполнена ламинэктомия LI и LII. Винт в теле LII позвонка играет основную роль при манипуляциях при вправлении.

Выполнение ламинэктомии перед редукцией увеличивает вероятность травмы спинного мозга при случайном соскальзывании инструментов (Hadgaonkar S. et al., 2017). При лечении неосложненных переломов грудного отдела позвоночника, в большинстве случаев после не прямой декомпрессии, нет необходимости в выполнении ламинэктомии (Yuan L. et al., 2019).

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

Доказано, что ламинэктомию нужно выполнять на один уровень выше и ниже перелома, иначе в малом ламинэктомическом «окне» происходит еще большее вторичное повреждение из-за ущемления спинного мозга при продолжающемся отеке (Рамих Э.А., 2008; Аганесов А.Г., 2013).

Причинами сохраняющегося сдавления спинного мозга и его корешков в позвоночном канале являются отказ от выполнения декомпрессии, ламинэктомия на недостаточном протяжении и ошибки в 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 приводит к ослаблению фиксации, формированию комбинированных вторичных деформаций, нередко сопровождающихся появлением или усугублением неврологической симптоматики (Шульга А.Е. с соавт., 2015; Афаунов А.А., Кузьменко А.В., 2016; Дулаев А.К. с соавт., 2018).

Иногда возникают сомнения, была ли достигнута эффективная декомпрессия канала с помощью этих не прямых средств за счет возможного повреждения задней продольной связки. Е.К. Валеев с соавторами (2015) предлагают интраоперационно выполнять контрастирование переднего эпидурального пространства для определения дальнейшей тактики хирургического лечения.

Закрытая прямая декомпрессии позвоночного канала выполняется методами вертебропластики, баллонной кифопластики, внутрителовых расширителей

(Korovessis P. et al., 2006; Giordan E. et al., 2022). Показанием к использованию внутрителового расширителя SpineJack для прямой декомпрессии позвоночного канала являются переломы типа A2-A3 и кифоз до 15 градусов, не нуждающийся в непрямой редукции (Giordan E. et al., 2022). При расширении он изнутри воздействует на сломанную кортикальную пластинку, расправляя ее, выполняет прямую декомпрессию позвоночного канала и способствует заживлению диска.

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

В исследовании Т. Miyashita с соавторами (2012) указывалось, что нет необходимости в декомпрессии позвоночного канала с внутриканальными костными фрагментами. При осложненных переломах груднопоясничного отдела выполнялась фиксация в исходном положении без репозиции и декомпрессии. Оценивали ремоделирование позвоночного канала и неврологическое восстановление с продолжительностью наблюдения в среднем 39,6 месяцев. На момент исследования средняя компрессия позвоночного канала составляла 41,6%, и не наблюдалось корреляции между степенью компрессии и неврологическим дефицитом. Через 2-3 недели у всех пациентов со стенозом позвоночного канала более 30,0% наблюдалось ремоделирование позвоночного канала. На заключительном этапе у всех пациентов с частичным нарушением спинальной проводимости наблюдалось улучшение как минимум на одну степень по Frankel.

При переломах позвонков в верхнепоясничном отделе с неврологическим дефицитом, когда нет необходимости выполнять ламинэктомию и ревизию содержимого позвоночного канала, предложена декомпрессия через треугольник Камбина с погружением отломков в сторону тела поврежденного позвонка (Zhang B. et al., 2019). Для достижения прямой декомпрессии при лечении перелома верхнего поясничного отдела позвоночника с неврологическим дефицитом использовали доступ Вильце (Zhang B. et al., 2019). Задний трансфораминальный доступ для декомпрессии безопасен и биомеханически



надежен, поскольку рабочая зона может быть получена без ретракции спинного мозга (Feng Z. et al., 2015). К недостаткам доступа относится остановка кровотока из эпидуральных вен и недостаточная визуализация при ликворее во время выполнения декомпрессии (Li C. et al., 2017).

Для открытой декомпрессии после ламинэктомии предложены специальные инструменты, с помощью которых костные фрагменты вдавливаются в тело позвонка (Deng Z. et al., 2014). Используется и трансдуральное вправление костных фрагментов, выступающих в позвоночный канал (Saruta W. et al., 2021).

Сравнение не прямой декомпрессии и прямой открытой декомпрессии при осложненных и неосложненных переломах типа A4 по классификации AO Spine не выявило существенных клинических и рентгенологических различий (Kose K.C. et al., 2020).

Одним из новых направлений в хирургии позвоночника является сочетание эндоскопической и навигационной технологий, выполняемых с помощью 3D моделирования позвоночного столба непосредственно на операционном столе (Крылов В.В. с соавт., 2014). Минимально инвазивные методы позволяют выполнить чрескожную фиксацию, расправить тело позвонка (Бывальцев В.А. с соавт., 2019). С помощью эндоскопической техники можно выполнить как декомпрессию, так и фиксацию (Hoffmann C. et al., 2020; Huang Z. et al., 2020).

## **1.6 Современные подходы к изучению транспедикулярной фиксации при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов**

Переломы позвонков нижнегрудного и поясничного отделов являются одним из наиболее распространенных видов травм позвоночника, в значительном количестве случаев требующих хирургического лечения с применением стабилизирующих конструкций. Методы задней фиксации развивались несколько десятилетий. Подробно этапы совершенствования фиксации позвоночника изложены в

работах некоторых 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 основополагающий этап формирования одного из современных направлений транспедикулярной фиксации (ТПФ) пластинами. Для редукции позвонка были впервые применены 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. При своих преимуществах наружная система не получила широкое распространение из-за потенциального риска осложнений и особенностей ведения пациентов. В 1982 году W. Dick впервые применил внутреннюю стержневую транспедикулярную фиксацию, получившую название «fixateur interne», которая послужила в дальнейшей разработке внутренних стержневых конструкций (Dick W., 1987). Один из внутренних фиксаторов вошел в серийное производство под названием «фиксатор АО». В этом же году появилась внутренняя стержневая транспедикулярная система, разработанная P. Kluger, в которой фиксатор представлен телескопическими штангами (Kluger P., 1989). Почти в это же время в США развивается 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 последующем начали быстро развиваться имплантаты для внутренней фиксации на основе транспедикулярных винтовых систем и в нашей стране. 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). Из первых отечественных стержневых транспедикулярных имплантатов следует отметить устройство для педикулокорпорального остеосинтеза позвоночника, разработанное в 1995 году В.Д. Усиковым (Усиков В.Д. с соавт., 1996). Постепенно транспедикулярная фиксация легла в основу лечения нестабильных переломов позвоночника в грудном и поясничном отделах 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 и возможности проведения интраоперационной коррекции деформации позвоночника, создания благоприятных условий для сращения позвонка и возможности проведения ранней реабилитации неоднократно отмечалось авторами (Макаревич С.В., 2018).

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

Хорошо зарекомендовала себя временная моносегментарная чрескожная фиксация, применяемая при дистракционных повреждениях (Kitamura K. et al., 2022). Цель фиксации в данном случае состоит в сращении сломанного позвонка, а не позвонков друг с другом. При двухсегментарной короткой фиксации

используется от 4 до 6 винтов, что является самым оптимальным методом фиксации. Несмотря на сообщения о неудовлетворительных результатах фиксации короткого сегмента, ее применение остается предпочтительным выбором при большинстве травм груднопоясничного отдела, поскольку она проста в выполнении и дает приемлемые клинические результаты (Jindal R. et al., 2020).

Стендовые испытания показали, что коэффициент жесткости при четырехвинтовой фиксации был ниже физиологических образцов на 39,0% при дефекте 1/6 тела позвонка и 63,0% – при дефекте 1/3 тела позвонка (Wang X.Y. et al., 2008). Показанием для короткосегментарной фиксации являются переломы типа А3 (Паршин М.С., 2019). При повреждениях позвоночника типов А4, В и С, T.G. Perry с соавторами (2014) не рекомендуют использование короткосегментарной фиксации.

Разные модификации короткосегментарной фиксации помогли снизить частоту осложнений. Введение транспедикулярных винтов в поврежденный позвонок называется промежуточной транспедикулярной фиксацией (Ye C. et al., 2017). Клинико-экспериментальные исследования свидетельствуют о целесообразности дополнительного введения промежуточных транспедикулярных винтов в поврежденные позвонки (Dobran M. et al., 2016). Стабильность транспедикулярной системы, дополненной промежуточными винтами, по данным биомеханического моделирования, выше, чем стабильность стандартных конструкций (Лихачев С.В. с соавт., 2021).

При моделировании разных компоновок конструкции промежуточная фиксация укрепляет конструкцию и создает возможности ее использования при переломах типов А4, В и С (Yaman O. et al., 2021). V. Bartanusz с соавторами (2015) в эксперименте на биомеханической модели обнаружили, что винтовая фиксация короткого сегмента с промежуточными винтами биомеханически эквивалентна комбинированным переднезадним конструкциям. По данным H.S. Kim с соавторами (2009), фиксация промежуточного сегмента дополнительной парой винтов при короткой фиксации на уровне перелома позвонка дает результаты, сопоставимые или даже лучшие, чем фиксация длинного сегмента, а также дает

преимущество в сохранении дополнительного подвижного сегмента. Исследования доказали, что транспедикулярная конструкция с промежуточными винтами на уровне перелома позволила достичь хороших показателей коррекции посттравматической кифотической деформации, способствовала повышению стабильности металлоконструкции и меньшей потере коррекции угла Кобба, меньшим поломкам имплантатов (Elmasry S. et al., 2017). Проведенный метаанализ показал, что отдаленные рентгенологические результаты лучше в группе больных с длинной фиксацией, а клинические результаты 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).

Основными параметрами, характеризующими стабильность остеосинтеза, являются жесткость и предел упругости костно-металлического блока. Экспериментальное исследование показало, что трех- и четырехсегментарная фиксация может привести к чрезмерной жесткости системы (на 25,0-30,0% выше физиологических значений в случае сжатия и в среднем на 60,0% выше при сгибании) (Szkoda-Poliszuk K., Załuski R. A., 2022). Четырехсегментарная фиксация характеризуется большей протяженностью фиксации и большим ограничением двигательной функции по сравнению с фиксацией двух соседних сегментов. На модели перелома ThXII позвонка коэффициент жесткости между трех- и четырехсегментарной фиксацией существенно не отличался. Использование четырехвинтовой фиксации привело к снижению жесткости по сравнению со значением, полученным для физиологических образцов при сгибании на 41,0%. С другой стороны, вовлечение для фиксации трех и четырех сегментов вызвало значительное увеличение коэффициента жесткости по сравнению со значениями, полученными для физиологических образцов. Эти значения были больше примерно на 73,0%. Коэффициент осевой жесткости для группы физиологических образцов составил в среднем  $453 \pm 58$  Н/мм. Учитывая биомеханические аспекты, трехсегментарная фиксация представляется компромиссным решением, поскольку избавляет пациента от более выраженной жесткости позвоночно-двигательных сегментов (Szkoda-Poliszuk K., Załuski R. A., 2022).

Протяженная ТПФ нашла применение при нестабильных переломах позвонков типа А4 (Паршин М.С., 2019), типов В и С, а также при переломах верхне- и среднегрудного отдела позвоночника (Spiegel U.J. et al., 2021). Протяженная ТПФ также предпочтительна при остеопорозе (Wu Y. et al., 2019).

Как ни парадоксально, включение винтов на уровне перелома в длинных конструкциях снижало ее жесткость, повышало подвижность смежных сегментов (Elmasry S. et al., 2017), но способствовало более равномерному распределению напряжения вдоль сегментов. По данным М. McDonnell с соавторами (2016), винты на уровне перелома не улучшали стабильность при фиксации короткого или длинного сегмента (McDonnell M. et al., 2016).

Поперечные штанги обеспечивают дополнительную стабильность при осевом вращении, но меньшее влияние оказывают при сгибании-разгибании и наклонах (Piccone L. et al., 2020). Биомеханические свойства поперечных штанг изучены на конечно-элементных моделях поясничного отдела позвоночника. Применение поперечных штанг признано неэффективным при односегментарном остеосинтезе и весьма полезным при многосегментарном, причем расположение поперечных штанг в среднем или нижнем положении привело к лучшей биомеханической стабильности (Han L. et al., 2022). Поперечные штанги ставились 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 костной ткани (Леонова О.Н. с соавт., 2022). По данным СКТ, значение минеральной плотности костной ткани на уровне 135 единиц Хаунсфилда (НУ) квалифицировалось как пороговое значение между нормальной и сниженной. Выраженность остеопороза коррелирует с потерей достигнутой коррекции деформации (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).

Потеря коррекции деформации была больше при использовании полиаксиальных винтов (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-Polizuk 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 данных современной отечественной и зарубежной литературы показал многообразие вариантов хирургического лечения пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, которые включают три основных этапа: восстановление биомеханической оси позвоночника, декомпрессия содержимого позвоночного канала и надежная фиксация позвоночника. Однако при восстановлении поврежденного отдела позвоночника ввиду большого многообразия анатомического строения позвоночника использование эталонных значений угловых параметров сопряжено с большими погрешностями. Планирование хирургического лечения с расчетом исходных целевых параметров поврежденного отдела позвоночника в грудном и поясничном отделах недостаточно освещено в литературе.

Сохраняющиеся неудовлетворительные результаты лечения позвоночно-спинномозговой травмы требуют совершенствования объема и методов лечения. Отмечается тенденция к выполнению всего объема оперативного лечения из одного заднего доступа с использованием малоинвазивных технологий. Применение современных навигационных систем для оперативного лечения недоступно многим клиникам из-за финансовых затрат и дополнительного вовлечения инженерных работников. Несмотря на очевидный прогресс в совершенствовании технологий фиксации поврежденного позвоночника, частота осложнений после остеосинтеза остается достаточно высокой.

Из-за использования в исследованиях различных углов деформации позвоночника методы оценки результатов лечения различными авторами не являются унифицированными, что затрудняет их объективное сравнение. Комплекс описанных выше факторов обусловил актуальность настоящего исследования, позволил сформулировать его цель и задачи.

## ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Общая характеристика диссертационного исследования

С целью решения поставленных задач диссертационной работы нами был разработан дизайн исследования, который включил в себя шесть этапов.

1-й этап. Изучение отечественной и иностранной литературы, посвященной морфометрическим исследованиям позвоночника, проблеме хирургического лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов. Проведенный анализ научной литературы позволил нам определить актуальность диссертационного исследования, уточнить его цель и задачи, лучше спланировать последующие морфометрические, стендовые и клинические исследования.

2-й этап. Морфометрическое исследование было проведено на неповрежденных грудном и поясничном отделах позвоночника по данным СКТ у 25 человек. На модели «здорового» позвоночника, состоящей из трех тел позвонков и четырех смежных дисков, разработана методика математических расчетов исходных вертикальных размеров тела позвонка со смежными дисками и сегментарного угла. Для оценки передних и задних размеров тела позвонка со смежными дисками нами введены анатомические термины: передние и задние «межтеловые промежутки». Используемый нами сегментарный угол оценивается в пределах межтеловых промежутков. При разработке методики расчетов формировались 3 группы: 1-я группа – фактические измерения вертикальных размеров тела позвонка со смежными дисками или «межтеловые промежутки» с сегментарного угла; 2-я группа – рассчитанные размеры межтеловых промежутков и сегментарного угла по размерам смежных тел позвонков и межпозвоночных дисков; 3-я группа – рассчитанные размеры межтеловых промежутков и сегментарного угла по размерам смежных тел позвонков и средним размерам межпозвоночных дисков, взятых из литературных источников.

Данную группу мы ввели для того, чтобы показать, насколько расчеты параметров межтеловых промежутков и сегментарного угла отличаются при использовании индивидуальных размеров межпозвоночных дисков и использовании средних размеров дисков у пациентов схожего пола и возраста.

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

3-й этап. Клинико-морфометрическое исследование на поврежденных грудном и поясничном отделах позвоночника. Разработка методики интраоперационного восстановления рассчитанных параметров межтеловых промежутков и сегментарного угла, а также компьютерной программы для математических расчетов и архивирования данных параметров.

Модуль клинико-морфометрического исследования включил:

- ретроспективное изучение 50 больных с ПСМТ грудного и поясничного отделов позвоночника по данным СКТ до и после операции. Изучалось влияние факторов и величин межтеловых промежутков и сегментарного угла на восстановление поврежденного тела позвонка;

- ретроспективное изучение 45 больных с ПСМТ на уровне L1 позвонка по данным СКТ до и после операции. Изучалось влияние факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала.

Разработка методики интраоперационного восстановления рассчитанных параметров межтеловых промежутков и сегментарного угла проводилось во время дозированной аппаратной репозиции позвоночника с использованием измерений на экране монитора ЭОП.

Результаты ретроспективного исследования пациентов с ПСМТ 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. Экспериментальное исследование для изучения прочностных характеристик различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах и оценка посредством математического моделирования методом конечных элементов устойчивости фиксации при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника:

- стендовые испытания по международным стандартам ASTM F1717 для определения прочностных характеристик различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах в зависимости от материала изготовления и их диаметра;

- на геометрической модели поясничного отдела позвоночника проведение математического моделирования методом конечных элементов в пакете программ Ansys, при котором имитировали различные виды травм и заболеваний позвоночника, для определения оптимальных характеристик работоспособности транспедикулярных устройств и устойчивости фиксации при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника на уровне LIII позвонка.

Стендовые испытания прочностных характеристик продольных штанг в транспедикулярных устройствах и проведение математического моделирования методом конечных элементов позволили решить четвертую задачу диссертационного исследования.

5-й этап. Следующим этапом в рамках реализации плана диссертационной работы нами было проведено усовершенствование дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств при ПСМТ грудного и поясничного отделов включало:

- разработку навигационного устройства для точного введения винтов при транспедикулярном остеосинтезе у больных с ПСМТ грудного и поясничного отделов;

- разработку способа репозиции позвоночника при ПСМТ грудного и поясничного отделов;

- разработку способа передней декомпрессии спинного мозга при переломах грудных и поясничных позвонков из трансфораминального доступа в остром периоде ПСМТ нижегрудного и поясничного отделов.

На данном этапе диссертационного исследования выполнялись 2 задачи. Разработка навигационной системы для точного проведения транспедикулярных винтов послужила решению пятой задачи, а разработка методик декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств позволила решить шестую задачу.

6-й этап. На завершающем этапе научно-исследовательской работы было проведено усовершенствование системы лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов, что послужило решению седьмой задачи.

Сравнительный анализ результатов хирургического лечения в двух группах больных, госпитализированных в разные временные периоды, а именно: до использования в предоперационном планировании математических расчетов и усовершенствованных дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств (120 пациентов – контрольная группа) и после их внедрения (96 пациентов – основная группа). Благодаря сравнительному анализу результатов хирургического лечения удалось решить восьмую задачу настоящего диссертационного исследования.

Всем 96 пациентам основной и 120 больным контрольной групп было выполнено хирургическое лечение, предусматривающее восстановление биомеханической оси позвоночника, декомпрессию содержимого позвоночного канала и надежную стабилизацию поврежденного отдела позвоночника. У всех пациентов хирургическая коррекция и стабилизация позвоночника проводились с применением ТПФ производства «Синтез» (Санкт-Петербург). Формирование групп исследования отражено на блок-схеме (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема формирования основной и контрольной групп для исследования

Отличие в лечении больных основной и контрольных групп заключалось в предоперационном планировании с расчетом основных параметров, используемых при коррекции деформации поврежденного отдела позвоночника; использовании при введении транспедикулярных винтов разработанного навигационного устройства, позволяющего повысить корректность их установки; применении усовершенствованных способов закрытой и открытой декомпрессии содержимого



позвоночного канала. Отслеживались ближайшие (до 6 месяцев) и отдаленные результаты лечения (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема оценки ближайших и отдаленных результатов лечения

При анализе эффективности лечения учитывались клиничко-неврологические и рентгенологические результаты, а также причины развития осложнений и выработка мер по их профилактике и лечению. Репрезентативные группы формировались по полу, возрасту, морфологии повреждения, локализации

и неврологическому статусу. Ближайшие результаты лечения оценивались у всех пациентов. Оценка отдаленных результатов лечения проводилась у 54 пациентов основной и 55 пациентов контрольной группы.

## **2.2 Общая характеристика пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

Клинический материал диссертационного исследования основан на опыте хирургического лечения 216 больных с ПСМТ грудного и поясничного отделов позвоночника за период с 2003 по 2022 годы, который включал ретроспективное и проспективное клинические исследования. Все пациенты оперированы на базе ГАУЗ «Брянская городская больница №1».

В исследование вошли пациенты с одноуровневыми повреждениями (повреждением тела позвонка с одним или двумя межпозвоночными дисками). Хирургическое лечение у всех больных предусматривало использование репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. Средний возраст больных составил  $31,5 \pm 4,8$  года, мужчин было – 143 (66,2%), средний возраст  $32,8 \pm 5,9$  года; женщин – 73 (33,8%), средний возраст  $31,8 \pm 4,5$  лет.

В связи с особенностью применяемых нами лечебных подходов больные были разделены на две группы. Контрольная группа состоит из 120 пациентов, у которых применялись традиционные методы репозиционно-стабилизирующего ТПО. Из данной группы набирались пациенты и для ретроспективного анализа.

В основную группу вошло 96 пациентов, у которых проводилось предоперационное планирование с математическими расчетами исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла, их восстановление транспедикулярной репозиционной системой «Синтез» (Санкт-Петербург), использовались усовершенствованные методы декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств.

В данной группе применялись:

- навигационное устройство (патент РФ на полезную модель № 211140);
- усовершенствованный способ репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах в грудном и поясничном отделах позвоночника (патент РФ на изобретение № 2753133);
- способ интраоперационного контроля за размерами межтеловых промежутков и сегментарным углом поврежденного сегмента грудного и поясничного отделов позвоночника по экрану монитора ЭОП;
- способ передней декомпрессии дурального мешка из трансфораминального доступа в остром периоде ПСМТ при недостаточной эффективности закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала (патент РФ на изобретение №2798042).

У 8 (8,2%) пациентов основной и 19 (15,8%) пациентов контрольной групп вторым этапом выполняли вентральную декомпрессию и фиксацию.

Основными принципами хирургического лечения пациентов явились стремление к раннему выполнению хирургической операции и одновременное выполнение нейрохирургического и ортопедического этапов. Для репозиции и фиксации позвоночника из вентрального или дорсального доступа использовались отечественные имплантаты фирмы «Синтез» (Санкт-Петербург).

В основной группе было 65 мужчин и 31 женщина, в контрольной группе – 78 мужчин и 42 женщины (рис. 3).

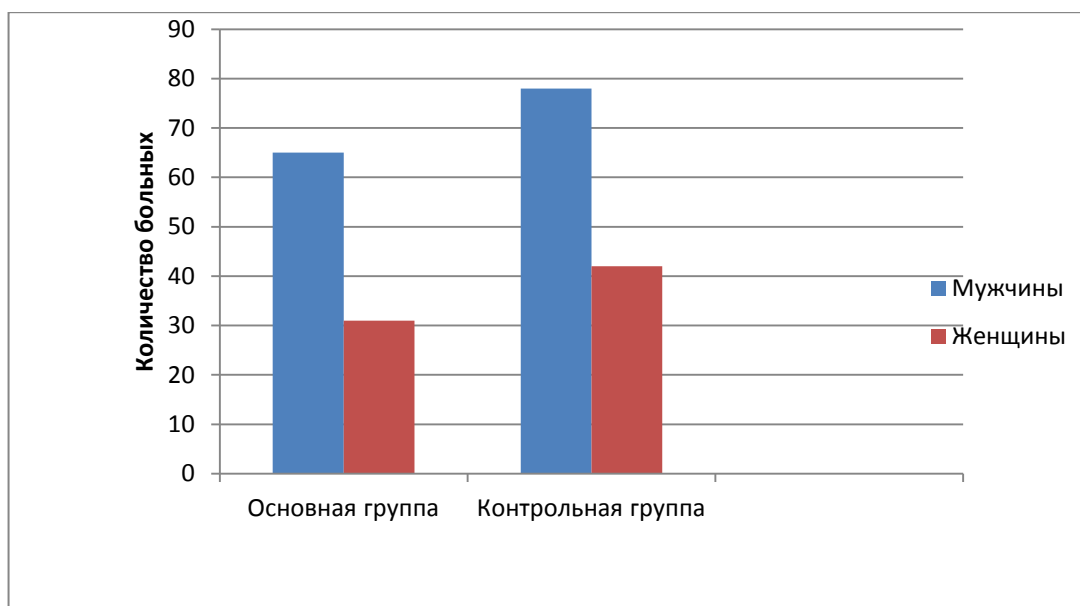


Рисунок 3 – Распределение больных основной и контрольной групп по полу

Распределение больных основной и контрольной групп по полу и возрасту представлено в таблицах 1 и 2. Средний возраст больных в основной группе составил  $31,2 \pm 6,7$  лет, в контрольной –  $32,3 \pm 7,1$  лет.

Таблица 1 – Распределение больных основной группы по полу и возрасту

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Итого
	абс.	%	абс.	%	
16-20	8	12,5	3	9,7	11
21-30	21	32,3	10	32,3	31
31-40	12	18,4	5	16,1	17
41-50	9	13,8	4	12,9	13
51-60	12	18,4	7	22,6	19
61-70	3	4,6	2	6,4	5
Всего	65	100	31	100	96

С сочетанной травмой было 46 (47,9%) пациентов основной и 62 (51,7%) – контрольной группы. Повреждение двух и более анатомических областей отмечалось у 12 (12,5%) пациентов основной и 17 (14,2%) пациентов контрольной группы.

Таблица 2 – Распределение больных контрольной группы по полу и возрасту

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Итого
	абс.	%	абс.	%	
16-20	9	11,5	6	14,3	15
21-30	28	35,9	12	28,5	40
31-40	13	16,7	7	16,7	20
41-50	10	12,9	7	16,7	17
51-60	14	17,9	8	19,1	22
61-70	4	5,1	2	4,7	6
Всего	78	100	42	100	120

Основными причинами травм были: кататравма – у 109, ДТП – у 86, падение на спину тяжелых предметов – у 12, другие причины травм – у 19 пострадавших (рис. 4).

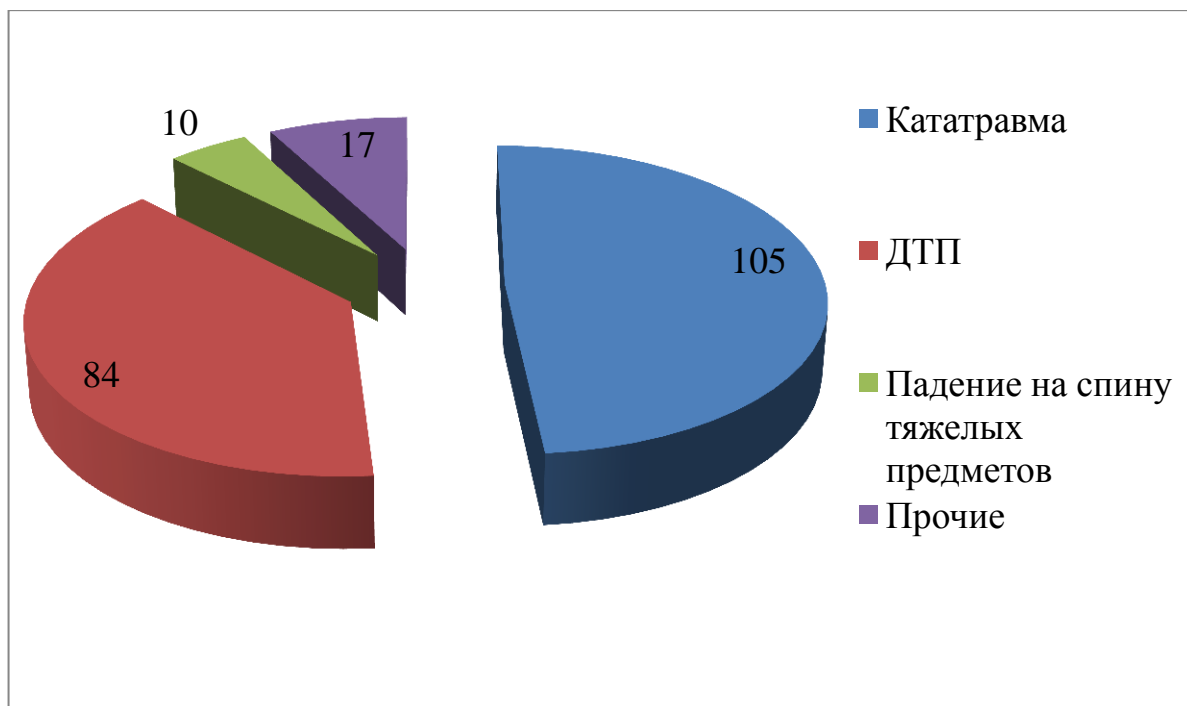


Рисунок 4 – Основные причины травм грудного и поясничного отделов позвоночника

Превалирующим механизмом травмы было падение с высоты. При анализе падений с высоты выявлено: падение с высоты до трех метров (включая высоту собственного роста) – 30 (28,6%); с высоты 3-6 метров – 41 (39,0%); 6-9 метров – 17 (16,2%); 9-12 метров – 13 (12,4%); выше 12 метров – 4 (3,8%) пациента.

Повреждения одного ПДС среди больных основной группы имело место в 56 (58,3%) случаях, повреждения двух ПДС – у 40 (41,7%) больных. Среди пациентов контрольной группы повреждения одного ПДС имело место в 74 (61,6%) случаях, повреждения двух ПДС – у 46 (38,4%) больных.

Морфологию повреждений костно-связочных структур оценивали по классификации AOSpine (Vaccaro A.R. et al., 2016) (приложение В). 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: травмы тел позвонков (передней опорной колонны) с неповрежденной задней опорной колонной без смещений и дислокации. Тип В: травма задней опорной колонны (травмы заднего связочного комплекса) сочетается с 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 больных по классификации AOSpine отражено в таблице 3, где преобладающим типом повреждения был перелом А4.

Таблица 3 – Распределение больных по классификации AOSpine

Тип перелома	Основная группа (n=96)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
A3	22	22,9	28	23,4
A4	44	45,8	52	43,3
B1	3	3,1	7	5,8
B2	9	9,4	10	8,4
B3	4	4,2	4	3,3
C	14	14,6	19	15,8
Всего	96	100	120	100

Наиболее часто повреждения позвоночника у пациентов как основной, так и контрольной групп локализовались на уровне ThXII-LII, что представлено на рисунке 5. Причем, преимущественно повреждения отмечались на уровне LI у 40 (41,7%) пациентов основной и 47 (39,2%) пациентов контрольной группы.

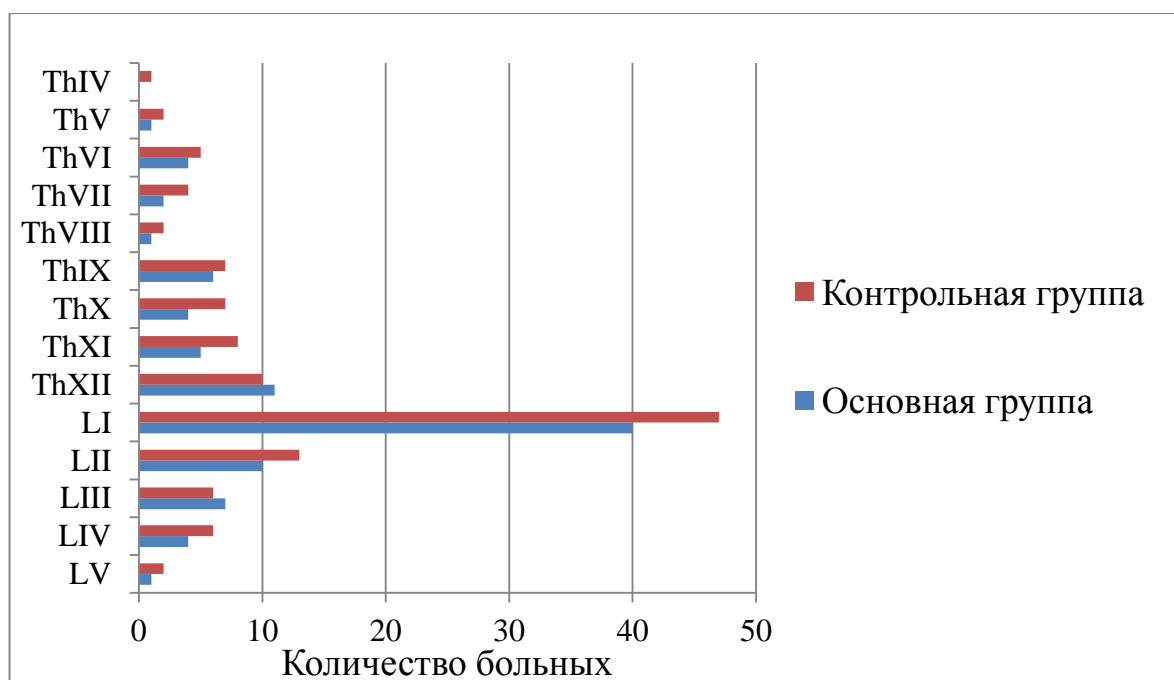


Рисунок 5 – Распределение больных основной и контрольной групп по уровням повреждения

Оценку тяжести травмы груднопоясничного отдела позвоночника проводили по классификации TLICS (Thoracolumbar injury classification and severity score) (Бывальцев В.А. с соавт., 2021).

Классификация основана на следующих признаках (приложение Б):

- 1) морфология травмы определяется рентгенографической картиной;
- 2) целостность заднего связочного комплекса;
- 3) неврологическое состояние пациента.

В 2015 г. A.R.Vaccaro с соавторами (2016) разработали цифровую интерпретацию классификации AOSpine с оценкой повреждений грудопоясничного отдела позвоночника. По набранным баллам определялась тактика лечения. При сумме баллов менее 4 рекомендуется консервативное лечение, а при сумме баллов более 5 – хирургическое лечение. Лечение пациентов с суммой баллов 4 или 5 должно основываться на опыте хирурга и техническом оснащении стационара и операционной. Данные по оценке тяжести травмы грудопоясничного отдела позвоночника отражены в таблице 4. Средний балл при оценке тяжести травмы грудопоясничного отдела по классификации TLICS в основной группе составил  $6,8 \pm 0,4$  балла, а в контрольной –  $6,7 \pm 0,5$  баллов.

Таблица 4 – Оценка тяжести травмы грудопоясничного отдела позвоночника по классификации TLICS в двух группах

Тяжесть травмы, баллы	Основная группа (n=96)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
5	20	20,8	28	23,3
6	32	33,4	36	30,0
7	13	13,5	21	17,5
8	14	14,6	15	12,5
9	14	14,6	16	13,4
10	3	3,1	4	3,3
Всего	96	100	120	100

Характер вертебро-медуллярного конфликта определялся травматическим стенозом или дефицитом просвета позвоночного канала, который имел место у всех больных основной и контрольной групп. Измерения выполнялись по данным СКТ. Дефицит просвета позвоночного канала составлял при поступлении от 20,0% до 100,0% сагиттального размера позвоночного канала (табл. 5).



Процент стеноза позвоночного канала рассчитывается по следующей формуле:

$$(((A+C)/2]-B) / ((A+C)/2) [10],$$

где А – канал выше зоны перелома, В – канал на уровне перелома, С – канал ниже зоны повреждения.

Таблица 5 – Характеристика дефицита просвета позвоночного канала в двух группах

Дефицит просвета позвоночного канала, %	Основная группа (n=96)		Контрольная группа (n=120)	
	абс.	%	абс.	%
20-30	12	12,5	18	15,0
31-40	15	15,6	20	16,7
41-50	23	23,9	29	24,2
51-60	29	30,2	32	26,7
61-70	9	9,5	10	8,3
71-80	5	5,2	6	5,0
81-90	1	1,0	2	1,6
91-100	2	2,1	3	2,5

Дефицит просвета позвоночного канала у 96 больных основной группы в среднем составил  $54,2 \pm 2,7\%$ , а в контрольной группе  $55,1 \pm 2,6\%$ . Учитывая, что у ряда больных будет выполнена ламинэктомия, оценка дефицита позвоночного канала будет затруднена. Мы дополнительно оценивали смещение фрагментов сломанного тела позвонка в просвет позвоночного канала, которое обозначили как X (измерялось от линии, проведенной вдоль задней поверхности тел смежных позвонков, до максимально смещенной точки костного фрагмента). Смещение костных фрагментов далеко не всегда совпадает с дефицитом просвета позвоночного канала. Так, в основной группе это расстояние перед операцией составило  $8,2 \pm 1,1$  мм, в контрольной группе –  $8,3 \pm 0,9$  мм.

Боль различного характера и интенсивности являлась наиболее частой жалобой при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника. По характеру вертеброгенного болевого синдрома различали локальную, диффузную и корешковую боль. В зависимости от выраженности ощущений боль условно

подразделяли на незначительную, умеренную, выраженную и резко выраженную. Для оценки интенсивности болевого синдрома всем пациентам применяли визуальную аналоговую шкалу (VAS) (приложение А). Характеристика интенсивности болевого синдрома по ВАШ наглядно отражена на рисунке 6. По данной шкале средний балл при поступлении составил в основной группе –  $7,5 \pm 0,9$ ; в контрольной –  $7,4 \pm 0,8$ .

Клинико-неврологический осмотр прежде всего был направлен на выявление нарушений проводимости спинного мозга и 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 Г).

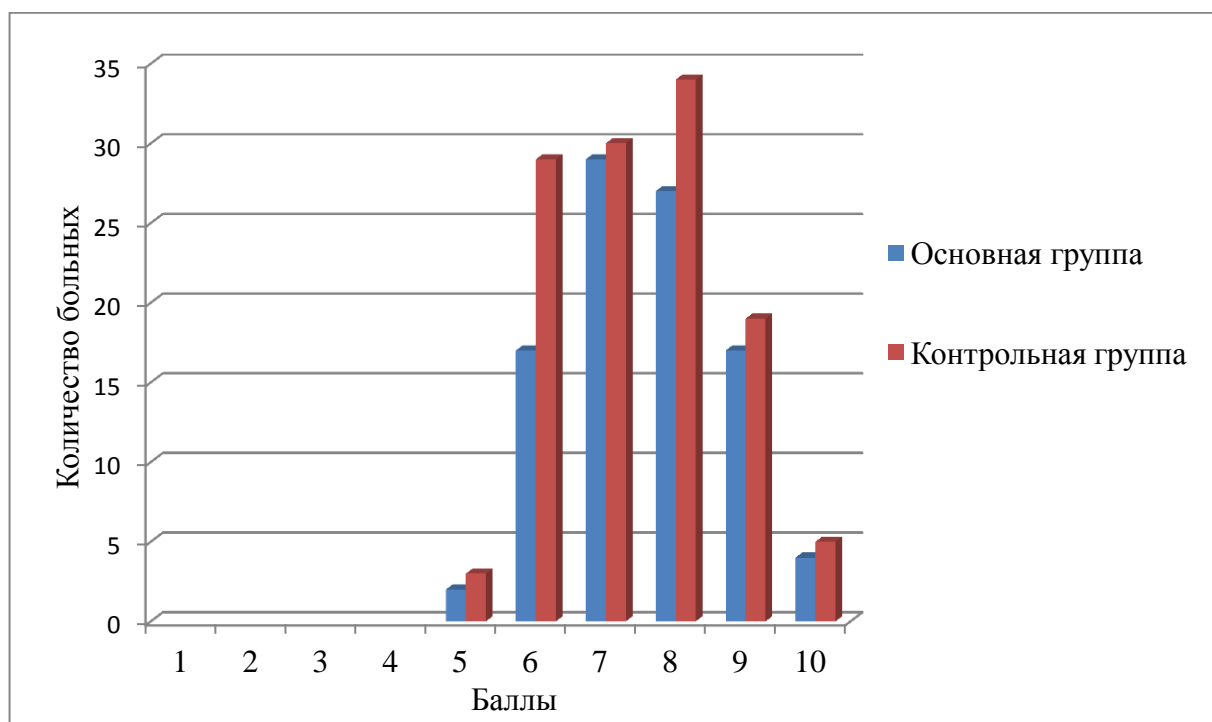


Рисунок 6 – Характеристика интенсивности болевого синдрома в спине в основной и контрольной группах по ВАШ

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 13 пациентов основной группы и 18 пациентов контрольной группы отмечалось полное нарушение спинальной проводимости – степень А по ASIA (рис. 7).

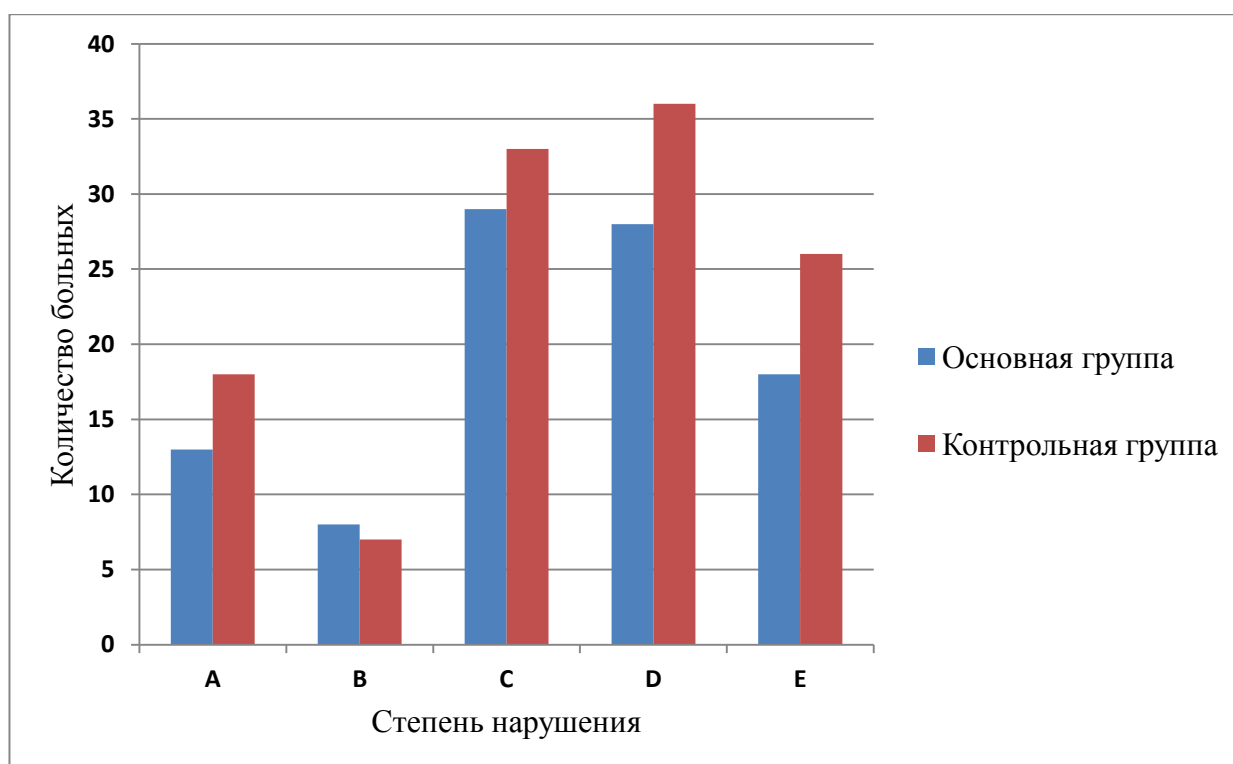


Рисунок 7 – Неврологические нарушения в двух группах по ASIA в абсолютных числах

Нарушения степени В выявлено у 8 человек основной и 7 больных контрольной группы. Степень С в основной и контрольной группах была соответственно у 29 и 33 пострадавших. Со степенью D в основной группе

выявлено 18, а в контрольной 26 пострадавших. Пациенты без неврологического дефицита не оценивались по шкале повреждений ASIA.

В процентном соотношении по степени повреждения сравниваемые группы смотрятся более однородными (рис. 8).

Исходные передние (AVH) и задние (PVH) размеры тела поврежденного позвонка рассчитывались по размерам соседних тел позвонков. Отношение фактического размера тела поврежденного позвонка к рассчитанному размеру, умноженное на 100%, указывает на снижение в процентах его передней или задней высоты. Передние размеры тел позвонков в основной группе были снижены до  $59,6 \pm 4,1\%$ , в контрольной – до  $58,2 \pm 4,2\%$ . Задние размеры тел позвонков в основной группе были снижены до  $91,3 \pm 2,2\%$ , в контрольной – до  $91,7 \pm 2,8\%$ .

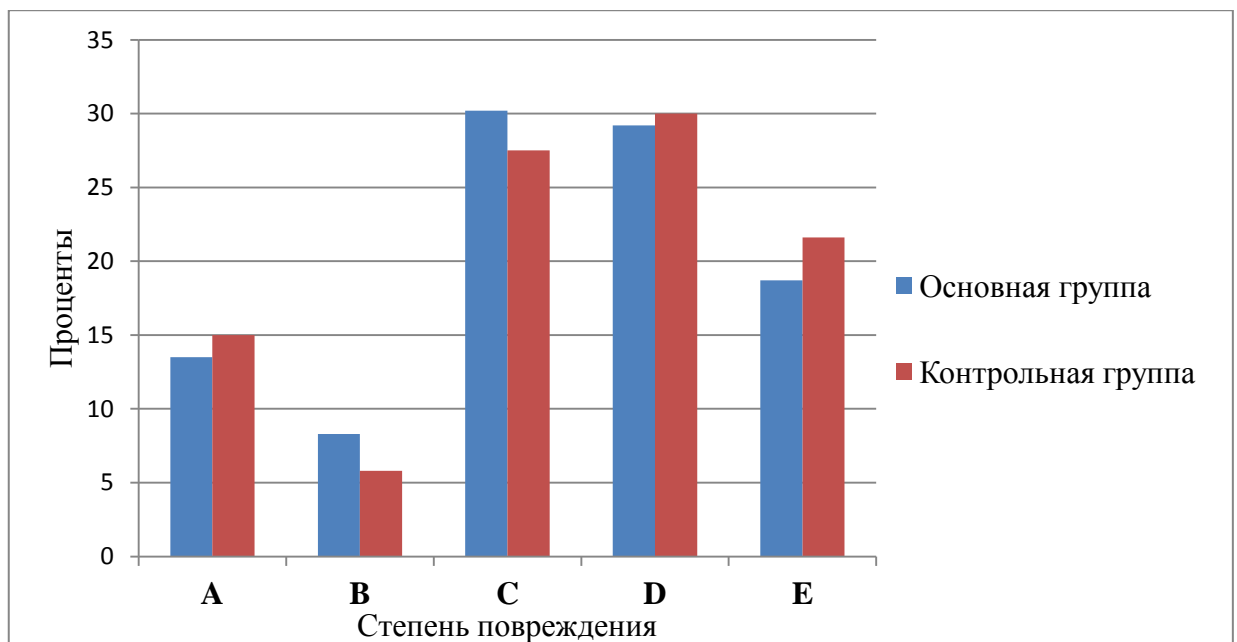


Рисунок 8 – Неврологические нарушения в двух группах по ASIA в процентах

Кифотическая деформация определялась по срединному сагиттальному срезу КТ методом Cobb. Угол измерялся нами по ближайшим замыкательным пластинкам тел, смежных с поврежденным позвонком. Локальный кифоз в травмированных ПДС в основной и контрольной группах был примерно

одинаковым и составлял в основной группе  $13,6 \pm 1,8$  градусов, в контрольной группе –  $14,1 \pm 1,9$  градусов.

В остром и раннем периодах травмы оперировано подавляющее большинство пациентов как основной, так и контрольной групп (рис. 9). В абсолютном и процентном соотношении количество пациентов по срокам оперативного лечения в основной группе: острый период – 56 (58,3%) человек; ранний период – 33 (34,3%); промежуточный период – 7 (7,3%). В контрольной группе соответственно: 65 (54,2%), 45 (37,5%) и 10 (8,4%). Средний срок от травмы до оперативного лечения в основной группе –  $6,2 \pm 3,1$  дня, в контрольной –  $7,1 \pm 3,2$  дня.

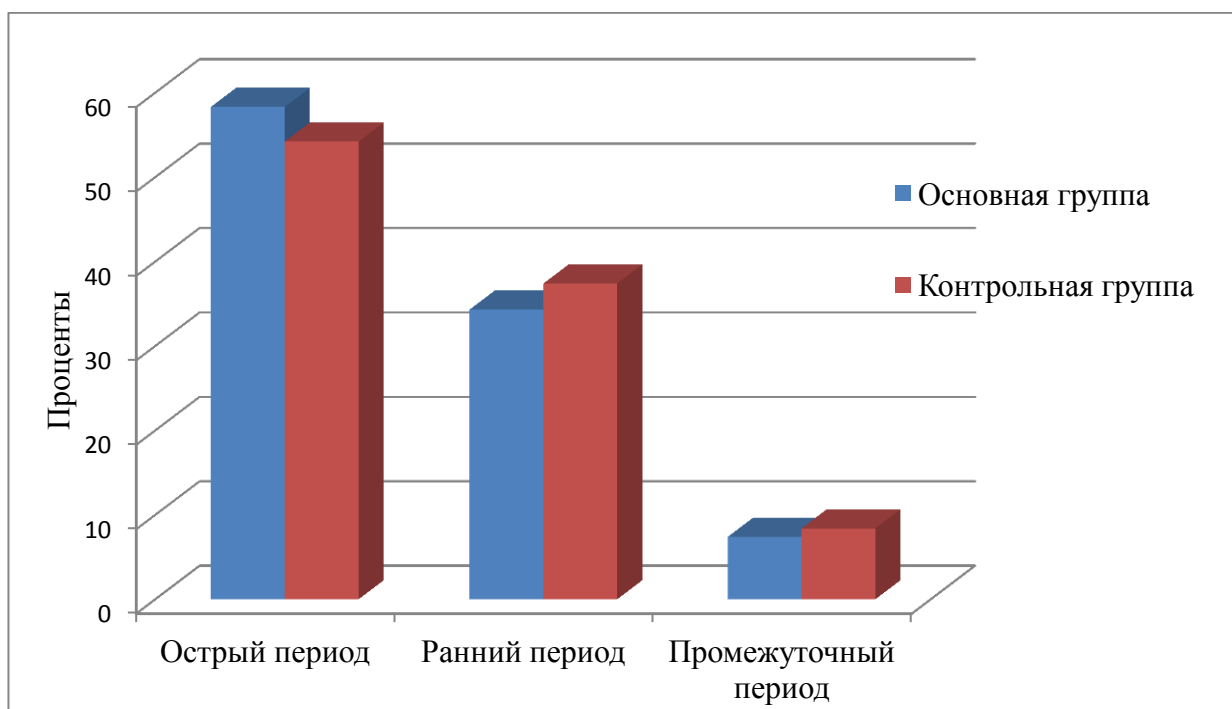


Рисунок 9 – Распределение пациентов основной и контрольной групп в зависимости от срока с момента травмы до оперативного лечения

Сравнение пациентов основной и контрольной групп по вышеописанным основным клиническим и спондилометрическим параметрам было проведено с помощью t-критерия Стьюдента для парных выборок с уровнем значимости  $p < 0,05$ . Результаты статистической обработки представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительная характеристика пациентов основной и контрольной групп

Параметры	Основная группа (n=96)	Контрольная группа (n=120)	Значение вероятности (p)	Достоверность различий
Пол, м/ж	65/31	78/42	0,098	p>0,05
Возраст, лет	31,2±6,7	32,3±7,1	0,356	p>0,05
ВАШ, баллы	7,5±0,9	7,4±0,8	0,542	p>0,05
Дефицит просвета позвоночного канала, %	54,2±2,7	55,1±2,6	0,312	p>0,05
Сроки от травмы до операции, дни	6,2±3,1	7,1±3,2	0,082	p>0,05
Передняя высота тела позвонка, %	59,6±4,1	58,2± 4,2	0,272	p>0,05
Задняя высота тела позвонка, %	91,3±2,2	91,7±2,8	0,462	p>0,05
Смещение фрагментов в просвет – X, мм	8,2±1,1	8,3±0,9	0,490	p>0,05
Локальный кифоз, град.	13,6±1,8	14,1±1,9	0,355	p>0,05
Тяжесть травмы по TLICS, баллы	6,8±0,4	6,7±0,5	0,503	p>0,05

Проведенная статистическая обработка цифровых данных не выявила статистически значимых различий в исследуемых группах, что подтверждает статистическую сопоставимость основной и контрольной групп по основным клиническим и спондилометрическим параметрам.

Таким образом, клинический материал диссертационного исследования представлен двумя практически идентичными по возрастным и половым параметрам группами больных с повреждениями нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника, несмотря на различную численность (n=120 и n=96) в группах.

## **2.3 Методы исследования**

Для оценки состояния больных, травмированного отдела позвоночника и спинного мозга использовались клинический, рентгенологический, компьютерно-томографический, магнитно-резонансно-томографический, неврологический, 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 полученной информативности используемого диагностического метода.

### **2.3.1 Клинический метод исследования**

Важное место в субъективном исследовании больных занимали тщательно собранный анамнез и анализ обстоятельства травмы. В исследование входило: осмотр, изучение жалоб больного, 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 изолированной травмой позвоночника без неврологических нарушений выполнялась рентгенография позвоночника в двух проекциях по локализации боли. При выявлении травматического повреждения на рентгенограммах для уточнения характера повреждения

позвоночника выполнялась СКТ. Пациентам после ДТП или кататравмы проводилось СКТ-исследование всего позвоночника на этапе госпитализации без предварительной рентгенографии.

Больные, госпитализированные в клинику переводом из других ЛПУ, как правило, имели результаты вышеназванного обследования. В таких случаях проводилось необходимое клиническое дообследование. Пациенты, доставляемые в клинику с места получения травмы бригадами скорой помощи, учитывая обстоятельства и механизм травмы, обследовались в клинике в полном объеме по алгоритму диагностического поиска сочетанных травм, включающему СКТ головы, груди, живота и таза.

При оценке данных СКТ учитывали: тип повреждения позвонков, уменьшение высоты тела позвонка, степень сужения позвоночного канала, размеры и положение внутриканальных костных фрагментов, кифотическую и сколиотическую деформацию поврежденного сегмента позвоночника, а также наличие переломов дужек, суставов и остистых отростков, наличие вывихов. Количественные характеристики смещений опорных структур травмированных ПДС определяли с использованием общепринятых спондилометрических критериев.

По данным СКТ проводили предоперационное планирование для траектории проведения педикулярных винтов и выполняли морфометрические измерения для последующих расчетов вертикальных и угловых величин, необходимых для восстановления исходной анатомии поврежденного сегмента. Подробно техника измерения отражена в главе 3. Всем пациентам выполнялся СКТ-контроль после операции. У ряда больных для контроля качества закрытой репозиционной декомпрессии дурального мешка во время выполнения ТПФ производили интраоперационную миелографию, по результатам которой определяли показания к открытой декомпрессии.

МРТ позволяла уточнить природу вертебро-медуллярного конфликта, характер и протяженность повреждения спинного мозга, оценить целостность заднего связочного комплекса. Перед операцией МРТ была выполнена 27 (12,5%) пострадавшим.



### **2.3.3 Морфометрический метод исследования**

После проведения мультипланарной реконструкции в формате DICOM по срединному сагиттальному срезу осуществляли морфометрические измерения: передней и задней высоты тела поврежденного и соседних позвонков; передней и задней высоты дисков над вышележащим и под нижележащим телом от поврежденного позвонка; верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка; величины смещения костного фрагмента в позвоночный канал от проекционной линии передней стенки позвоночного канала, минимального диаметра позвоночного канала на уровне повреждения и на соседних уровнях. Кифотическую деформацию оценивали по методу Cobb – измерением угла, образованного двумя прямыми, проходящими по ближайшим к поврежденному позвонку замыкательным пластинкам тел позвонков. По срединному коронарному срезу оценивали угол сколиотической деформации по методу Cobb, образованный двумя прямыми, проходящими по ближайшим к поврежденному позвонку замыкательным пластинкам тел позвонков. В аксиальной проекции измеряли ширину позвоночного канала внутриканальных костных фрагментов. Данные измерения необходимы для расчетов процента компрессии передней и задней высоты тела позвонка, дефицита просвета позвоночного канала и расчетов для проведения предоперационного планирования по восстановлению поврежденного сегмента позвоночника. Подробно метод морфометрии отражен в главе 3.

### **2.3.4 Экспериментальный метод исследования**

Экспериментальное исследование было основано на изучении влияния конструкции продольных штанг в транспедикулярных устройствах (ТПУ) (диаметр винтов и балок) и материала, из которого он изготовлен, на жесткость оперированного отдела позвоночника. Определение механического поведения продольных штанг в ТПУ проводили в соответствии со стандартом ASTM F1717 (La Barbera L. et al., 2014). В блоки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена,

имитирующие тела позвонков в соответствии со спондилоэктомической моделью, вводили винты, которые соединяли продольными штангами из различных сплавов. Конструкцию устанавливали в шарнирных захватах испытательной машины TIRAtest 2300 и нагружали методом сжатия-растяжения. По результатам испытаний определяли жесткость конструкции, а также предельную нагрузку, при которой происходило необратимое изменение формы ТПА или повреждение полиэтиленовых балок (рис. 10). Данные экспериментального исследования были опубликованы в нашей статье (Коллеров М.Ю. с соавт., 2013).

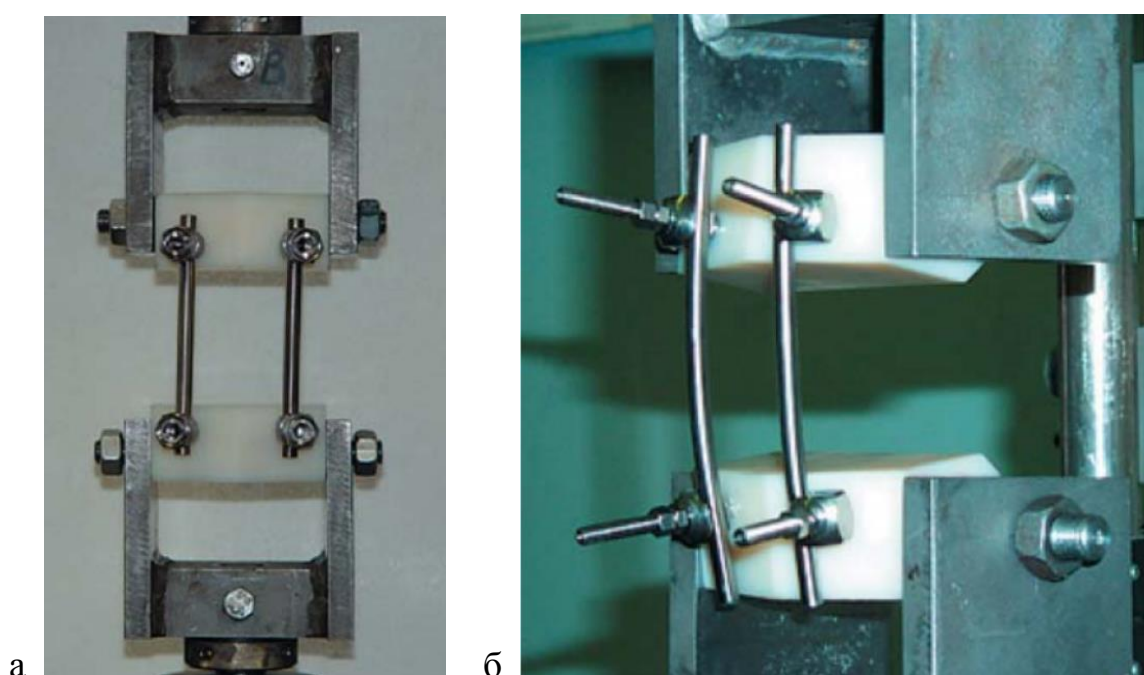


Рисунок 10 – Общий вид транспедикулярных аппаратов при испытаниях по стандарту ASTM F1717: а – исходное состояние ТПА с балками из сплава ВТ6 диаметром 7 мм фирмы «Синтез»; б – нагруженное состояние ТПА производства «КИМПФ» с балками из сплава ТН1 диаметром 5,5 мм

В качестве объектов экспериментального исследования использовались транспедикулярные винты производства «Синтез», «Конмет» и «КИМПФ». Продольные штанги изготавливали из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, титанового сплава ВТ6 и сплава на основе никелида титана ТН1. Диаметр штанг составлял 5,5; 6,0; 7,0 мм. Изучали кривую деформации ТПУ, где четко разделялись участки упругого и пластического поведения материалов.

Верхней границей области работоспособности ТПУ можно считать нагрузки, отвечающие началу текучести ( $P_T$ ), и соответствующие им смещения положения полиэтиленовых блоков ( $\Delta l_T$ ) (рис. 11). Эти смещения включают упругую составляющую ( $\Delta l_y$ ) и составляющую, которая обусловлена пластической деформацией элементов конструкции ТПУ. Предельно допустимая величина пластической составляющей деформации равна 1,52 мм. Относительно этой остаточной деформации и определяют величину  $P_T$ .

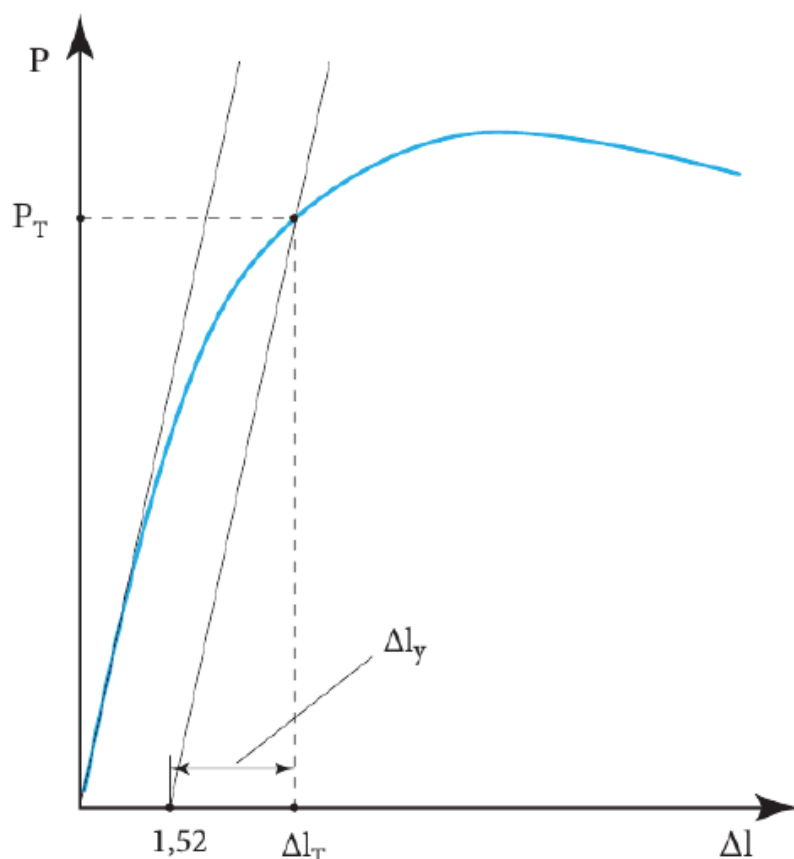


Рисунок 11 – Схематичное изображение кривой деформации и характеристики работоспособности ТПУ

Работоспособность ТПУ в упругой области характеризует жесткость конструкции, которая соответствует тангенсу угла наклона упругого участка кривой нагружения ТПУ и равна отношению:  $K = P_T / \Delta l_y$ . Жесткость возрастает с увеличением диаметра штанг и модуля упругости их материала. На основе проведенных

испытаний рассчитаны значения жесткости ТПУ, по которым следует проводить анализ их эффективности и работоспособности.

Для определения оптимальных характеристик работоспособности ТПУ проводили математическое моделирование методом конечных элементов поясничного отдела позвоночника с различными видами травм и заболеваний в пакете программ Ansys. Для этого 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. Этим структурам задавали соответствующие свойства (модуль упругости, предел прочности) по литературным данным (Yamada H., Evans F.G., 1973). 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 Н/м. По результатам расчетов определяли линейные и угловые перемещения элементов позвоночника, напряжения и деформации, возникающие в костных структурах и деталях ТПУ. 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 состоянии. Математическое моделирование методом конечных элементов подробно описан в главе 5.

### **2.3.5 Неврологический метод исследования**

Оценка неврологических расстройств и их динамики у больных с ПСМТ проводилась с учетом силы в каждом миотоме, тонуса паретичных мышц, изучения 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 двусторонней оценки мышечной силы полученные баллы, набранные в каждом сегменте, суммировали, а результаты вносили в карту осмотра пациента. Максимальное количество баллов для 10 сегментов каждой стороны было равно 50. В тех случаях, когда силу мышц по каким-то причинам не проверяли, ставили обозначение НТ (не тестировано).

Для исследования чувствительности использовали следующую шкалу:

- 0 — отсутствие чувствительности;
- 1 — нарушенная чувствительность;
- 2 — нормальная чувствительность.

В тех случаях, когда чувствительность в сегменте не проверялась, в соответствующей ячейке в карте осмотра проставляли НТ.

Оценку болевой чувствительности проводили при помощи укола одноразовой стерильной иглой фирмы «Neurotips». Невозможность отличить острый укол от тупого прикосновения оценивали как отсутствие чувствительности.

Тазовые функции оценивались с учетом ощущения наполнения мочевого пузыря, продолжительности удержания и объема остаточной мочи. Психосоциальный статус больных оценивался по наличию или отсутствию у них неврастенического, астенического, депрессивного синдромов или их сочетания.

### **2.3.6 Лабораторный метод исследования**

На протяжении всего периода пребывания пострадавшего в клинике осуществляли общеклинические исследования крови и мочи не реже 2 раз в неделю; исследование биохимических параметров крови (общий белок, протеинограмма, глюкоза, билирубин, мочевины, креатинин, АЛТ, АСТ, электролиты) не реже одного раза в неделю; исследование свертывающей системы крови (время свертывания, длительность кровотечения, фибриноген, протромбиновый индекс, МНО, количество тромбоцитов) не реже одного раза в неделю. Физико-химическое, цитологическое и бактериологическое исследования выполнялись при необходимости. При наличии показаний лабораторные исследования проводили с необходимой частотой.

### **2.3.7 Статистический метод исследования**

Результаты клинических исследований были подвергнуты математическому анализу. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью компьютерной программы SPSS Statistica v. 23 с использованием описательной статистики, сравнения средних величин с 95% доверительным интервалом (95% ДИ), определением t-критерия для парных сравнений, коэффициента корреляции Пирсона. Статистически значимыми считали различия средних значений  $M$  и коэффициентов корреляции  $r$  при  $p < 0,05$ . Значимость различий между группами оценивалась с помощью  $\chi^2$  Пирсона.

## **2.4 Оценка анатомо-функциональных исходов**

Подавляющая часть пациентов поступала и была оперирована в первую неделю после травмы. По характеру повреждения костно-связочных структур все повреждения позвоночника расценены как нестабильные. Степень готовности пациентов к предстоящей операции слагалась из оценки факторов операционного

риска, в который включали степень тяжести травмы позвоночника, глубину неврологических нарушений, соматическое состояние и объем оперативного вмешательства. В системе хирургического лечения использовался принцип хирургического вмешательства в максимально ранние сроки, как только позволяло состояние больного.

Об эффективности лечения судили по наблюдениям за больными в динамике с оценкой боли, неврологического статуса, контрольных рентгенограмм, СКТ и МРТ исследований. Визуально-аналоговая шкала (ВАШ) – наиболее распространенный метод оценки боли и качества обезболивания. Цифровое значение по ВАШ можно соотнести со словами. От больного требуется выбрать цифру, которая соответствует его боли. Ноль означает отсутствие боли, а 10 – резко выраженная боль.

Однократный СКТ-контроль был выполнен всем пострадавшим. В большинстве случаев (148 или 68,5%) СКТ исследование выполняли в ближайшие 3, 6 и 12 месяцев. По контрольным СКТ оценивали восстановление передней и задней стенок позвонка в процентах; восстановление передних и задних межтеловых промежутков; величину смещения костных фрагментов в сторону позвоночного канала; коррекцию угла деформации и сравнение с рассчитанным углом деформации; функциональное состояние оперированного отдела позвоночника и процесс формирования костного блока. В последующем СКТ-контроль выполнялся ежегодно либо по необходимости в связи с появлением локального болевого синдрома. В послеоперационном периоде однократная МРТ была выполнена у 92,2% больных. При грубых неврологических нарушениях МРТ-контроль выполнялся многократно. Количественные характеристики смещений опорных структур травмированных ПДС определяли с использованием общепринятых спондилометрических критериев. Все цифровые данные подвергали статистической обработке.

После проведенного лечения различали следующие варианты динамики двигательных расстройств: полное восстановление, значительное улучшение, стабилизация с незначительным улучшением и ухудшение. Полному

восстановлению соответствовало восстановление мышечной силы в конечностях дистальнее уровня поражения в 5 баллов. К значительному улучшению относили нарастание мышечной силы в двух и более миотомах на 2–3 балла, что соответствовало увеличению амплитуды движений пациента. К стабилизации с незначительным улучшением двигательной функции относили нарастание мышечной силы в одном-двух миотомах на 1 балл с появлением в них движений или незначительным увеличением объема движений при глубоких парезах. Ухудшение двигательной функции проявлялось снижением мышечной силы и тонуса мышц.

Также выделяли следующие варианты динамики чувствительных нарушений:

- полное восстановление характеризовалось нормализацией всех видов чувствительности с уровня поражения;
- значительное восстановление означало снижение уровня гипестезии на 3-4 и более сегментов, а также переход анестезии в гипестезию на протяжении трех и более сегментов и восстановление глубокой чувствительности в конечностях;
- незначительное восстановление чувствительных нарушений проявлялось снижением уровня гипестезии на 1-2 сегмента от исходного состояния;
- ухудшение соответствовало повышению уровня чувствительных расстройств от исходного на два и более сегментов.

Тазовые функции оценивались с учетом ощущения наполнения мочевого пузыря, продолжительности удержания и объема остаточной мочи. Психоэмоциональный статус пациентов оценивался по наличию или отсутствию у них неврастенического, астенического, депрессивного синдромов или их сочетания. Основные сроки оценки неврологического статуса: неврологические нарушения на момент поступления, на день выписки из стационара, спустя 6 месяцев и год после лечения.

Ближайшие результаты лечения больных с ПСМТ оценивались до полугода с момента выписки из стационара. При выписке из стационара это позволяло



проводить оценку хирургической тактики, определять дальнейший план лечения и реабилитации.

Отдаленные результаты лечения больных изучены в сроки до 20 лет после хирургического лечения. Они оценивались от момента полученной травмы по динамике неврологического статуса, состоянию опорно-двигательной функции позвоночника и степени трудоспособности.

Для оценки болевого синдрома, экономического и функционального статуса использовали шкалу R.G. Watkins (1986) (Бикмуллин В.Н. с соавт., 2015).

По данной шкале проводилась оценка исходов лечения (приложение Д):

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

Оценку качества жизни пациентов оценивали по шкале SF-36 (Ware J.E. Jr., Sherbourne C.D., 2004). Вопросы в опроснике сгруппированы в восемь шкал (приложение Е): физическое функционирование, ролевая деятельность, телесная боль, общее здоровье, жизнеспособность, социальное функционирование, эмоциональное состояние и психическое здоровье. Показатели каждой шкалы варьируют от 0 до 100, где 100 – полное здоровье. Все шкалы формируют два показателя: душевное и физическое благополучие. Низкие показатели по этой шкале свидетельствуют о том, что физическая активность и эмоциональное состояние пациента значительно ограничиваются состоянием его здоровья. Более высокая оценка указывает на более высокий уровень качества жизни.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ РАСЧЕТОВ ИСХОДНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕННОГО ТЕЛА ПОЗВОНКА СО СМЕЖНЫМИ ДИСКАМИ НА ЭТАПАХ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**

#### **3.1 Разработка методики предоперационного планирования для расчетов исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного тела позвонка со смежными дисками на грудном и поясничном отделах**

Хорошие исходы хирургического лечения деформации позвоночника могут быть достигнуты только при соблюдении биомеханических принципов и восстановления сагиттального баланса на поврежденном отделе позвоночника. Важным этапом хирургического лечения посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов является репозиция позвоночника с коррекцией деформации и декомпрессией содержимого позвоночного канала. Неустраненная деформация позвоночника может привести к неправильному положению соседних сегментов, к изменениям в общей статике позвоночника и хроническому болевому синдрому (Рерих В.В., Борzych 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 выполняются приблизительно, «на глаз».

На основе большого анализа рентгенограмм и компьютерных томограмм S.M. Kwon с соавторами. (2019) и A.P. Verheyden с соавторами (2011) рассчитали

эталонные значения сегментарных углов в грудопоясничном переходе, к которым необходимо стремиться в процессе репозиции позвоночника (табл. 7).

Таблица 7 – Эталонные значения сегментарных углов по данным авторов

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 с соавторами (1990) для устранения деформации при переломах грудопоясничного отдела позвоночника предлагают рассчитывать сагиттальный индекс, а именно измерение кифотической деформации позвоночного сегмента, скорректированное на нормальный сагиттальный контур на уровне деформированного сегмента. Так, для создания нормального сагиттального контура в грудном отделе необходимо вычитать 5 градусов, в грудопоясничном переходе этот угол не нуждается в корректировке, а в поясничном отделе данный угол суммируется с 10 градусами. Недостатком предлагаемых эталонных и рассчитанных сегментарных углов является их большая погрешность в связи с индивидуальным разнообразием в зависимости от типов осанки по Rossouly (Rossouly P. et al., 2005). Поскольку физиологическая форма позвоночника подвержена индивидуальному разнообразию, для исправления посттравматической деформации необходим индивидуальный подход.

Тот факт, что средние передние и задние размеры тел позвонков (Ning L. et al., 2017) и межпозвонковых 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 межпозвонковых дисков по смежным сегментам.

При переломах позвонков, особенно типа A4 по классификации AO Spine, 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 передних и задних межтеловых промежутков. Кроме восстановления размеров межтеловых промежутков для восстановления первоначальной анатомии поврежденного сегмента, необходимо и восстановление первоначального угла деформации.

Для расчетов восстановления исходных передних и задних размеров одного тела позвонка со смежными дисками разработана модель здорового позвоночника, состоящая из трех тел позвонков и четырех смежных межпозвоночных дисков. Материалом для исследования послужили результаты СКТ 25 пациентов: 12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет. У данных пациентов, с подозрением на политравму выполнялось СКТ-исследование всего позвоночника. Критерием отбора для исследования были пациенты, у которых отсутствовали врожденные аномалии и приобретенные деформации, а также признаки повреждения позвоночника.

Замеры производились с помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt после мультипланарной реконструкции в формате DICOM по срединной сагиттальной проекции. Для измерения брались крайние точки оцениваемых тел позвонков (рис. 12).

На примере моделирования передних и задних размеров тела L1 позвонка со смежными дисками – это расстояния |C-I| и |C1-I1|). Производились измерения от диска ThXI–ThXII до диска LII–LIII (расстояние от A до L по передней поверхности и от A1 до L1 по задней поверхности позвоночника) (см. рис. 12 а).

Сегментарный угол ограничивался передними и задними межтеловыми промежутками – расстояния  $|C-I|$  и  $|C1-I1|$  (см. рис. 12 б).

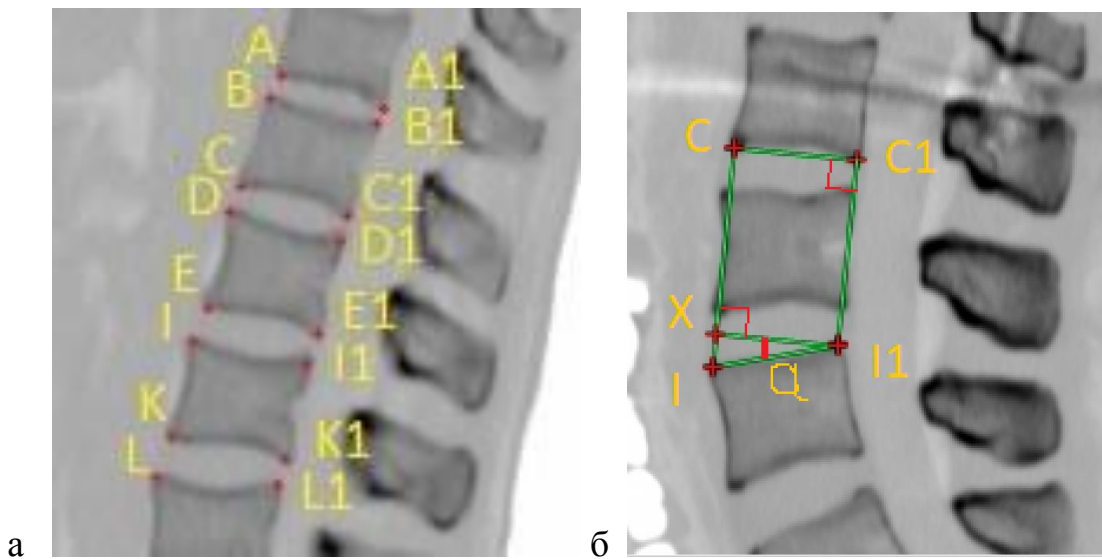


Рисунок 12 – Точки для измерения передних и задних размеров тел позвонков и межпозвонковых дисков по срединной сагиттальной проекции после мультипланарной реконструкции изучаемого отдела позвоночника (а); схема измерения угла деформации  $\alpha$  (б)

Для измерения угла деформации использовали линию  $|X-I1|$ , параллельную нижней замыкательной пластинке вышележащего позвонка  $|C-I|$ , и пересечение с линией по верхней замыкательной пластинке нижележащего позвонка  $|I-I1|$ . Выполнено измерение 44 подобных моделей от ThIV до LIV позвонков. Для уменьшения погрешности измерений изображение выделяемого сегмента позвоночника увеличивали до размеров экрана. Погрешность измерения составила  $0,15 \pm 0,07$  мм. Ошибку в измерениях рассчитывали по формуле (2):

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

где  $\Delta x$  – средняя разность измерений,

$t$  – табличное значение (для 95% доверительной вероятности при  $p=0,05$   $t$ -критерий равен 2),

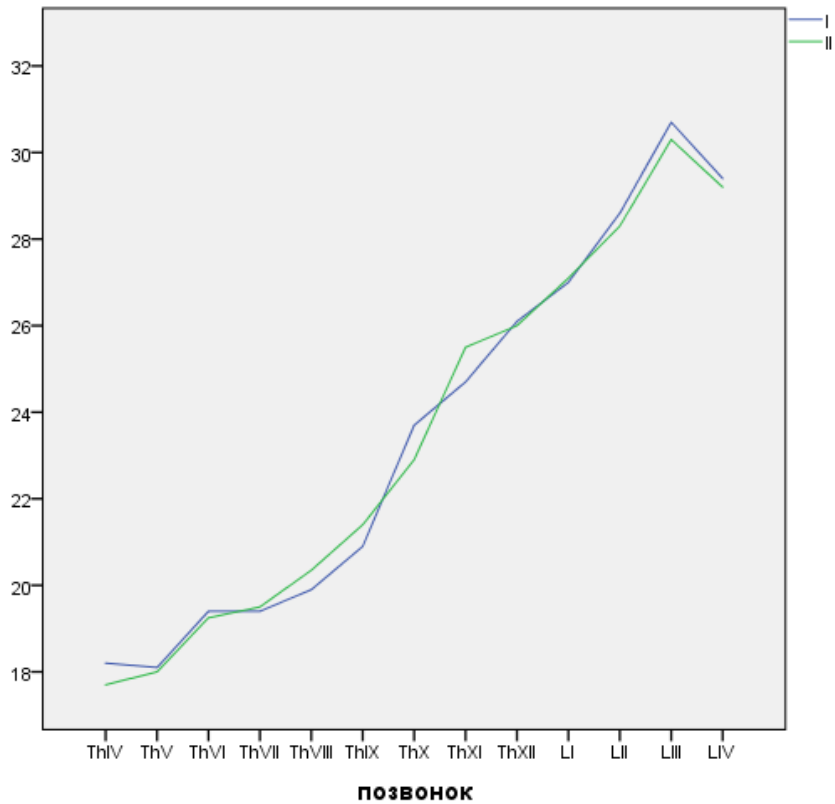
$m$  – стандартная ошибка среднего значения.

Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерной программы SPSS Statistica v. 23 с использованием описательной

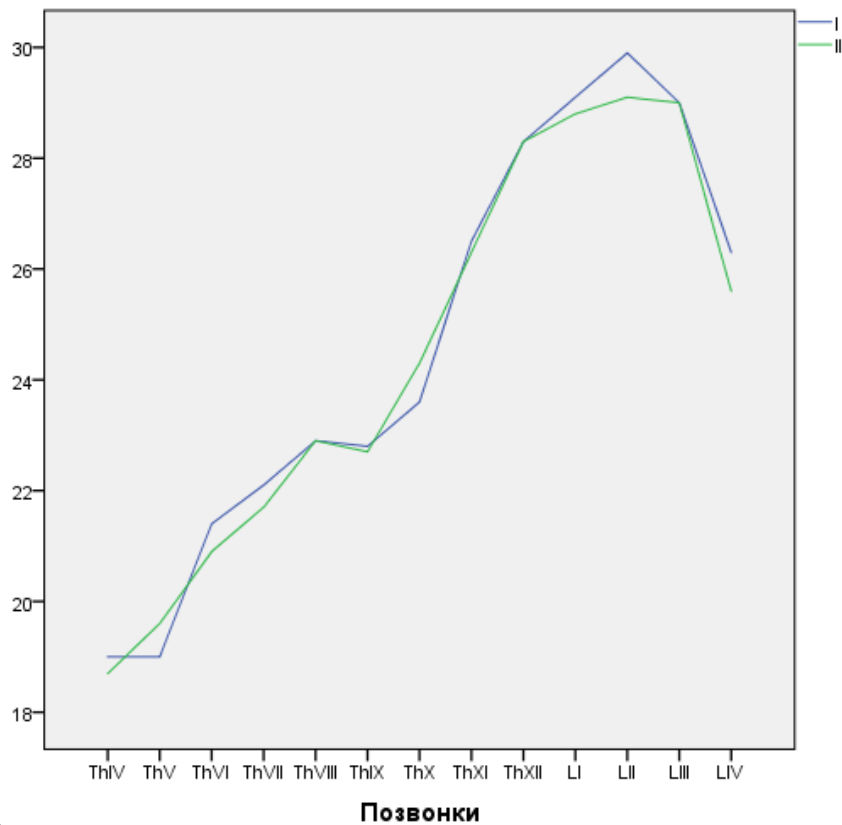
статистики, сравнения средних величин с 95% ДИ, определением t-критерия для парных сравнений, коэффициента корреляции Пирсона. Для проверки нормальности распределения количественного признака в выборках строили частотные диаграммы. Оценивалась нормальность распределения признака с помощью критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка.

1. На первом этапе исследования сравнили измеряемые и рассчитанные передние (AVH) и задние (PVH) размеры тел позвонков, для чего были сформированы две группы: I группа – фактические измерения передней |D-E| и задней |D1-E1|поверхностей позвонков от ThIV до LIV у 25 пациентов; II группа – рассчитанные передние и задние вертикальные размеры тел позвонков (полусумма передних и задних размеров тел смежных позвонков –  $(|B-C| + |I-K|)/2$  и  $(|B1-C1| + |I1-K1|)/2$ ). Средние размеры AVH в I группе – 25,65 мм и стандартная ошибка – 0,62 мм, во II группе – 25,58 мм и 0,60 мм соответственно (рис. 13а). При округлении статистических расчетов до десятых получили разницу между фактическими измерениями и расчетами AVH при 95% ДИ:  $0,7 \pm 0,2$  мм. При сравнении двух групп t-критерий Стьюдента – 0,403;  $p=0,689$ . Между группами была выявлена сильная корреляционная связь. Коэффициент корреляции Пирсона –  $r=0,973$ .

Средние размеры PVH в I группе – 26,48 мм, стандартная ошибка – 0,53 мм, во II группе – 26,25 мм и 0,52 мм соответственно (рисунок 13 б). Допустимая разница между измерениями и расчетами PVH составила  $0,7 \pm 0,2$  мм, t-критерий Стьюдента – 1,534 при  $p=0,132$ . Коэффициент корреляции  $r$  равнялся 0,959. Рассчитанные передние и задние размеры тел позвонков были близки к анатомическим.



а



б

Рисунок 13 – 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 межпозвонковых дисков сформированы 3 группы: I группа – фактические измерения дисков от ThIV-ThV до LIV-LV сегментов; II группа – размер дисков составлял полусумму размеров двух смежных дисков; III группа – средние размеры дисков грудного отдела, взятые из табличных данных J.G. Fletcher с соавт. (2015) и поясничного отдела по данным K. Vach с соавт. (2018), сопоставимые по полу и возрасту. Третью группу мы сформировали для того, чтобы сравнить, насколько индивидуальные размеры межпозвоночных дисков отличаются от средних размеров дисков выбранной локализации указанного пола и возраста, представленных авторами.

Средние передние размеры диска в I группе – 6,08 мм, стандартная ошибка – 0,52 мм; во второй группе средние передние размеры диска – 6,02 мм, стандартная ошибка – 0,48 мм; в третьей группе – 5,88 мм и 0,27 мм соответственно (рис. 14 а). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами – 0,982; между I и III группами – 0,87. Средняя разность в размерах по модулю в I и II группах – 0,70 мм, в I и III группах – 1,60 мм. Средняя разность при сравнении передних размеров диска в I и II группах составила  $0,70 \pm 0,20$  мм, I и III группах –  $1,60 \pm 0,36$  мм.

Средние задние размеры диска: в I группе – 4,07 мм, стандартная ошибка – 0,32 мм; во второй группе средние задние размеры диска – 3,90 мм, стандартная ошибка – 0,28 мм; в третьей группе – 4,29 мм и 0,25 мм соответственно (рис. 14 б). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами равен 0,939; между I и III группами – 0,730. Средняя разность задних вертикальных размеров диска между I и II группами составила  $0,60 \pm 0,20$  мм, I и III группами –  $1,20 \pm 0,30$  мм.



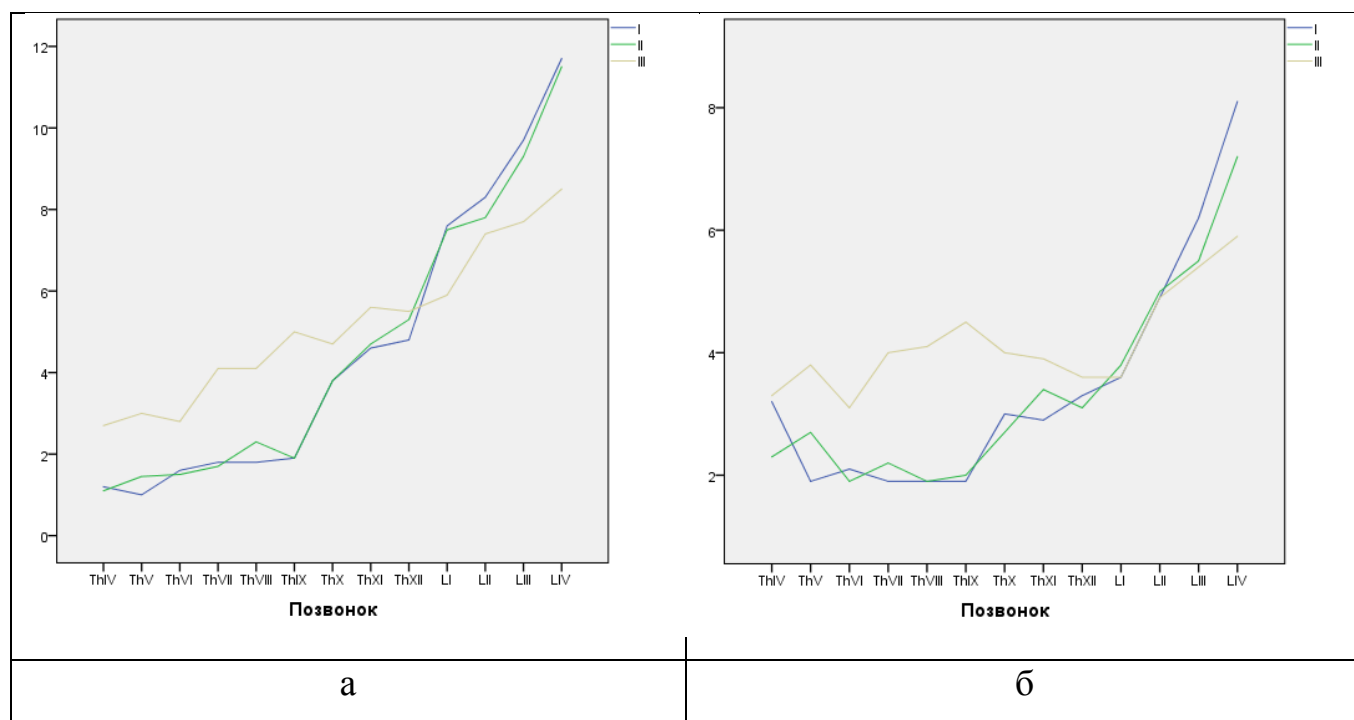


Рисунок 14 – Передние (а) и задние (б) размеры дисков в трех группах по локализации (I группа – синий цвет, II группа – зеленый, III группа – желтый)

3. Для расчетов для восстановлению размеров тела позвонка с верхним диском сформированы три группы. I группа – фактические измерения передней ( $|C-E|$ ) и задней ( $|C1-E1|$ ) поверхностей тела позвонка с верхним диском. II группа – рассчитанные размеры передней ( $(|B-C|+|I-K|)/2 + (|A-B|+|E-I|)/2$ ) и задней ( $(|B1-C1|+|I1-1|)/2 + (|A1-B1|+|E1-I1|)/2$ ) поверхностей позвонков с верхним диском у тех же пациентов. Причем расчеты размеров передней и задней поверхностей тел позвонков проводили по разделу 1. III группа – рассчитанные размеры передней ( $(|B-C| + |I-K|)/2 + |C-D|$ ) и задней ( $(|B1-C1| + |I1-K1|)/2 + |C1-D1|$ ) поверхностей позвонков с верхним диском у тех же пациентов, где средние размеры дисков  $|C-D|$  и  $|C1-D1|$  взяты из табличных данных.

Средние фактические передние размеры тела позвонка с межпозвоночным диском  $|C-E|$  (I группа) составили 31,90 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,40 мм; во II группе средние размеры  $|C-I|$  – 31,70 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,50 мм; в III группе – 31,30 мм со стандартной ошибкой среднего значения 1,30 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами равна 0,984; между I и III группами – 0,947. Средняя разность между

сравнимаемыми размерами |С-Е| в I и II группах –  $1,00 \pm 0,40$  мм, I и III группах –  $1,80 \pm 0,50$  мм.

Средние фактические задние размеры тела позвонка и межпозвоночного диска |С1-Е1| в I группе – 30,40 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,80 мм; во II группе – 30,60 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,70 мм; в III группе – 30,10 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,70 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами – 0,956, между I и III группами – 0,874. Средняя разность между сравниваемыми размерами в I и II группах составила  $1,20 \pm 0,50$  мм, между группами I и III группами –  $1,70 \pm 0,50$  мм.

4. На следующем этапе исследования проводили расчеты по восстановлению размеров передних и задних межтеловых промежутков (тело позвонка со смежными дисками). Формирование групп было прежнее. I группа – фактические измерения передней |С-И| и задней |С1-И1| поверхностей тела позвонка со смежными дисками. II группа – рассчитанные размеры передней  $((|В-С| + |И-К|)/2 + (|А-В|+|К-Л|))$  и задней  $((|В1-С1| + |И1-К1|)/2 + (|А1-В1|+|К1-Л1|))$  поверхностей позвонков со смежными дисками. III группа – рассчитанные размеры передней  $((|В-С| + |И-К|)/2 + (|С-Д|+|Е-И|))$  и задней  $((|В1-С1| + |И1-К1|)/2 + (|С1-Д1|+|Е1-И1|))$  поверхностей позвонков со смежными дисками у тех же пациентов, где средние размеры дисков |С-Д|, |Е-И|, |С1-Д1|, |Е1-И1| взяты из табличных данных.

Средние передние размеры межтеловых промежутков |С-И| в I группе – 38,90 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,60 мм; во II группе средние размеры – 38,70 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,50 мм; в III группе – 38,3 мм со стандартной ошибкой среднего значения 1,30 мм. Т-критерий парных выборок в группах I и II – 0,697,  $p=0,49$ ; в группах I и III:  $t=1,026$  и  $p=0,311$ . Корреляция Пирсона между I и II группами равна 0,986; между I и III группами – 0,957. Средняя разность между сравниваемыми размерами передних межтеловых промежутков в I и II группах составила  $1,40 \pm 0,40$  мм, в I и III группах –  $3,20 \pm 0,80$  мм.

Средние размеры задних межтеловых промежутков  $|C1-I1|$  в I группе – 35,40 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,90 мм; во II группе средние размеры – 34,90 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,80 мм; в III группе средние размеры – 35,10 мм и стандартная ошибка среднего значения – 0,70 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами – 0,953, между I и III группами – 0,864. Средняя разность размеров задних межтеловых промежутков в группах I и II составила  $1,30 \pm 0,50$  мм, в группах I и III –  $2,70 \pm 0,50$  мм.

5. Расчеты по восстановлению угла деформации  $\alpha$ , образованного между нижней замыкательной пластинкой вышележащего тела позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего от поврежденного тела позвонка (рис. 10 б). По этому же принципу были сформированы три группы. I группа – фактические измерения угла  $\alpha$  между кортикальными пластинками  $|C-C1|$  и  $|I-I1|$ . II группа – рассчитанный угол  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  между фактическими измерениями и расчетами в группе II составила  $2,5 \pm 0,6$  градуса, а между группами I и III –  $3,6 \pm 1,1$  градуса.

Данную формулу для расчета угла мы использовали исходя из того, что в результате изучения СКТ-изображений «здорового» грудного и поясничного отделов позвоночника в срединной сагиттальной плоскости замечено: перпендикуляры от крайних точек на нижней замыкательной пластинке тела позвонка опускаются на крайние точки верхней замыкательной пластинки на один позвонок ниже (рис. 15), т.е. это размеры межтеловых промежутков.

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. 16). 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  $E$ . Получим две фигуры: прямоугольник  $ABCE$  и прямоугольный треугольник  $ADE$  с гипотенузой  $|AD|$ . В данном треугольнике нам необходим угол  $DAE$ .

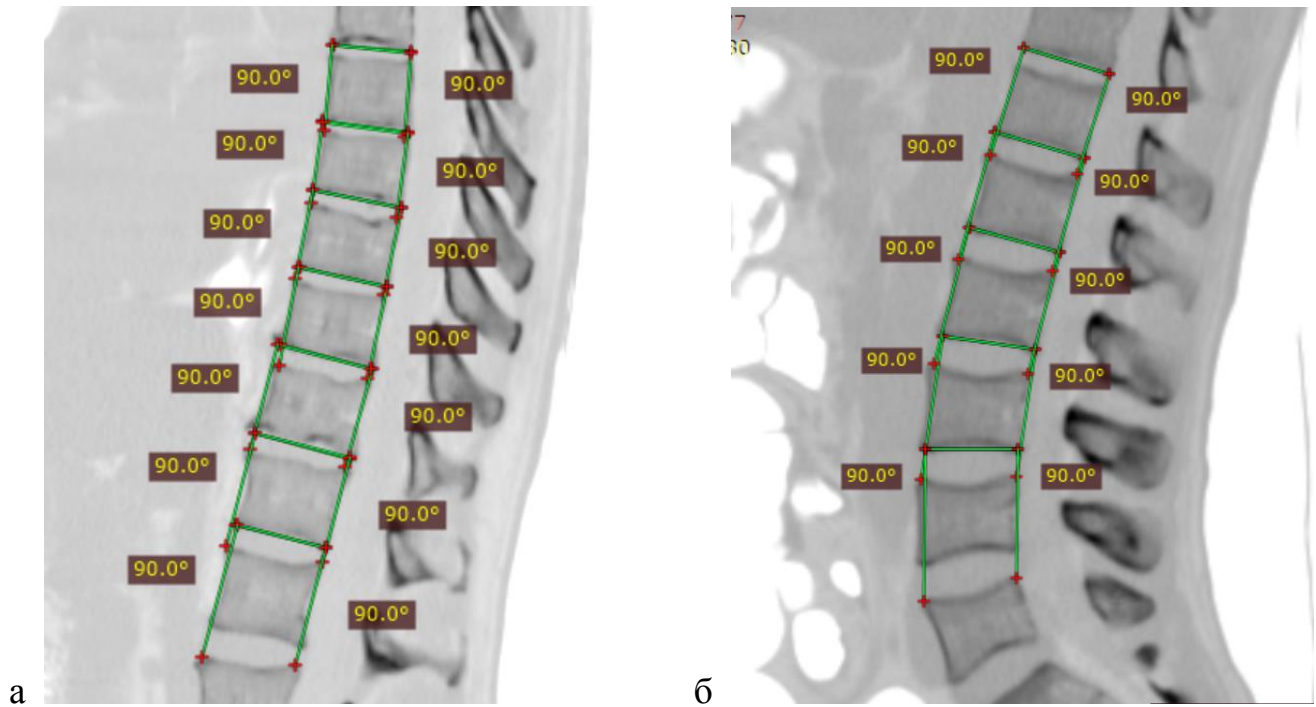


Рисунок 15 – СКТ грудного (а) и поясничного (б) отделов позвоночника в срединной сагиттальной плоскости с выделением межтеловых промежутков

Согласно данным тригонометрии, синусом острого угла в прямоугольном треугольнике называется отношение катета этого треугольника, лежащего против угла, к гипотенузе треугольника (Гельфанд И.М. с соавт., 2002).

Получаем  $\sin \alpha = |DE| \div |AD|$ , где  $|DE| = |CD| - |AB|$ .

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

В клиническом примере измеренный с помощью программы RadiAnt угол  $DAE$  равен 15,90 градуса, а рассчитанный сегментарный угол  $\alpha$  равен 15,89 градуса (рис. 16).

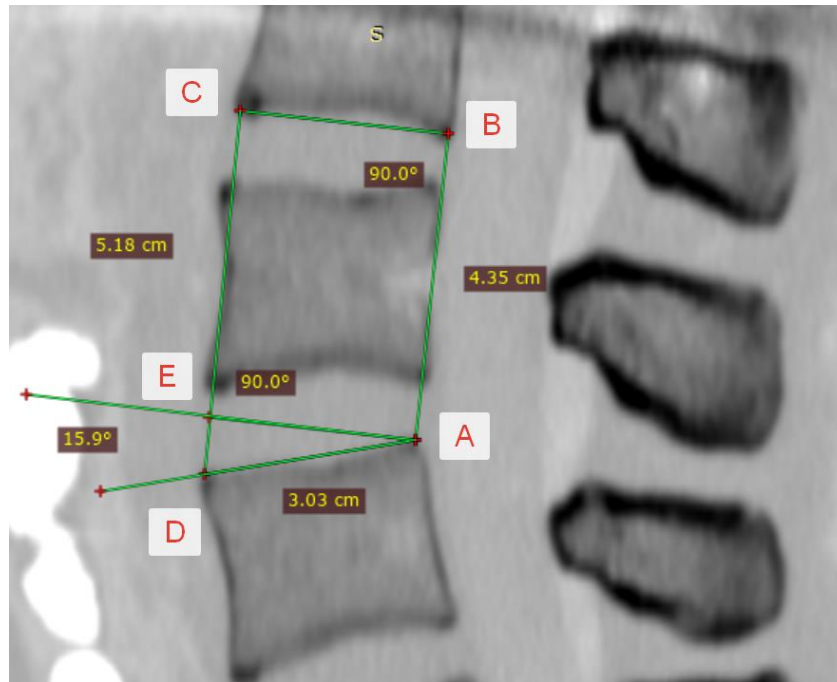


Рисунок 16 – Сегмент поясничного отдела позвоночника, состоящий из тела позвонка и двух смежных дисков

Рассчитанный угол довольно близок к фактически измеренному. Поэтому угол от нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка до верхней замыкательной пластинки нижележащего тела позвонка нами был выбран в связи с удобством измерения и для применяемого расчета.

Таким образом, для восстановления исходной анатомии поврежденного тела позвонка со смежными дисками необходимо рассчитывать размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол, образованный нижней замыкательной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой тела нижележащего позвонка. Для расчета исходных размеров межтеловых промежутков и угла деформации  $\alpha$  разработана модель позвоночника, состоящая из трех тел позвонков и четырех смежных межпозвоночных дисков. Размеры межтеловых промежутков рассчитываются по размерам смежных тел позвонков и примыкающих к ним межпозвоночных дисков. Сегментарный угол  $\alpha$  рассчитывается по формуле:  $\sin^{-1}$ (от разницы в размерах межтеловых промежутков, деленной на размер верхней замыкательной пластинки нижележащего от поврежденного тела позвонка). Разница между фактически измеренными и рассчитанными передними межтеловыми промежутками

составила  $1,40 \pm 0,40$  мм, задними –  $1,30 \pm 0,50$  мм. Разница между фактическим и рассчитанным углом деформации  $\alpha$  составила  $2,5 \pm 0,6$  градуса, что свидетельствовало о высокой точности предложенного способа.

### **3.2 Определение факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла, влияющих на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка у больных с позвоночно-спинно-мозговой травмой грудного и поясничного отделов**

По данным СКТ, для планирования восстановления индивидуальных размеров поврежденного тела позвонка со смежными межпозвоночными дисками необходимы математические расчеты целевых параметров по размерам смежных тел позвонков и межпозвоночных дисков: передних и задних размеров тела позвонка со смежными дисками, сегментарного угла. Изучение влияния факторов и размеров целевых параметров на восстановление вертикальных размеров поврежденного тела позвонка рассмотрим на ретроспективном материале.

Материалом для ретроспективного исследования послужили СКТ 50 пациентов (31 мужчина, 19 женщин) с ПСМТ грудного и поясничного отделов позвоночника: от ThVIII до LIII. Средний возраст пострадавших – 29,4 лет.

По классификации АО, повреждения типа А3 выявлены у 4; А4 – у 37; В2 – у 5 и С – у 4 больных. В неврологическом статусе степень тяжести повреждения спинного мозга по шкале ASIA: тип А – у 1; тип В – у 2; тип С – у 17; тип D – у 14 и тип Е – у 11 пострадавших. В исследование включены пациенты с одноуровневыми повреждениями; исключались любые деформации и аномалии смежных тел позвонков. Все пациенты оперированы из заднего доступа. С помощью репозиционного устройства для чрескостного транспедикулярного остеосинтеза фирмы «Синтез» (Санкт-Петербург) выполнялись восстановление высоты поврежденного позвонка и закрытая декомпрессия позвоночного канала. Во всех случаях в репозиционное устройство включали поврежденный и два смежных позвонка, что позволяло дозированно устранять многоплоскостную

деформацию. В силу ряда причин пострадавшие были оперированы в разные сроки после полученной травмы. По времени, прошедшему от травмы до операции, пациенты разбиты на две группы: 1-я группа (n=27) – операции, выполненные в первые 10 дней; 2-я группа (n=23) – с 11-го по 30-й день. На дооперационных и послеоперационных СК-томограммах с помощью программы RadiAnt после мультипланарной реконструкции (формат DICOM) в срединной сагиттальной проекции производились измерения поврежденного сегмента позвоночника, состоящего из трех смежных тел позвонков и четырех межпозвоночных дисков (рис. 17).

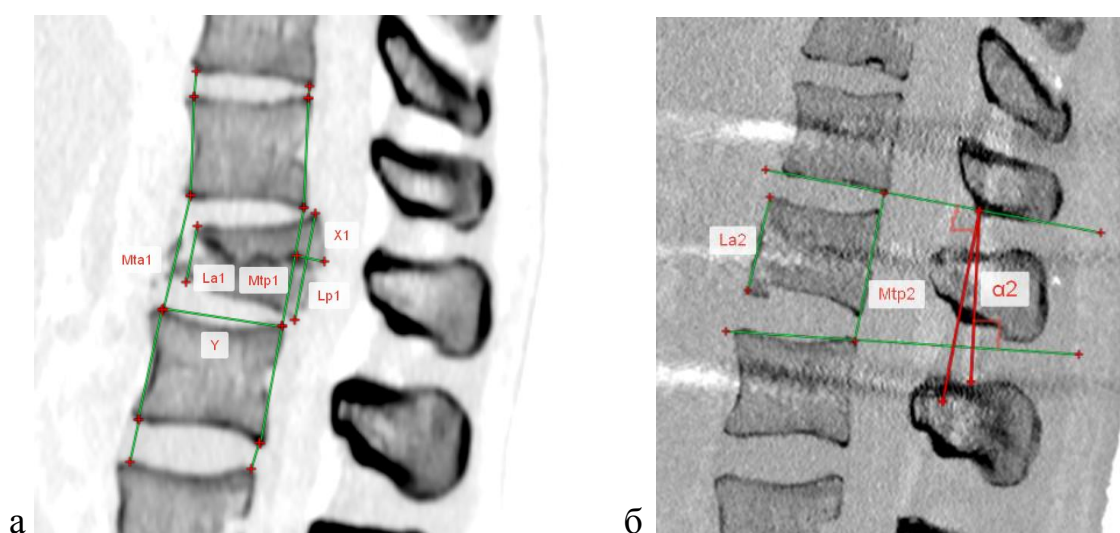


Рисунок 17 – Схема измерений поврежденного сегмента позвоночника в срединной сагиттальной проекции по данным СКТ в формате DICOM на примере перелома тела L1 позвонка: а – до операции; б – после операции

На компьютерных сканах измерялись: передняя (La) и задняя (Lp) высота тел поврежденных и смежных позвонков; передние (Mta) и задние (Mtp) размеры межтеловых промежутков (поврежденное тело позвонка со смежными дисками); величина деформации передней стенки позвоночного канала (X) за счет сместившихся фрагментов поврежденного позвонка (расстояние от линии вдоль задней поверхности тел смежных с поврежденным позвонков до смещенных фрагментов в позвоночный канал); размеры верхней кортикальной пластинки тела, нижележащего от поврежденного позвонка (Y); сегментарный угол ( $\alpha$ ),

который образован нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего позвонка. Оптимальным было бы изучение дефицита просвета позвоночного канала при закрытой декомпрессии, но дополнительно выполняемая ламинэктомия у части больных не позволяет достоверно его оценить.

Для планирования восстановления исходных индивидуальных параметров поврежденного отдела позвоночника, состоящего из тела позвонка и двух смежных дисков, рассчитывались: вертикальные передние ( $L_a$  расч.) и задние ( $L_p$  расч.) размеры тел поврежденных позвонков (полусумма вертикальных размеров тел смежных позвонков); передние ( $M_{ta}$  расч.) и задние ( $M_{tp}$  расч.) размеры межтеловых промежутков (средние размеры тела поврежденного позвонка плюс сумма размеров дисков на сегмент выше и ниже поврежденного позвонка); сегментарный угол  $\alpha$  по формуле:  $\sin^{-1}((|M_{ta} \text{ расч.}| - |M_{tp} \text{ расч.}|) / |Y|)$ . Предлагаемый угол сегментарной деформации выбран нами за счет его удобства при расчетах (применяется тригонометрическая функция к треугольнику, где катетами являются разность межтеловых промежутков и  $Y$ ). Дооперационные и послеоперационные размеры тел поврежденных позвонков, размеры межтеловых промежутков оценивались в процентах к рассчитанным или исходным индивидуальным размерам, которые принимали за 100,0%. Величина передней компрессии позвоночного канала оценивалась в миллиметрах, а сегментарный угол – в градусах. Статистическая обработка материала проводилась с помощью пакета статистических программ SPSS Statistic v. 23.

#### *I. Оценка распределения признаков с использованием графических методов и статистических критериев*

В двух группах перед операцией отмечалось нормальное распределение признаков  $L_{a1}$ ,  $L_{p1}$ ,  $M_{ta1}$ ,  $M_{tp1}$ ,  $X_1$ . Это подтверждено на графиках и значимостью теста Шапиро – Уилка (от 0,08 до 0,70). Оценка средних размеров проводилась с 95% ДИ. В таблице 8 отражены средние размеры тел позвонков и межтеловых промежутков, величина смещения костных фрагментов от тела позвонка в сторону позвоночного канала.



Таблица 8 – Средние размеры передних и задних размеров тел позвонков, межтеловых промежутков и деформации передней стенки позвоночного канала до операции в двух группах, мм

Группа	La1	Lp1	Mta1	Mtp1	X1
I	59,6±4	91,7±1,6	72,1±4	84,5±2,5	8,1±0,9
II	59,7±4	91,2±3,2	70,4±3,4	84,3±2,4	7,2±1,1

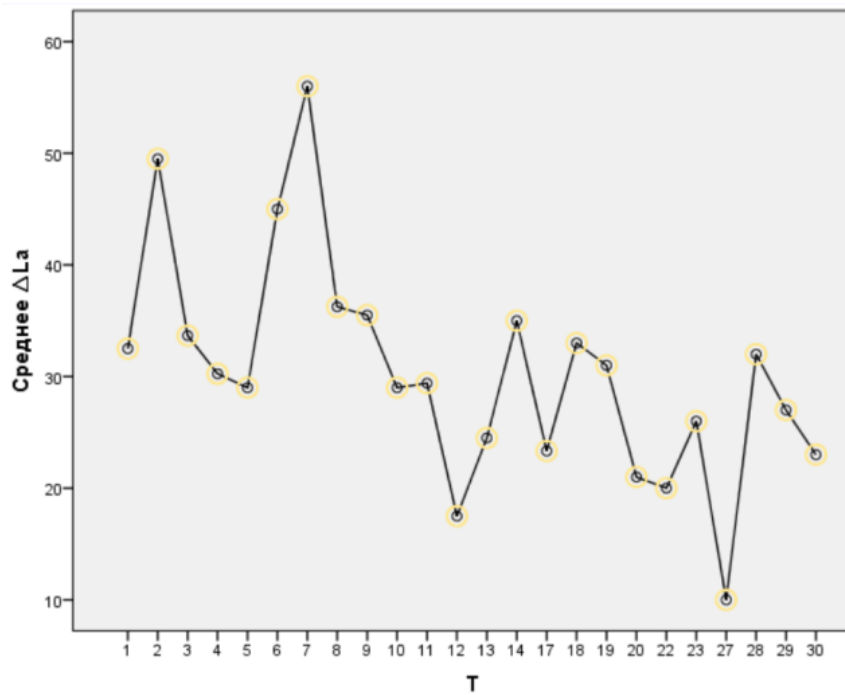
Из данных таблицы 9 мы видим, что в результате проводимой аппаратной репозиции отмечаются восстановление высоты поврежденного позвонка и реформация передней стенки позвоночного канала в двух группах, причем во второй группе эти процессы проходят менее эффективно.

Таблица 9 – Средние передние и задние размеры тел позвонков, межтеловых промежутков и деформации передней стенки позвоночного канала после операции в двух группах, мм

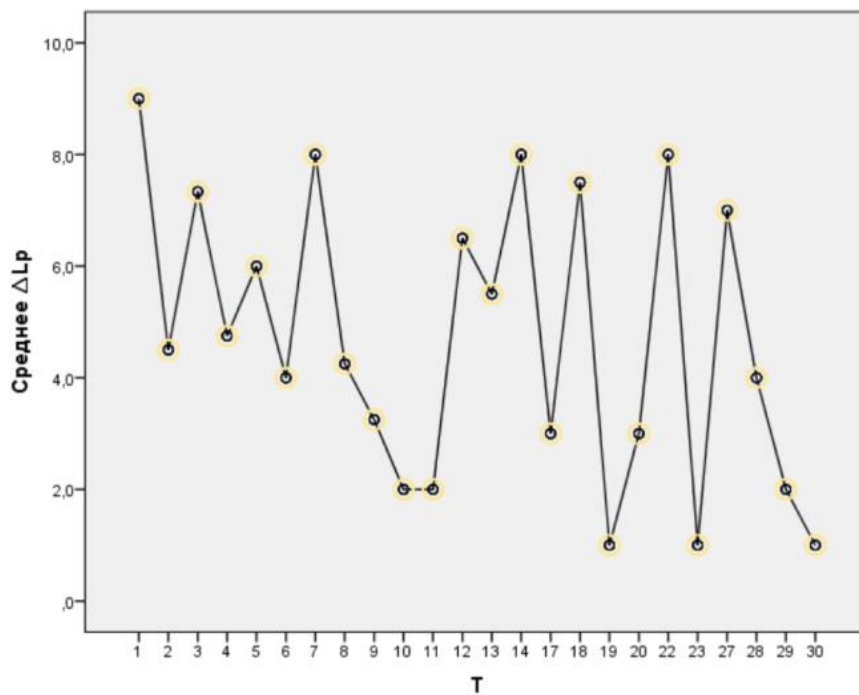
Группа	La2	Lp2	Mta2	Mtp2	X2
I	95,3±1,9	96,9±1,4	93,1±7,2	98,5±2	3,5±0,8
II	87,4±4,2	96,6±1,8	92,1±2,8	95,7±2,4	4,0±0,9

*II. Восстановление передних ( $\Delta La$ ) и задних ( $\Delta Lp$ ) размеров тел поврежденных позвонка в зависимости от времени ( $T$ ) после травмы*

Для оценки влияния времени ( $T$ ) после операции на величину восстановления передних размеров позвонка  $\Delta La = La2 - La1$  использовали критерий Стьюдента для непарных выборок. Уровень значимости критерия равенства дисперсий Ливиня – 0,16, что подтверждает равенство дисперсий. Значение t-критерия равно 4,6 при  $p < 0,001$ ; значение критерия Манна – Уитни  $< 0,001$ . Это указывает на более эффективное восстановление передней стенки поврежденного позвонка у пациентов, оперированных в ранние сроки (рис. 18а). При корреляционном анализе получена средняя обратная связь: коэффициент корреляции Пирсона  $r = -0,48$  при  $p < 0,001$ . При оценке влияния времени после травмы на восстановление задних размеров тела позвонка  $\Delta Lp = Lp2 - Lp1$  не получено статистических различий между двумя группами (рис. 18 б).



а



б

Рисунок 18 – Восстановление высоты передней ( $\Delta L_a$ ) (а) и задней ( $\Delta L_p$ ) (б) стенок поврежденного позвонка в зависимости от времени (Т) после травмы, %

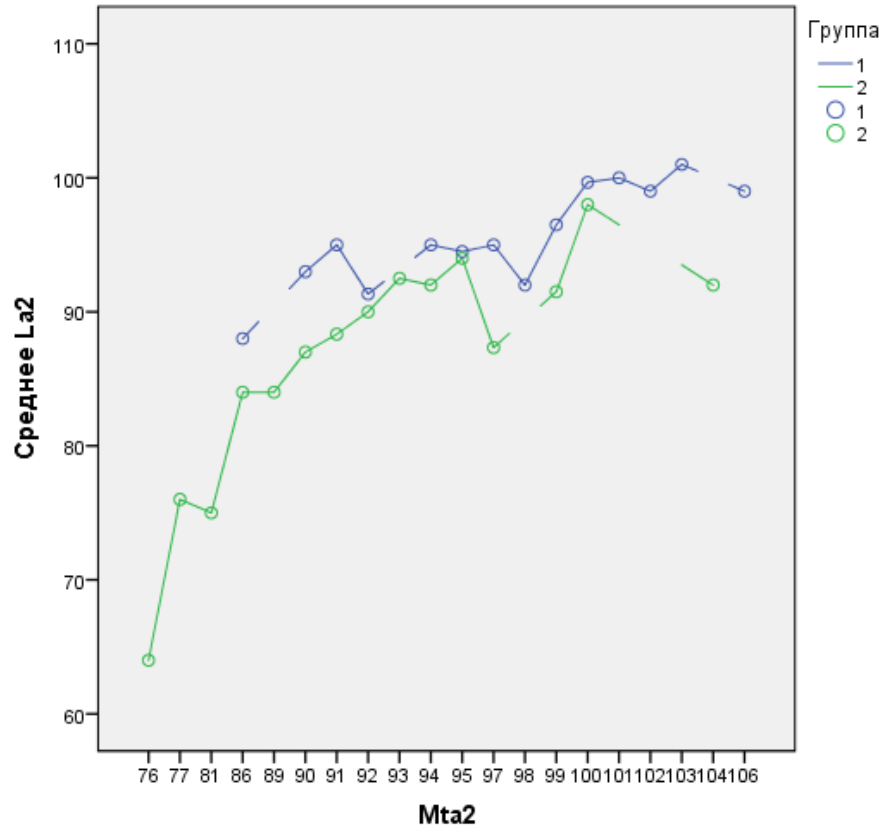
Уровень значимости критерия равенства дисперсий Ливиня – 0,27. Значение t-критерия равно -0,17 при  $p < 0,780$ . Значимость критерия Манна – Уитни – 0,4. Коэффициент корреляции Пирсона указывает на слабую связь:  $r = -0,21$  при  $p = 0,040$ .

*III. Восстановление передних (La2) и задних (Lp2) размеров тел позвонков от величины distraction передних (Mta2) и задних (Mtp2) межтеловых промежутков*

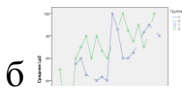
Передние размеры тел позвонков La2 были достоверно больше восстановлены при distraction передних межтеловых промежутков Mta2 в первой группе. Значение t-критерия Стьюдента равно 3,64 при  $p=0,001$ . Значимость критерия Манна – Уитни  $<0,001$ .

На рисунке 19 а видно, что максимальное восстановление передних размеров тел позвонков достигается при величине distraction передних межтеловых промежутков ближе к 100,0% от исходного размера в первой и второй группах. Причем дальнейшая distraction (более 100,0%) передних межтеловых промежутков не влияет на восстановление передних размеров тела позвонка. Получена прямая сильная корреляционная связь при восстановлении размеров передней стенки позвонка (La2) в зависимости от distraction передних межтеловых промежутков Mta2:  $r=0,683$  при  $p<0,010$ . Максимальное восстановление задних размеров тел позвонков (Lp2) получено при distraction задних межтеловых промежутков (Mtp2) на 97,0% и более от исходных размеров задних межтеловых промежутков (рис. 19 б). Изменения в двух группах статистически не значимы.

Значение t-критерия Стьюдента равно 1,72 при  $p=0,091$ . Значимость критерия Манна – Уитни 0,09. Коэффициент корреляции Пирсона указывает на среднюю прямую корреляционную связь:  $r=0,523$  при  $p<0,010$ .



а



б

Рисунок 19 – Восстановление передних (La2) (а) и задних (Lp2) (б) размеров тел позвонков при дистракции передних (Mta2) и задних (Mtp2) межтеловых промежутков, %

IV. *Оценка размеров оставшейся (X2) деформации передней стенки позвоночного канала в зависимости от величины distraction передних (Mta2) и задних (Mtp2) межтеловых промежутков*

В первой группе больных реформация передней стенки позвоночного канала проходила более эффективно ( $p < 0,030$ ). Причем при distraction передних межтеловых промежутков на расстояние, составляющее от 95,0% исходного размера передних межтеловых промежутков, величина смещения костных фрагментов из позвоночного канала значительно уменьшается как в первой, так и второй группах (рис. 20 а). Дальнейшее увеличение межтеловых промежутков менее существенное, и максимальное смещение костных фрагментов из позвоночного канала происходило при величине distraction на 100,0–102,0% от исходного размера передних межтеловых промежутков.

Дальнейшая distraction (более 102,0%) передних межтеловых промежутков существенно не повлияла на реформацию передней стенки позвоночного канала в двух группах. Выявлена слабая обратная корреляционная связь между оставшейся деформацией передней стенки позвоночного канала (X2) и величиной distraction передних межтеловых промежутков (Mta2): коэффициент корреляции Пирсона  $r = -0,295$  при  $p = 0,030$ .

При distraction задних межтеловых промежутков выявлено, что в первой группе реформация передней стенки позвоночного канала была более эффективной ( $p < 0,010$ ). При величине distraction до 95,0% значительно уменьшается величина смещения костных фрагментов из позвоночного канала как в первой, так и во второй группах (рис. 20 б). При distraction задних межтеловых промежутков более 95,0% дальнейшее смещение костных фрагментов из позвоночного канала незначительно и достигает максимума при величине distraction задних межтеловых промежутков на 101,0–102,0% от исходной длины как в первой, так и второй группах.

Отмечена слабая обратная корреляционная связь между остаточной деформацией передней стенки позвоночного канала и величиной distraction задних межтеловых промежутков:  $r = -0,312$  при  $p = 0,030$ .

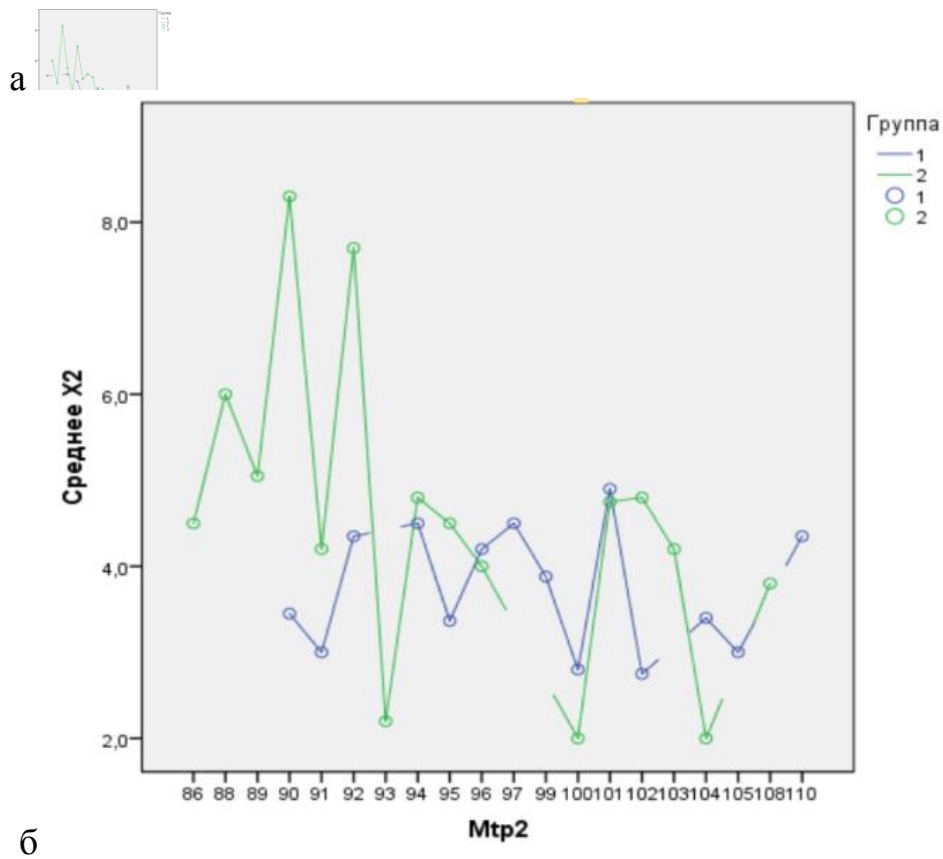


Рисунок 20 – Влияние distraction передних межтеловых промежутков (Mta2) (%) на оставшуюся деформацию передней стенки позвоночного канала (X2), мм (а); влияние distraction задних межтеловых промежутков (Mtp2) (%) на оставшуюся деформацию передней стенки позвоночного канала (X2), мм (б)

*V. Влияние угла деформации  $\alpha$  на реформацию передней стенки позвоночного канала*

Угол  $\Delta\alpha$  – это разница между измеренным и исходным углом  $\alpha$ , который принимает положительные и отрицательные значения. Если после выполненной репозиции измеренный угол  $\alpha$  на контрольной СКТ стал больше рассчитанного (исходного) угла, тогда разница принимает отрицательные значения. При недостаточной угловой коррекции угол  $\Delta\alpha$  принимает положительные значения. Остаточная деформация X2 увеличивается при увеличении разницы между исходным и исправленным углом  $\alpha$  в двух группах (рис. 21). При отрицательных значениях угла  $\Delta\alpha$  наблюдается минимальная деформация передней стенки позвоночного канала. При положительных значениях  $\Delta\alpha$  более 5 градусов отмечается увеличение остаточной деформации передней стенки позвоночного канала. Получено статистически значимое влияние  $\Delta\alpha$  на реформацию передней стенки позвоночного канала. Значение t-критерия равно 3,21 при  $p < 0,002$ . Коэффициент корреляции Пирсона указывает на слабую положительную связь:  $r = 0,32$  при  $p = 0,020$ .



Рисунок 21 – Разница послеоперационного фактического и рассчитанного сегментарного углов ( $\Delta\alpha$ ) в градусах в зависимости сохранявшейся деформации передней стенки позвоночного канала (X2), мм

Поэтому при устранении деформации поврежденного сегмента позвоночника в грудном и поясничном отделах, кроме величины дистракции межтеловых промежутков, важно учитывать и сегментарный угол. Если сегментарный угол на контрольных СКТ приближался к рассчитанному углу  $\alpha$ , деформация передней стенки позвоночного канала была минимальной.

В первые 10 дней после травмы удалось восстановить передние размеры тел позвонков в среднем на  $95,3 \pm 1,9\%$  от рассчитанных, задние размеры тел позвонков – на  $96,0 \pm 1,4\%$  при дистракции передних межтеловых промежутков в среднем на  $93,1 \pm 7,2\%$  и задних – на  $98,5 \pm 2,0\%$ . В сроки от 11 до 30 дней после травмы удалось восстановить передние размеры тел позвонков в среднем от рассчитанных на  $87,4 \pm 4,2\%$  и задние размеры – на  $96,6 \pm 1,8\%$  при дистракции передних и задних межтеловых промежутков в среднем на  $92,1 \pm 2,8\%$  и  $95,7 \pm 2,4\%$  соответственно.

Таким образом, ретроспективный анализ показал, что размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол поврежденного отдела позвоночника  $\alpha$  влияют на восстановление поврежденного тела позвонка со смежными дисками. Максимальное восстановление передних и задних размеров тел позвонков происходило при дистракции межтеловых промежутков на индивидуальные рассчитанные размеры. Размеры остаточной деформации передней стенки позвоночного канала (X2) зависели от величины дистракции межтеловых промежутков и сегментарного угла  $\alpha$ .

### **3.3 Определение факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла, влияющих на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

В основе лечения переломов позвоночника с повреждением спинного мозга лежит декомпрессия содержимого позвоночного канала. Большая роль в создании компрессии и повреждении спинного мозга отводится костным фрагментам от



задней части тела позвонка. Непрямая декомпрессия может быть эффективной при смещении костного фрагмента в позвоночный канал не более 50,0% при сохранении задней продольной связки (Huang J. et al., 2020; Venek H.V. et al., 2021). Не все костные фрагменты могут быть смещены из позвоночного канала с помощью лигаментотаксиса (Dai J. et al., 2015; Venek H.V. et al., 2021). Прогнозирование эффективного выполнения лигаментотаксиса важно для выбора оптимальной хирургической тактики. Довольно мало исследований, изучающих факторы, влияющие на эффективность репозиции позвоночника.

На ретроспективном материале 45 пациентов (25 мужчин, 20 женщин) с позвоночно-спинномозговой травмой на уровне L1 позвонка до и после операции изучалось влияние факторов, величин межтеловых промежутков и угла деформации на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала.

В исследование были включены пациенты с многооскольчатыми переломами с внутриканальными костными фрагментами от задней верхней части тела L1 позвонка. Критерии исключения: множественные переломы позвонков, нетравматические и застарелые переломы. Средний возраст пострадавших –  $38,2 \pm 3,9$  лет. По классификации AOSpine повреждения типов A3 выявлено у 3 пациентов, A4 – у 39, B2 – у 3 больных. В неврологическом статусе степень тяжести повреждения спинного мозга определяли по шкале ASIA: тип C – у 20, тип D – у 13 и тип E – у 12 пострадавших. Все пациенты оперированы из заднего доступа с использованием пяти- или шестивинтовой транспедикулярной конструкции. Транспедикулярные винты имплантировались в тела ThXII, L1, LII позвонков. С помощью репозиционного устройства для чрескостного транспедикулярного остеосинтеза фирмы «Синтез» устранялась угловая деформация поврежденного сегмента позвоночника, происходило восстановление вертикальных размеров поврежденного позвонка и закрытая декомпрессия содержимого позвоночного канала за счет смещения костных фрагментов. У всех пациентов на разные величины добились смещения костных фрагментов из позвоночного канала в вентральном направлении.

По величине смещения костного фрагмента (X) из позвоночного канала после операции были сформированы 2 группы. На рисунке 22 а показано измерение параметра X. В первой группе (n=25) смещение костных фрагментов из позвоночного канала составило 50,0% и более от первоначального размера смещения; во второй группе (n=20) костные фрагменты из позвоночного канала удалось сместить менее чем на 50,0%. Характеристика сформированных групп по типам повреждения позвоночника, полу, возрасту и неврологическому статусу представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика групп сравнения

Группа	Тип повреждения по АО			Пол		Возраст, лет	Неврологический статус ASIA		
	A3	A4	B2	М	Ж		C	D	E
1	1	22	2	15	10	31,6±5,4	13	9	3
2	2	17	1	10	10	32,5±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 дефицита площади позвоночного канала на уровне повреждения. Измеряли длину и ширину костных фрагментов, заднюю высоту поврежденного и смежных тел позвонков (PVH), угол инверсии костного фрагмента ( $\square$ ) и угол между нижней кортикальной пластинкой тела ThXII позвонка и кортикальной частью отломка ( $\lambda$ ). Измеряли и рассчитывали поперечный диаметр позвоночного канала (L), ширину костного фрагмента относительно поперечного диаметра позвоночного канала. Для уменьшения погрешности в измерениях все измерения были повторены дважды и усреднены.

Измерение просвета позвоночного канала показано на рисунке 22 б. Рассчитанный диаметр позвоночного канала (Y) на уровне повреждения определялся путем усреднения диаметров позвоночных каналов соседних позвонков выше и ниже уровня повреждения.

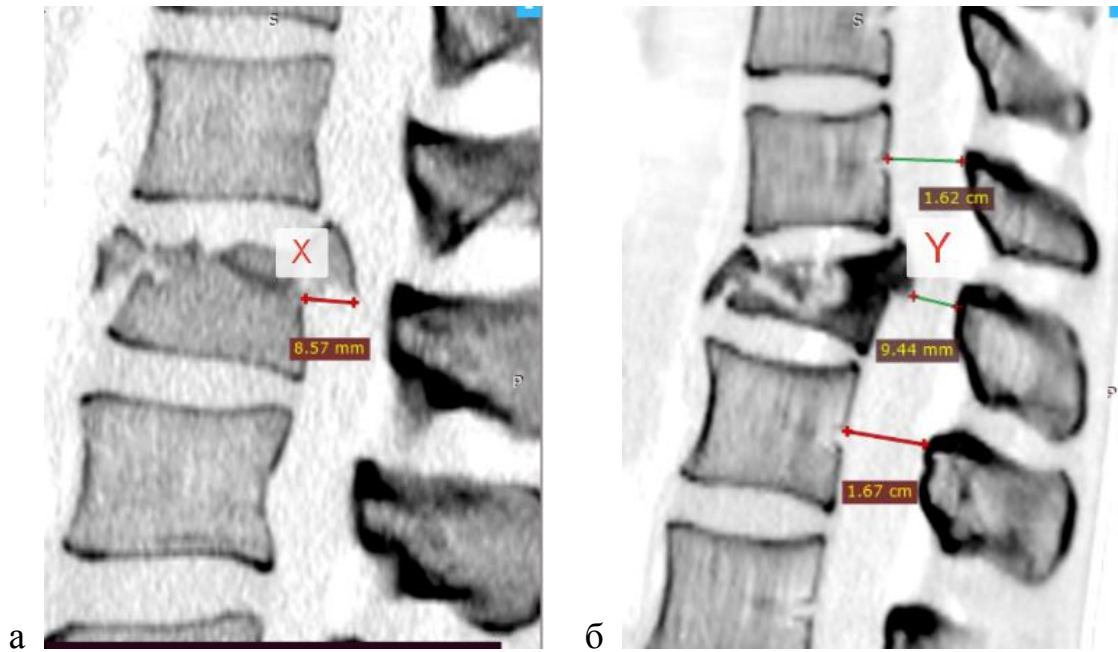


Рисунок 22 – Измерение длины смещения костного фрагмента в сторону позвоночного канала (а); измерение просвета позвоночного канала (б)

Дефицит просвета позвоночного канала рассчитывали по формуле:

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

где

$Y_1$  – размер позвоночного канала на уровне L1 позвонка.

Измерение поперечного диаметра позвоночного канала ( $L$ ) представлено на рисунке 23 а.

Расчет дефицита площади позвоночного канала проводили по аналогии с дефицитом просвета позвоночного канала. По СКТ в аксиальной проекции на уровне повреждения и смежных уровнях проводилось измерение площади позвоночного канала (рис. 23 б).

Расчет дефицита площади проводили по формуле (4):

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

где

$S_1$  – площадь позвоночного канала на уровне L1 позвонка.

Высоту задней стенки позвоночного канала (PVH) на уровне повреждения рассчитывали в процентах от средней задней высоты тел смежных позвонков. Сегментарный угол  $\alpha$  измеряли между нижней замыкательной пластинкой тела ThXII и верхней замыкательной пластинкой тела LII позвонка (рис. 23 в).



Рисунок 23 – Измерение поперечного диаметра позвоночного канала (L) (а); измерение площади позвоночного канала (S) (б); измерение высоты задней стенки позвоночного канала (PVH) и угла сегментарной деформации  $\alpha$  (в)

Измерение длины и ширины костного фрагмента представлено на рисунке 24.

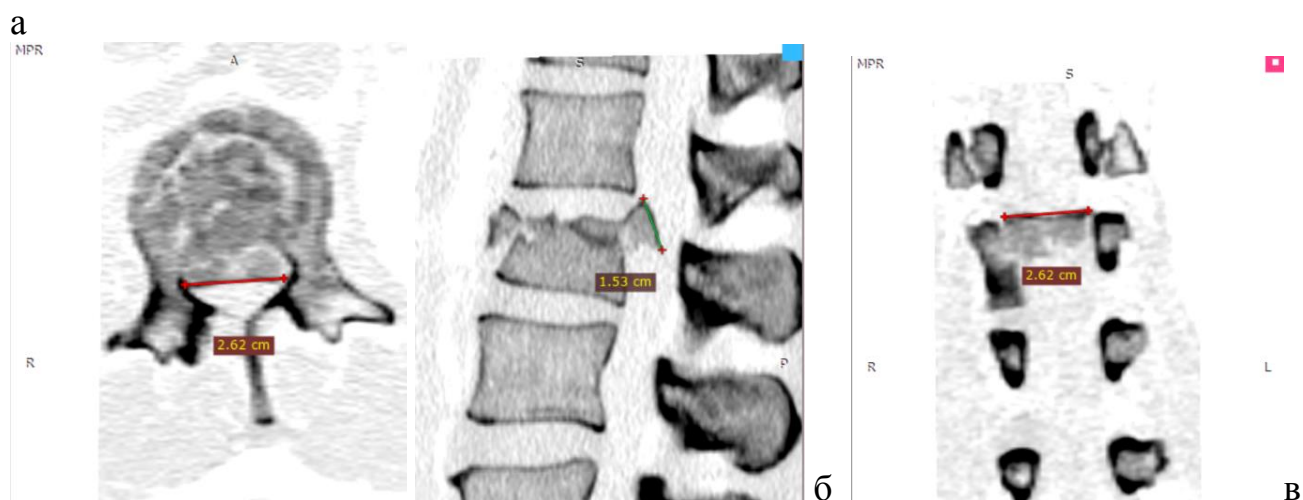


Рисунок 24 – Измерение длины костного фрагмента (а); измерение ширины костного фрагмента в фронтальной плоскости (б); измерение ширины костного фрагмента в горизонтальной плоскости (в)

Угол разворота костного фрагмента ( $\beta$ ) образован пересечением линии вдоль задней стенки поврежденного позвонка и линии на костном фрагменте, как продолжение задней стенки позвонка (рис. 25 а).

В исследование ввели угол ( $\lambda$ ), образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и частью верхней кортикальной пластинки поврежденного позвонка, находящейся на костном фрагменте (рис. 25 б). Нами замечено, что данный угол в процессе репозиции позвоночника практически не изменяется.

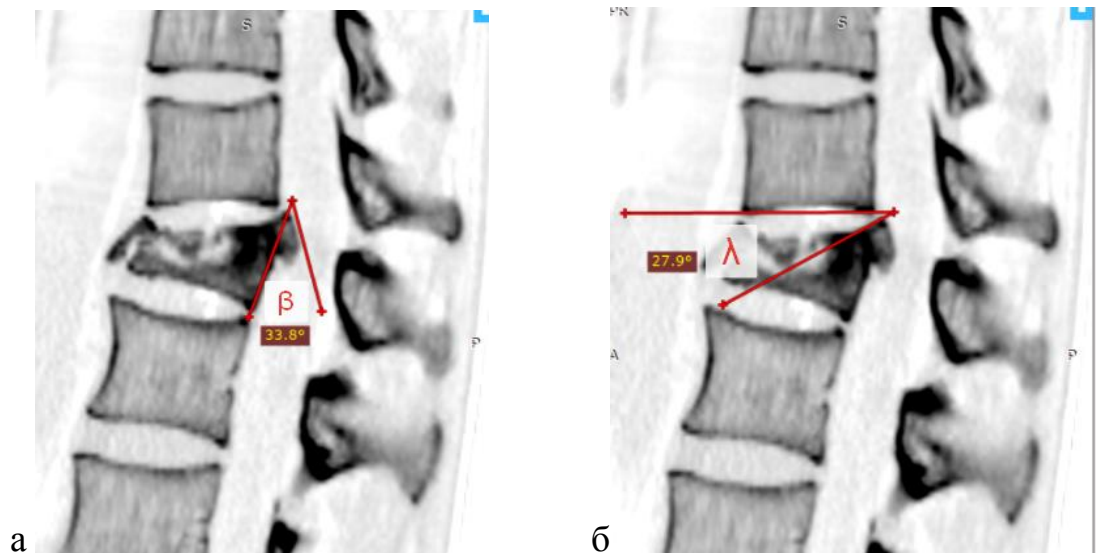


Рисунок 25 – Измерение угла разворота костного фрагмента ( $\beta$ ) (а); измерение угла ( $\lambda$ ) (б)

Статистическая обработка материала проводилась с помощью пакета статистических программ SPSS Statistic v. 23. Описательная статистика включала расчет средних величин с 95% ДИ. Проведены перекрестный статистический анализ измеряемых параметров в двух группах с использованием t-критерия для независимых выборок, однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Разница считалась статистически значимой при  $p < 0,05$ .

Выявленный неврологический статус у пациентов не зависел от дефицита просвета позвоночного канала, что наглядно представлено на диаграмме размаха (рис. 26 а). Методом дисперсионного анализа не получено статистически значимого отличия степени неврологических нарушений от дефицита просвета

позвоночного канала ( $p=0,270$ ). В первой группе отмечен значимо больший дефицит просвета позвоночного канала ( $p=0,018$ ), но это не повлияло на эффективность реформации позвоночного канала. На диаграмме размаха представлена зависимость неврологических нарушений от дефицита площади позвоночного канала (рис. 26 б). Наглядно обозначен больший дефицит площади позвоночного канала при неврологических нарушениях степени С, но статистического подтверждения это не получило ( $p=0,170$ ).

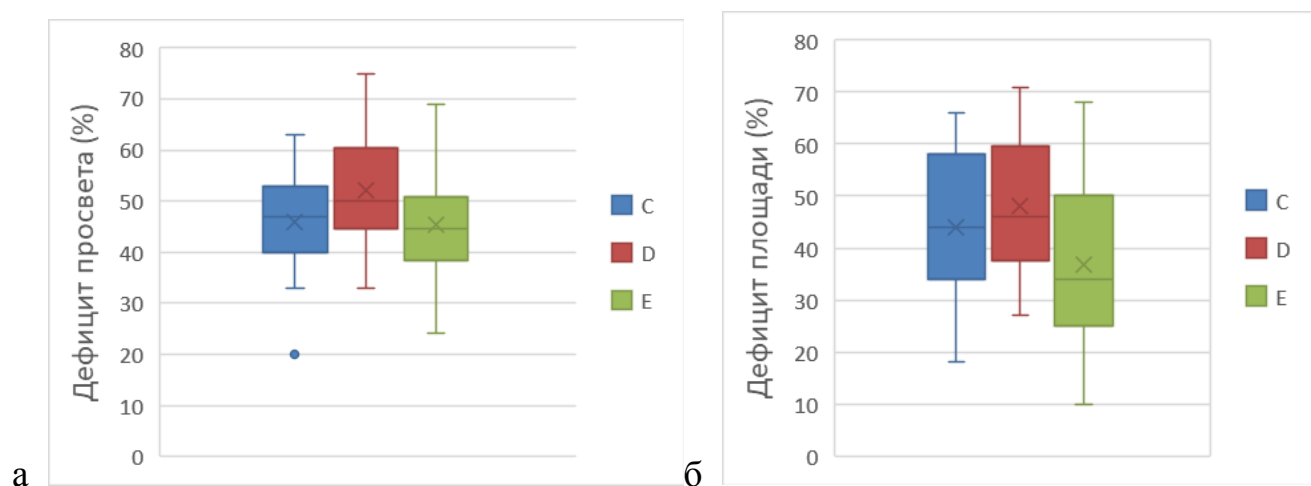


Рисунок 26 – Дефицит просвета позвоночного канала и неврологический статус по ASIA, % (а); дефицит площади позвоночного канала и неврологический статус по ASIA, % (б)

Дефицит площади позвоночного канала превалировал в 1-й группе:  $47,2 \pm 5,8\%$  против  $38,4 \pm 6,7\%$  во 2-й группе ( $p=0,05$ ). В таблице 11 представлен статистический анализ сравниваемых параметров.

Пациенты с двумя костными фрагментами были как в первой, так и второй группах. В первой группе этих пациентов было больше:  $1,5 \pm 0,2$  против  $1,2 \pm 0,2$ . На неврологический статус не влияют длина ( $p=0,5$ ), ширина ( $p=0,6$ ) и количество костных отломков ( $p=0,48$ ), что отражено на рисунке 27.

Таблица 11 – 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)
От травмы до операции, дни	6,7±3,0 (3,6-9,8)	15,5±5,6 (9,6-21,5)	0,010
Количество отломков (1 или 2)	1,5±0,2	1,2±0,2	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
PVN до операции, %	92,0±1,5 (90,4-93,5)	93,5±1,5 (92,0-95,0)	0,150
X 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
X после операции, мм	3,2±0,5 (2,7-3,8)	4,9±0,5 (4,3-5,4)	0,0001
PVN 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

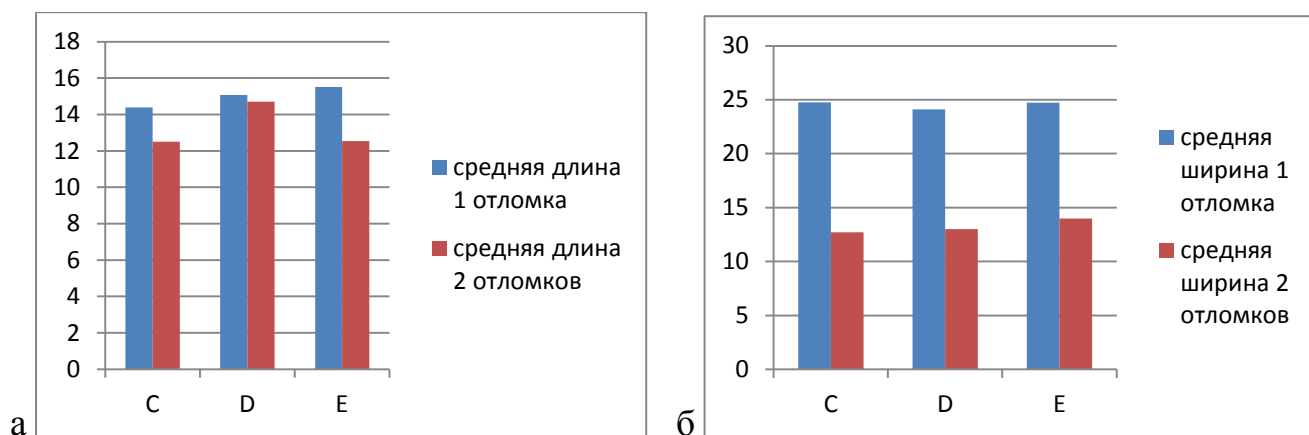


Рисунок 27 – Средняя длина одного или двух отломков (мм) и неврологический статус по ASIA (а); средняя ширина одного или двух отломков (мм) и неврологический статус по ASIA (б)

На изменение положения костных фрагментов, смещенных в позвоночный канал, влияют и сроки выполнения операции с момента получения травмы. Более ранние сроки оперативных вмешательств в 1-й группе позволили добиться лучших результатов ( $p=0,010$ ). Высота задней стенки поврежденного тела позвонка (PVH) как до, так и после операции в двух группах сопоставима. Восстановление высоты задней стенки позвоночного канала статистически достоверно не повлияло на положение внутриканального костного фрагмента ( $p=0,310$ ). Но в двух группах задняя стенка была восстановлена почти на 100,0%. В таблице 11 приведены результаты статистического анализа сравниваемых параметров в двух группах до и после операции.

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

Величина смещения костных фрагментов в позвоночный канал (X) не повлияла на эффективность проводимой закрытой декомпрессии. Так, в 1-й группе значение X до операции было статистически значимо больше ( $p=0,006$ ), а после операции – статистически значимо меньше ( $p=0,0001$ ). Возможно, это связано с временем начала операции, т.к. в более поздние сроки репаративные процессы, происходящие в позвоночном канале, ограничивают смещение костных фрагментов.



Различия в углах кифотической деформации  $\alpha$  до и после операции были статистически не значимы. В первой группе до операции средний угол составлял  $5,9 \pm 1,6$  градуса, во второй группе –  $6,6 \pm 2,3$  градуса; после операции –  $6,1 \pm 1,3$  и  $3,8 \pm 2,0$  градуса соответственно. Средние углы разворота костных фрагментов ( $\beta$ ) до операции были близки в двух группах ( $p=0,38$ ). В первой группе разброс средних величин угла разворота костных фрагментов с 95% ДИ составлял 26,9–35,8, во второй группе – 25,2–34,4 градуса. После операции угол разворота костных фрагментов значительно уменьшился в первой группе, что привело к лучшей реформации позвоночного канала.

Углы между нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и кортикальной пластинкой костного фрагмента ( $\lambda$ ) в двух группах были близки ( $p=0,28$ ). После операции в 1-й группе угол практически не поменялся, произошло незначительное, статистически не значимое его увеличение во 2-й группе с  $38,9 \pm 3,2$  до  $41,1 \pm 4,0$  градуса. Объяснение этому мы не нашли.

Статистически значимой разницы в высоте костных отломков между группами не обнаружено ( $p=0,56$ ). Наблюдалась значительная разница между группами по ширине отломка ( $p=0,03$ ). Во второй группе средняя ширина отломка  $22,3 \pm 2,6$  мм против  $18,2 \pm 2,3$  мм в первой группе. Мы рассчитали отношение ширины костного фрагмента к истинному поперечному диаметру позвоночного канала и также получили статистически больший процент во второй группе ( $p=0,015$ ). Если отношение ширины костного фрагмента к истинному поперечному диаметру позвоночного канала составляло более  $86,2 \pm 9,6\%$ , то сместить данный фрагмент из позвоночного канала более чем на 50% не удавалось.

Таким образом, при ретроспективном анализе СКТ больных с повреждением тела L1 позвонка и смежных межпозвоночных дисков не выявлено статистически значимого влияния дефицита просвета и дефицита площади позвоночного канала, длины и ширины внутриканального костного фрагмента на неврологические нарушения типов C, D и E по ASIA. На закрытую декомпрессию спинного мозга при ПСМТ на уровне L1 влияли ширина внутриканальных

костных фрагментов и время до начала операции. Сместить данный фрагмент из позвоночного канала более чем на 50,0% не удавалось, если отношение ширины костного фрагмента к поперечному диаметру позвоночного канала составляло более  $86,2 \pm 9,6\%$ . Если ширина костного фрагмента составляла менее  $69,2 \pm 9,2\%$  к поперечному диаметру позвоночного канала, то величина смещения костного фрагмента из позвоночного канала была более 50,0%. Данные научные результаты были опубликованы в нашей статье (Усиков В.Д., Куфтов В.С., 2023).

### **3.4 Разработка способа интраоперационного контроля при восстановлении исходных вертикальных размеров и сегментарного угла поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах**

На нашем ретроспективном материале пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов проведен анализ восстановления поврежденного сегмента позвоночника, состоящего из тела позвонка и двух смежных дисков. Получены закономерности восстановления вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и реформации передней стенки позвоночного канала в зависимости от размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла.

По данным СКТ-исследований больных с ПСМТ грудного и поясничного отделов проводили предоперационное планирование: с помощью программы RadiAnt выполняли мультипланарную реконструкцию (формат DICOM). На компьютерных сканах в аксиальной проекции измерялись передняя (AVH или La) и задняя (PVH или Lp) высота тел поврежденных и смежных позвонков; передняя и задняя высота межпозвоночных дисков на уровень выше и ниже поврежденного позвонка; размеры верхней кортикальной пластинки тела нижележащего от поврежденного позвонка (Y); сегментарный угол ( $\alpha$ ), который образован нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего позвонка.

Используя выполненные измерения, для восстановления исходных индивидуальных параметров позвоночника проводили расчеты исходных

вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и размеров межтеловых промежутков; сегментарного угла.

Суть метода восстановления исходных индивидуальных параметров заключается в том, что на операции, в процессе выполнения репозиции позвоночника транспедикулярной системой, проводится рентгеноконтроль с помощью ЭОП. На экране ЭОП линейкой измеряется размер верхней замыкательной пластинки тела, нижележащего от поврежденного позвонка. При сравнении с размером верхней замыкательной пластинки по данным предоперационного планирования рассчитывается коэффициент увеличения. Планируемые размеры межтеловых промежутков умножаются на коэффициент увеличения. Далее линейкой на экране ЭОП измеряются размеры межтеловых промежутков, сравниваются с рассчитанными размерами при поправке на коэффициент увеличения. При необходимости с помощью репозиционной системы проводится коррекция размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла, который рассчитывается. Причем при оптимальной репозиции между линией вдоль нижней кортикальной пластинки тела позвонка и линиями межтеловых промежутков образуется угол, близкий к 90 градусам. В процессе репозиции позвоночника это можно проверить с помощью прямоугольного треугольника на мониторе ЭОП, поставив прямой угол в крайних точках нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка. Это дает возможность рассчитать сегментарный угол с применением тригонометрической функции по формуле:  $\sin^{-1}$  (от разницы длины межтеловых промежутков, деленной на размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка).

Возможность контролировать восстановление рассчитанных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла рассмотрим на клиническом примере.

Пациент Д. 30 лет поступил с диагнозом: 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 28 а перпендикуляры, опущенные из точек В и С, находящиеся на нижней замыкательной пластинке тела LII позвонка, не совпадают с крайними точками верхней замыкательной пластинки тела LIV позвонка. Сегментарный угол составил 6,5 градуса. Рассчитываются предполагаемые (исходные) размеры межтеловых промежутков (рис. 28 б).

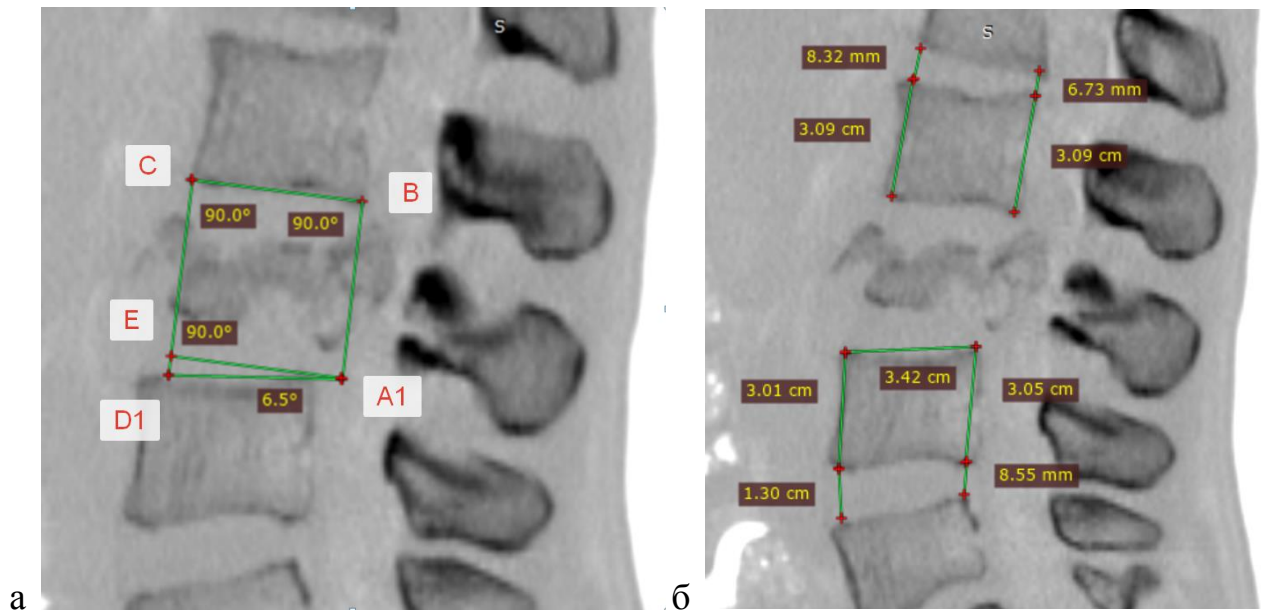


Рисунок 28 – СКТ пациента Д. Срединный сагиттальный срез поясничного отдела позвоночника: выделение сегмента позвоночника, состоящего из тела позвонка и двух прилегающих дисков (а); измерения для предполагаемых размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла (б)

Рассчитанный передний межтеловой промежуток ( $|CD|$ ) – 51,7 мм; задний ( $|AB|$ ) – 46,0 мм, рассчитанный сегментарный угол – 9,7 градуса. На операции перед репозицией позвоночника на экране монитора ЭОП сегмент позвоночника (тело LIII позвонка со смежными дисками) выглядит так: перпендикуляры из точек В и С от нижней кортикальной пластинки тела LII позвонка не совпадают с точками А и D на верхней кортикальной пластинке тела LIV позвонка (рис. 29 а). Но за счет укладки на животе с валиками под грудиной и тазом поврежденный сегмент уже начал «расправляться»: расстояния  $|A-A1|$  и  $|D-D1|$  уменьшились по отношению к данным дооперационной СКТ.

В процессе репозиции позвоночника с помощью прямоугольника контролируется положение точек  $A$  и  $D$  (перпендикуляр от  $|BC|$ ). С помощью репозиционной системы увеличиваем или уменьшаем размеры межтеловых промежутков. По окончании репозиции опущенные перпендикуляры из точек  $B$  и  $C$  совпадают с точками  $A$  и  $D$  (рис. 29 б).

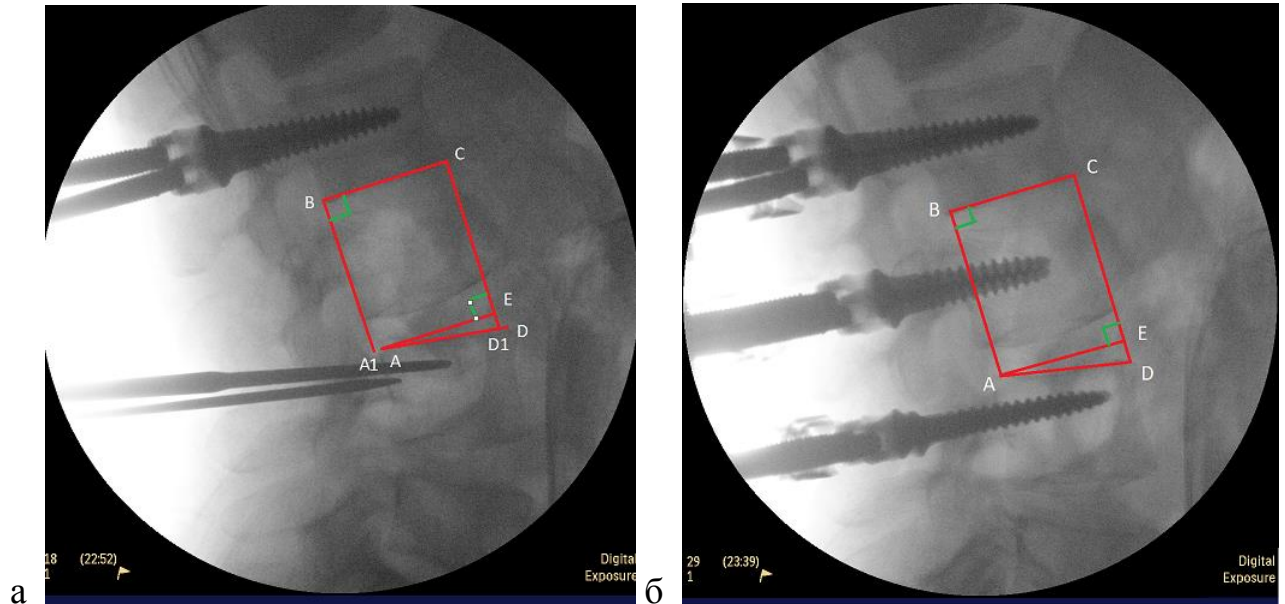


Рисунок 29 – Снимок поврежденного сегмента позвоночника пациента Д. на экране монитора перед репозицией (а) и после репозиции позвоночника (б)

Рассчитывается коэффициент увеличения по  $|AD|$ . По данным СКТ данное расстояние составляет 34,2 мм, на экране монитора – 63,0 мм. Получили коэффициент увеличения 1,84. На экране монитора измеряются  $|AB|$  и  $|CD|$ , которые равны 85,0 мм и 95,0 мм соответственно. Через коэффициент увеличения сравниваются полученные размеры межтеловых промежутков с предполагаемыми (измеренные размеры  $|AB|$  и  $|CD|$  делим на коэффициент увеличения 1,84 и получаем 46,2 мм и 51,6 мм). Угол  $DAE$ , рассчитанный по монитору ЭОП составил 9,2 градуса. Размеры  $|AB|$  и  $|CD|$  и угол  $DAE$  близки к предполагаемым (рассчитанным на этапе операционного планирования). На СКТ после операции сравнили полученные размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол с рассчитанными при планировании операции и во время операции по экрану монитора ЭОП (рис. 30, табл. 12).

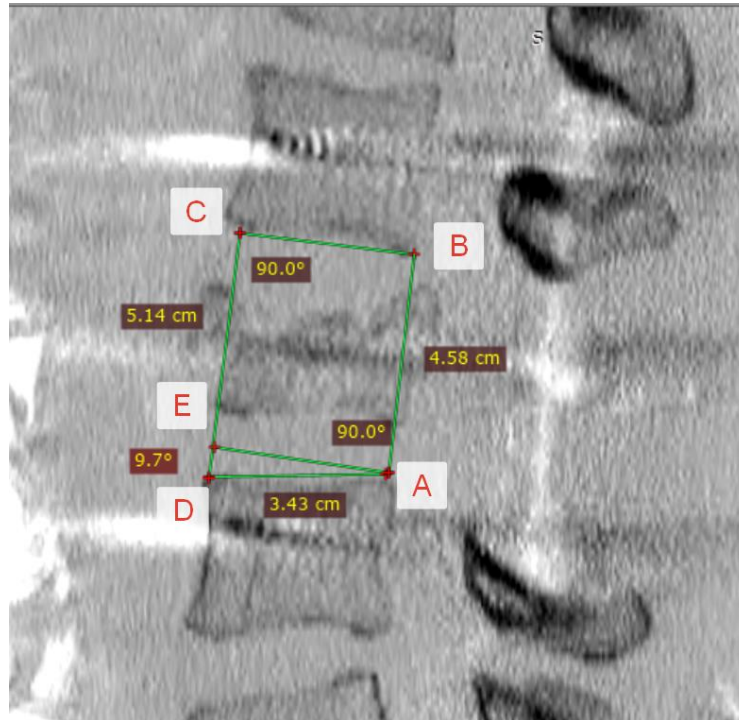


Рисунок 30 – СКТ пациента Д.: срединный сагиттальный срез позвоночника после операции

Таблица 12 – Сравнение межтеловых промежутков, сегментарного угла деформации по данным СКТ и экрану монитора ЭОП у пациента Д.

Виды исследования	$ AB $ , мм	$ CD $ , мм	Угол $\alpha$ , град.
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  $\alpha$  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 ЭОП.

### **3.5 Разработка компьютерной программы для математических расчетов необходимых параметров при восстановлении поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах**

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. 13). 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 13 – 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, образованный 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 – переднее межтеловое 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 – заднее межтеловое расстояние (от заднего края нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка до заднего края верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка), мм	
	$\frac{13_2 - "13_1"}{"13_2"} \times 100\%$	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, %	

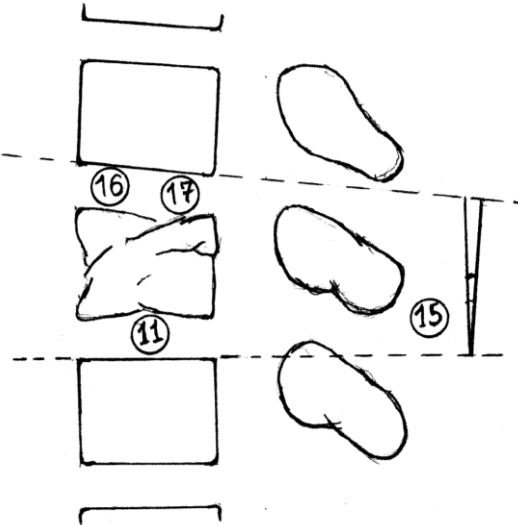
Ниже расположены кнопка «Рассчитать», после нажатия на которую во втором столбце отображаются расчеты, кнопка «Сохранить», после которой введенная и рассчитанная информация сохраняется, а также кнопка «Вернуться», возвращающая пользователя на первую страницу.

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. 14).

Таблица 14 – 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 <sub>1</sub> "	11 – размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка, мм	
(Убрать белое окошко)	$\sin^{-1} \frac{"16_4" - "17_4"}{"11_4"}$	="15 <sub>2</sub> "	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 <sub>2</sub> "	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 <sub>2</sub> "	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 «Расчитать», 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 ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ УСТРОЙСТВ И ОЦЕНКА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

### **4.1 Изучение влияния материала изготовления и диаметра транспедикулярных устройств на их жесткость**

Позвоночник является основой опорно-двигательного аппарата человека с обеспечением выполнения силовых функций и подвижности. Мерой соотношения этих функций является жесткость позвоночника, которая зависит от пола, возраста и анатомических особенностей человека. Снижение этой жесткости в результате травмы, заболевания или операционного воздействия будет приводить к нестабильности позвоночника (Шевченко Е.Г., 2018; Щедренок В.В. с соавт., 2010). В то же время, повышение жесткости в результате заболевания или установки ригидного имплантата нарушает биомеханику позвоночника, приводя к перегрузке смежных сегментов (Усиков В.Д с соавт., 2009; Azadi A., Arjmand N., 2021). Поэтому важно знать, как травма или оперативное вмешательство влияют на изменение жесткости позвоночника, и как жесткость позвоночника изменяется при установке имплантата. Наиболее часто применяемыми методами фиксации позвоночника являются транспедикулярные аппараты. От конструкции транспедикулярных устройств (ТПУ) (длина, диаметр винтов и соединительных штанг) и материала, из которого он изготовлен, зависит и жесткость оперированного отдела позвоночника.

Экспериментальное определение жесткости ТПУ проводили в соответствии с международным стандартом ASTM F1717 (La Barbera L. et al., 2014). В блоки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, имитирующие тела позвонков в соответствии со спондилоэктомической моделью, вводили винты, которые соединяли фиксирующими штангами из различных сплавов. Конструкцию устанавливали в шарнирных захватах испытательной машины TIRAtest 2300 и

нагружали методом сжатия-растяжения. По результатам испытаний определяли жесткость конструкции, а также предельную нагрузку, при которой происходило необратимое изменение формы ТПУ или повреждение полиэтиленовых балок. Для экспериментального исследования использовались транспедикулярные винты производства «Синтез», «Конмет» и «КИМПФ». Фиксирующие штанги изготавливали из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, титанового сплава ВТ6 и сплава на основе никелида титана ТН1. Диаметр балок составлял: 5,5; 6,0; 7,0 мм. Проведенные испытания показали, что механическое поведение ТПУ зависит в основном от материала изготовления штанг и их диаметра.

В случае использования материалов из нержавеющей стали или титановых сплавов кривую деформации можно разделить на участки упругого и пластического поведения. Граница между этими участками определяется по критической нагрузке, соответствующей началу текучести материала конструкции ТПУ, а последующая разгрузка ТПУ приводит к практически полному восстановлению исходной формы конструкции (рис. 31).

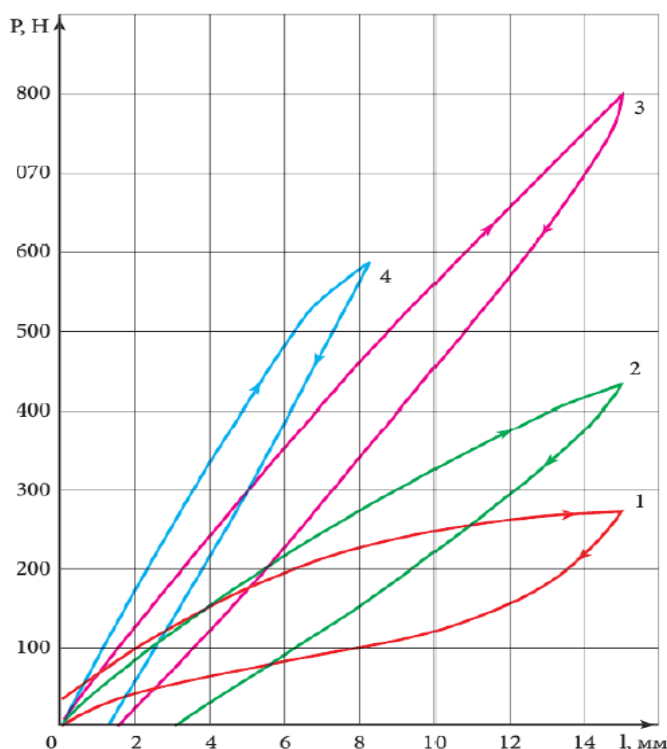


Рисунок 31 – Кривые деформации: 1 – ТПУ «КИМПФ» с балками  $\varnothing$  5,5 мм из сплавов ТН1; 2 – ВТ6; 3 – «Синтез» с балками  $\varnothing$  7,0 мм из сплава ВТ6; 4 – из стали 12Х18Н10Т



Верхней границей области работоспособности ТПУ с балками из различных материалов можно считать нагрузки, отвечающие началу текучести ( $P_T$ ), и соответствующие им смещения полиэтиленовых блоков ( $\Delta l_T$ ). Эти смещения включают в себя упругую составляющую ( $\Delta l_y$ ) и составляющую, которая обусловлена пластической деформацией элементов конструкции (табл. 15).

Значения характеристик работоспособности соединительных штанг зависят от геометрии и материала их изготовления: чем больше диаметр штанг и больше предел текучести материала, тем больше допустимые нагрузки характеризуют работоспособность ТПУ. В наших испытаниях максимальная нагрузка наблюдалась у ТПА производства «Синтез» с балками из сплава ВТ6 диаметром 7,0 мм. Максимально упругие смещения, кроме выше указанных причин, определяются модулем упругости материала. Так, при равных диаметрах фиксирующих штанг они были минимальными при использовании нержавеющей стали, так как имели в два раза больший модуль упругости и на 30,0% меньший предел текучести, чем титановый сплав ВТ6.

Работоспособность ТПУ в упругой области характеризует жесткость конструкции, которая соответствует тангенсу угла наклона упругого участка кривой нагружения ТПУ и равна отношению:  $K=P_T/\Delta l_y$ . Поэтому жесткость конструкции максимальна у ТПУ со штангами диаметром 7,0 мм из нержавеющей стали и минимальна у штанг диаметром 5,5 мм из титанового сплава.

Механическое поведение ТПУ со штангами из никелида титана отличается тем, что после нагрузки свыше текучести исходная форма ТПУ полностью восстанавливается при разгрузке (см. рис. 31). Причем кривые деформации при нагрузке и разгрузке имеют значительные отклонения от линейности. Такое поведение определяется явлением сверхупругости, обусловленным развитием прямого и обратного мартенситного превращения в материале в цикле нагрузка-разгрузка. Поэтому описывать механические поведения ТПУ со сверхупругими балками из никелида титана в рамках стандарта ASTM F1717 не представляется целесообразным.

Таблица 15 – Характеристики работоспособности транспедикулярного аппарата

Производитель	Материал балок	Диаметр продольных балок, мм	Характеристики по ASTM 1717			Характеристики работоспособности		
			Нагрузка Текучести, 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

В данном случае область работоспособности ТПУ будет определяться максимальными нагрузками и смещениями, после которых происходит полное восстановление исходной формы ТПУ и положения полиэтиленовых блоков, имитирующих позвонки после разгрузки. Таким образом, в материале изготовления штанг не превышаются значения критических напряжений и деформаций при температуре ее эксплуатации (36–37°C) (Коллеров М.Ю. с соавт., 2002). В этом случае жесткость ТПУ будет определяться отношением величин максимальной нагрузки и смещения и определяться «эффективным» модулем упругости материала изготовления штанги:  $K_{эф} = P_{max} / \Delta l_{max}$  (Коллеров М.Ю. с соавт., 2010). Для штанг из титановых сплавов и стали характеристики текучести ( $P_T$  и  $\Delta l_T$ ) эквивалентны характеристикам ( $P_{max}$  и  $\Delta l_{max}$ ).

Как показали проведенные испытания, механическое поведение ТПУ будет во многом определяться предельной нагрузкой и смещением позвонков, а также жесткостью. В основном эти характеристики зависят от материала и геометрии соединительных штанг и могут меняться в широком диапазоне значений. Выбор ТПУ с теми или иными характеристиками должен определяться видом травмы или заболевания позвоночника, а также тем хирургическим воздействием, которое необходимо для их устранения.

Таким образом, чем больше диаметр фиксирующих штанг и предел текучести материала для их изготовления, тем больше жесткость и допустимые нагрузки характеризуют работоспособность ТПУ.

#### **4.2 Определение оптимальных характеристик работоспособности транспедикулярных устройств 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, ламинэктомии (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.

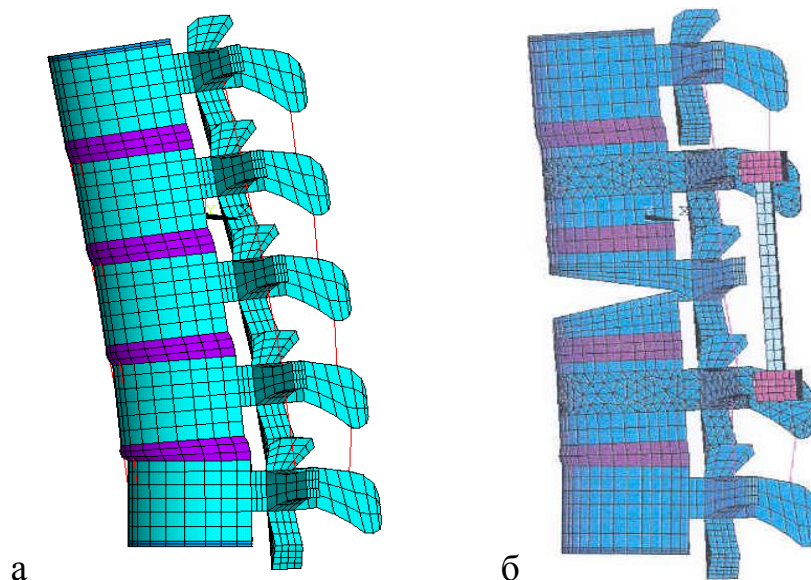


Рисунок 32 – Конечноэлементная модель поясничного отдела позвоночника L1-LV при приложении флекссионной нагрузки на уровне LIII (а); компрессионный перелом LIII с ламинэктомией на этом уровне и транспедикулярной фиксацией LII-LIV (б)

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 определялась стабильность фиксированного позвоночно-двигательного сегмента, а когда требовалось – и смежных сегментов. Данные раздела диссертации были опубликованы в статье (Усиков В.Д. с соавт., 2018).

В процессе моделирования к поясничному отделу позвоночника прикладывали изгибающий момент, имитирующий функциональную нагрузку на позвоночник при флексии и экстензии (рис. 33). Нестабильность позвоночника оценивали исходя из трехколонного строения остеолигаментарных структур по F. Denis (1984).

По результатам расчета определяли подвижность отдельных сегментов по коэффициенту стабильности (K) (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 подвижности сегментов позвоночника в зависимости от вида травмы и используемого материала для изготовления штанг транспедикулярного устройства приведены на рисунке 34.

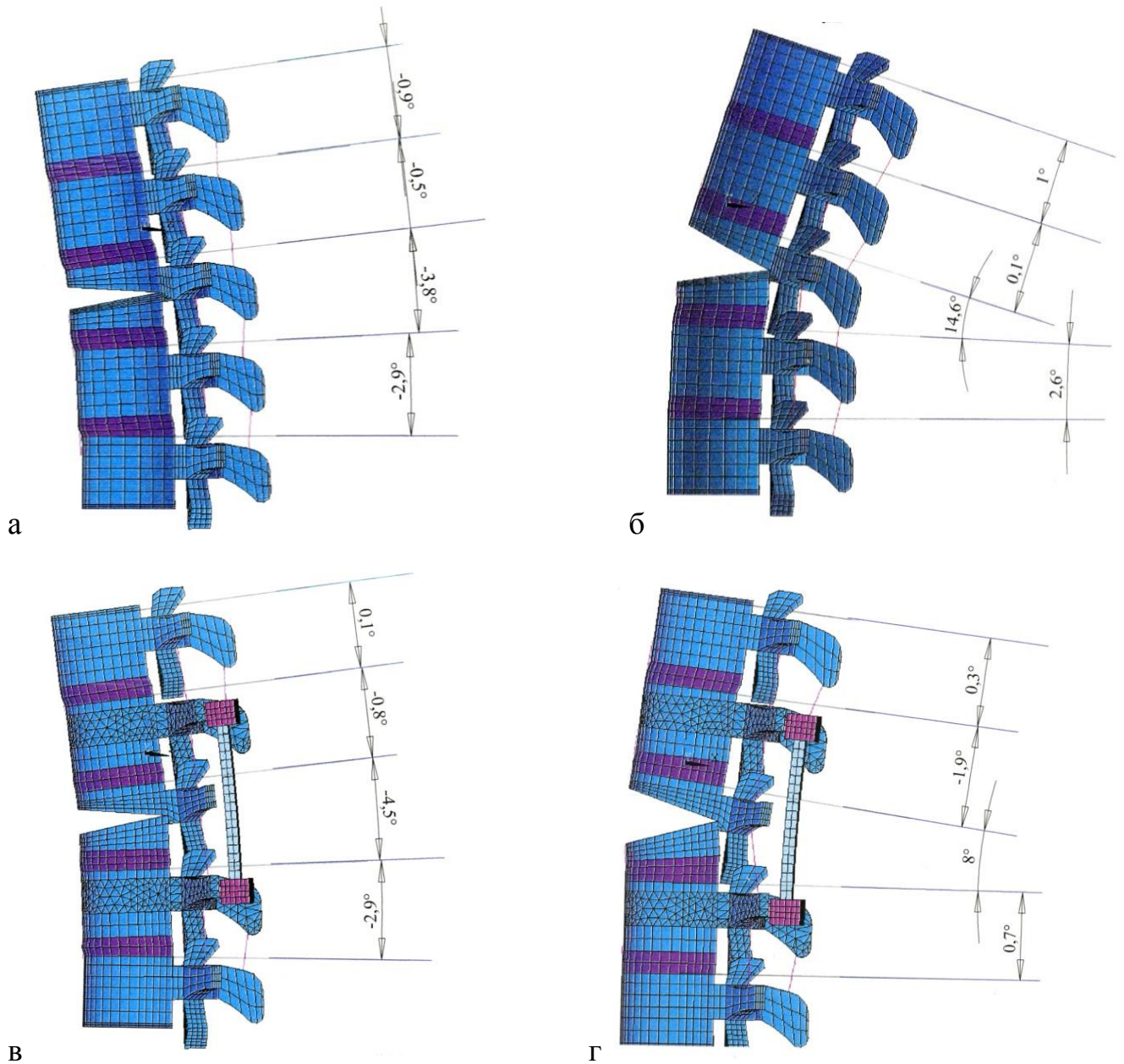


Рисунок 33 – Примеры моделирования подвижности поясничного отдела позвоночника с нестабильным переломом LIII позвонка до и после выполнения ламинэктомии с транспедикулярной фиксацией при флексионных (а, в) и экстензионных (б, г) нагрузках

Расчеты показали, что при нестабильном переломе позвонка, сопровождаемом повреждением передней и средней опорных колонн позвоночника, наблюдается резкое уменьшение стабильности на уровне травмированного позвонка как к флексионным, так и к экстензионным нагрузкам.

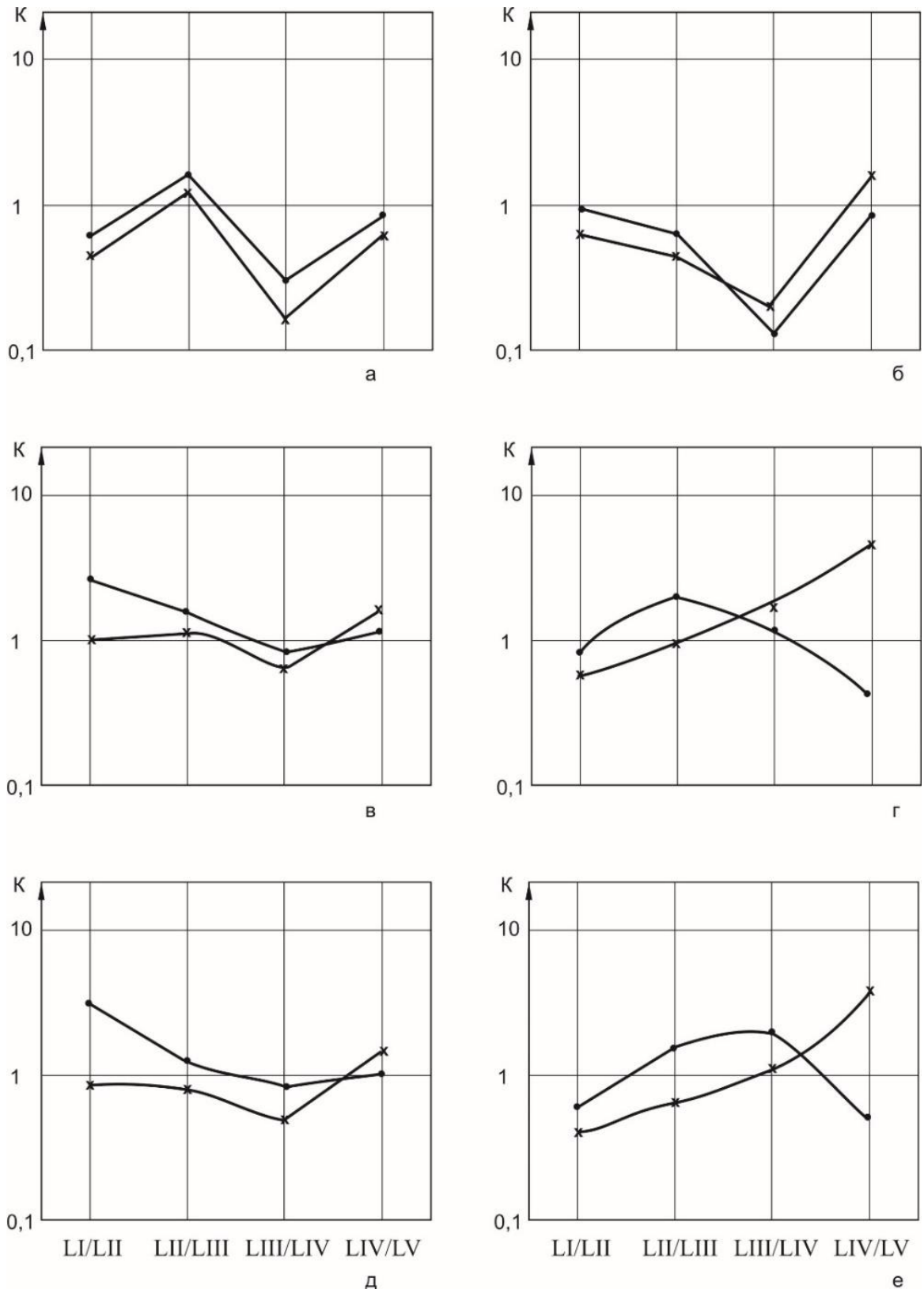


Рисунок 34 – Изменения коэффициента стабильности по сегментам поясничного отдела: а – нестабильный перелом LII; б – нестабильный перелом LIII и ламинэктомия; в – нестабильный перелом LIII с фиксацией конструкции с балками из нитинола; г – нестабильный перелом LIII с фиксацией конструкции с балками из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

В то же время смежные позвоночно-двигательные сегменты практически не меняют объем движений. В том случае, когда перелом тела позвонка требует проведения ламинэктомии на данном уровне, нестабильность травмированного сегмента снижается в большей степени, составляя всего 12,0% от стабильности здорового позвоночника (табл. 16). Применение транспедикулярной фиксации изменяет ситуацию.

Таблица 16 – Стабильность позвоночного сегмента при различных видах травм и заболеваний

Вид травмы или заболевания	Стабильность при функциональных нагрузениях, %					
	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

Стабильность поврежденного сегмента позвоночника при использовании нитиноловых балок повышается до 85,0% при изолированном переломе тела позвонка и до 70,0% при переломе тела позвонка и дефекте его задних структур. В случае использования штанг из титанового сплава стабильность этого сегмента превышает 100%, т.е. выше стабильности здорового позвоночно-двигательного сегмента. При этом для смежных двигательных сегментов позвоночника наблюдается отклонение от нормы. Так, при флексии выявляется снижение стабильности как в верхнем, так и в нижнем смежных сегментах, а при экстензии снижение стабильности отмечается только в верхнем сегменте. Величина этого снижения выше в случае нестабильного перелома позвонка и ламинэктомии, а также при использовании ригидных титановых фиксирующих штанг.



Это происходит вследствие того, что при жесткой фиксации поврежденного позвоночно-двигательного сегмента позвоночника его костно-хрящевые и связочные структуры не участвуют в сопротивлении функциональным нагрузкам, поэтому она сосредотачивается в смежных сегментах, вызывая их избыточную деформацию. В результате этого возникают значительные напряжения в костной ткани вокруг винтов, которые максимальны при использовании титановых штанг (табл. 17).

Таблица 17 – Напряжения в костной ткани вокруг винтов и в элементах конструкции

Состояние позвоночника	Напряжения при функциональных движениях, МПа		
	Костная ткань	Винт	Штанга
Исходное состояние	0,55÷0,6	-	-
Нестабильный изолированный перелом тела LIII	0,6÷12,0	-	-
Изолированный перелом тела LIII и ламинэктомия	2,6÷3,0	-	-
Состояние 2, стабилизированное ТК со штангами из нитинола	0,8÷1,0	88	72
Состояние 2, стабилизированное ТК со штангами из титанового сплава	1,2÷1,3	125	110
Состояние 3, стабилизированное ТК со штангами из нитинола	1,0÷1,1	111	88
Состояние 3, стабилизированное ТК со штангами из титанового сплава	1,3÷1,4	130	114

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.

Проведенные нами расчеты по приведенной выше модели поясничного отдела позвоночника с нестабильным перелом 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. 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.

Следует признать, что представленные расчеты имеют относительную точность, т.к. не учитывается изменение свойств костной ткани позвонков и связок позвоночных сегментов в процессе их регенерации. Эти изменения должны сказываться на изменении стабильности травмированного сегмента.

Стабилизированные транспедикулярным устройством двигательные сегменты позвоночника не являются абсолютно неподвижной системой и при функциональной нагрузке испытывают определенные циклические деформации, которые могут привести к усталостному разрушению 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.

В данной работе теоретически исследована возможность применения динамических транспедикулярных устройств с продольными балками из нитинола диаметром 6 мм для лечения травм позвоночника.

Таким образом, при использовании в транспедикулярных устройствах фиксирующих штанг с различными модулями упругости выявлено, что штанги из

титана ВТ6 диаметром 7,0 мм имеют оптимальную жесткость при максимальной нагрузке. Полученные показатели обосновывают использование транспедикулярных устройств из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм при одноэтапном вмешательстве из заднего доступа для сохранения достигнутой коррекции деформации позвоночника и уменьшения риска их переломов.

## **ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ДЕКОМПРЕССИВНО-СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ У БОЛЬНЫХ С ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ**

### **5.1 Разработка навигационного устройства для введения винтов при транспедикулярном остеосинтезе у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

Сохраняющиеся технические ошибки, связанные с проведением транспедикулярных винтов мимо анатомических ориентиров, составляют до 5,0% (Усиков В.В., Усиков В.Д., 2006; Бублик Л.А. с соавт., 2007; Бердюгин К.А., Каренин М.С., 2010), что приводит к поиску решений по уменьшению данных осложнений.

Для проведения транспедикулярного винта необходимо четко знать точку введения и углы наклона в сагиттальной и аксиальной плоскостях с учетом анатомии каждого позвонка. Современные рентгеновские системы, такие как O-arm или интраоперационная компьютерная томография, позволяют получать изображения непосредственно в аксиальной проекции. Также разработаны и применяются навигационные системы, позволяющие значительно повысить точность установки винтов. Существенными недостатками указанных методик являются сложность и высокая цена, что ограничивает их широкое применение (Коваленко Р.А. с соавт., 2020; Косулин А.В. с соавт., 2022). По этой причине продолжают разрабатываться альтернативные способы и методики определения точек и углов введения винтов. Первые известные способы установки транспедикулярных винтов подразумевали определение «типичных» точек введения по анатомическим ориентирам. Методик определения таких точек предложено множество.

Разработанное навигационное устройство представлено П-образным основанием с линейкой для перемещения по дужкам позвонков, фиксирующимся к остистым отросткам, которое жестко соединено по центру с вертикальными планками, заканчивающимися ручкой для удобства расположения относительно

оси позвонка и удержания его в ране, направляющей в виде двух вертикальных планок, с которыми перпендикулярно с каждой стороны по краям жестко соединены по две проставки с ползунами, с помощью которых, за счет изменения расстояния от центра устройства до центра ползунов, задается конвергенция в аксиальной плоскости (рис. 35). У основания вертикальных планок основной блок и направляющая подвижно соединены осью, а в верхней части вертикальных планок основной блок и направляющая соединены регулировочным винтом для изменения наклона в сагиттальной плоскости (патент на полезную модель № 211140).

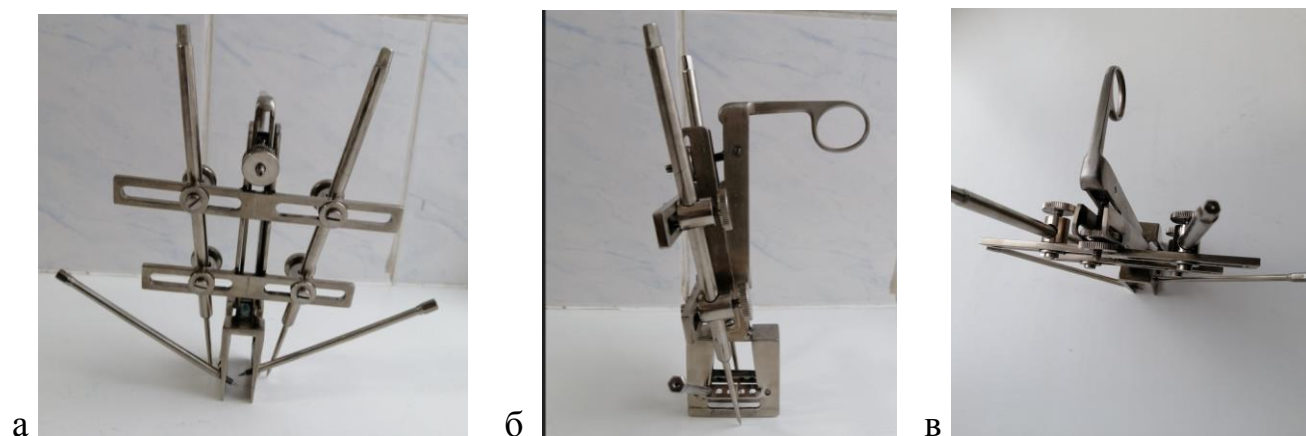


Рисунок 35 – Внешний вид навигационного устройства: а – вид спереди; б – вид сбоку; в – вид сверху

Задачи изобретения: 1) повысить точность проведения транспедикулярных винтов в грудном и поясничном отделах при травмах и заболеваниях позвоночника с минимальными затратами; 2) уменьшить лучевую нагрузку и время оперативного вмешательства за счет разработанного навигационного устройства.

На основе данных компьютерной томографии поврежденного позвонка проводят предоперационное планирование, заключающееся в мультипланарной реконструкции и создании карты разметки, где для каждого винта формируется изображение и определяется траектория проведения. Интраоперационно данные с карты разметки переносятся на устройство, которое в собранном виде

накладывают на дужки двух соседних позвонков, ориентируя его строго по центру этих позвонков. При перемещении устройства вдоль позвоночника между дужками метчики укажут на точки введения винтов, ориентируя уже в аксиальной и сагиттальной плоскостях. Для устойчивости устройство прижимается к позвоночнику и фиксируется с двух сторон стержнями, которые вкручиваются в основание остистых отростков, после этого ослабляются крепления винтов на ползунах и метчики, а затем и винты по заданной траектории проводятся в позвонок на рассчитанную глубину. Тем самым навигационное устройство позволяет обеспечить точность введения винтов, уменьшить лучевую нагрузку на пациента и уменьшить время операции без использования дорогостоящего навигационного оборудования.

Рассмотрим использование навигационного устройства на примере пациента В. 36 лет с компрессионно-оскольчатый переломом тела ThVIII позвонка.

На основе данных компьютерной томографии в программе RadiAnt после мультипланарной реконструкции проводят предоперационное планирование и создание карты разметки. Для каждого транспедикулярного винта формируется изображение и определяется траектория проведения. В карте разметки отмечается расстояние между точками введения винтов (рис. 36).

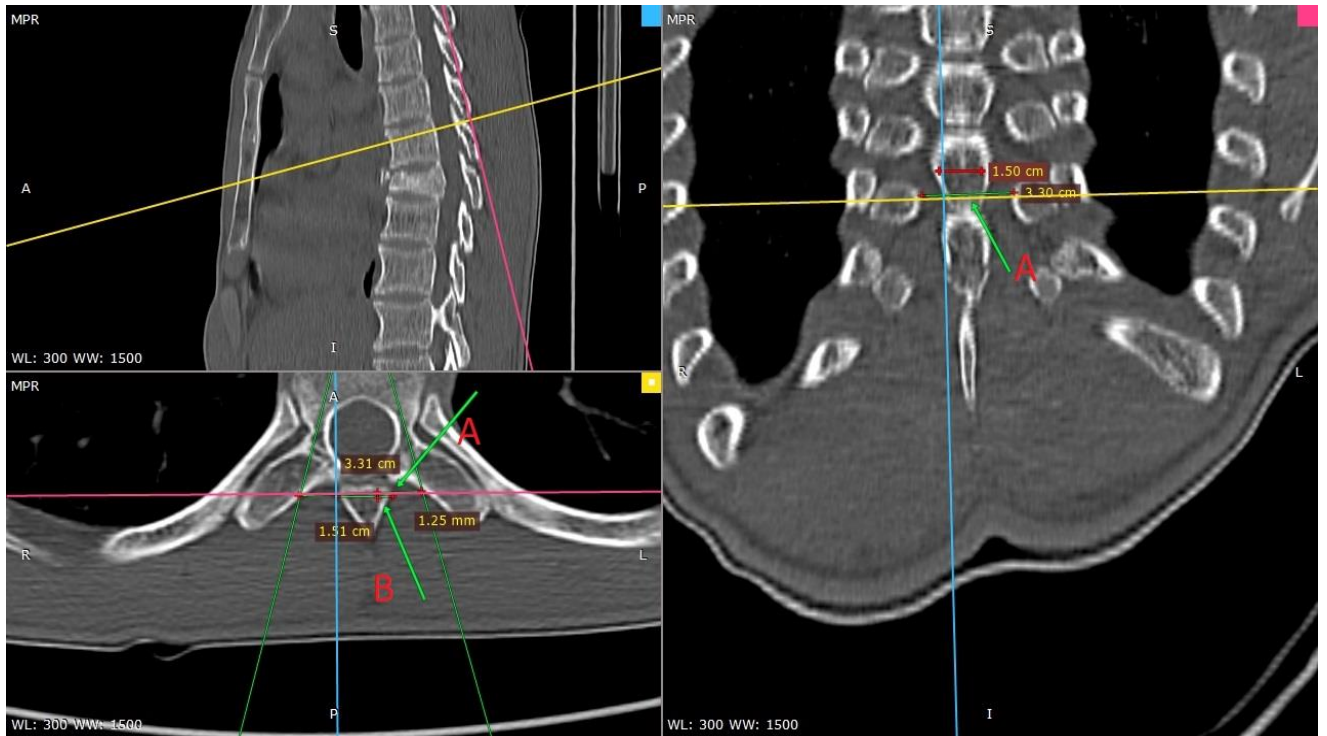


Рисунок 36 – Определение траектории введения винтов у пациента В. при переломе ThVIII позвонка: А – расстояние между точками введения винтов

По расстояниям  $K_R$  и  $K_L$  подбирают длину винта (рис. 37).

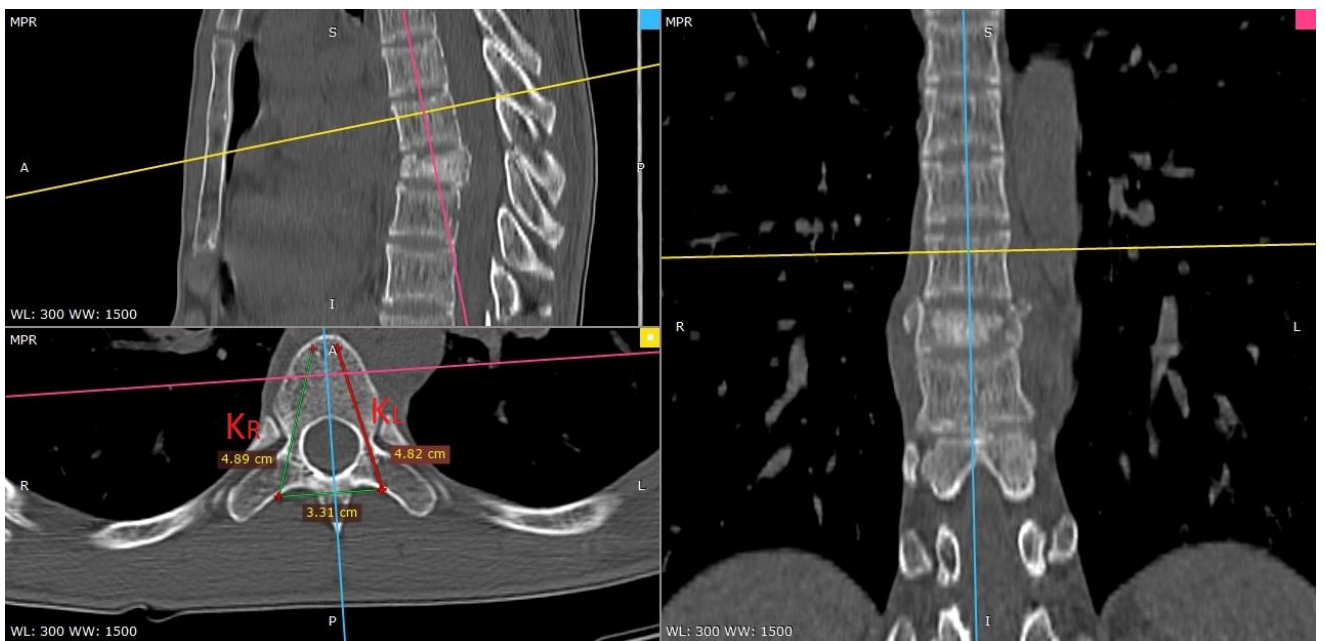


Рисунок 37 – Определение траектории введения и размеров винтов у пациента В. при переломе ThVIII позвонка

$B$  – расстояние от горизонтальной линии в аксиальной проекции, проходящей через дужку вводимого позвонка (при сечении дужки в 15 мм) до параллельной линии, проходящей через точки введения винтов в аксиальной проекции.

$C_R$  и  $C_L$  – расстояние от точки, находящейся на средней линии, проходящей через центр тела позвонка и центр дужки (при сечении дужки в 15 мм) на высоте 70 мм до точек, находящихся на перпендикулярной линии в месте пересечения с траекторией введения винтов с двух сторон в аксиальной проекции.

$D_R$  и  $D_L$  – расстояние от точки, находящейся на средней линии, проходящей через центр тела позвонка и центр дужки (при сечении дужки в 15 мм) на высоте 120 мм от центра дужки до точек, находящихся на перпендикулярной линии в месте пересечения с траекторией введения винтов с двух сторон в аксиальной проекции (рис. 38).

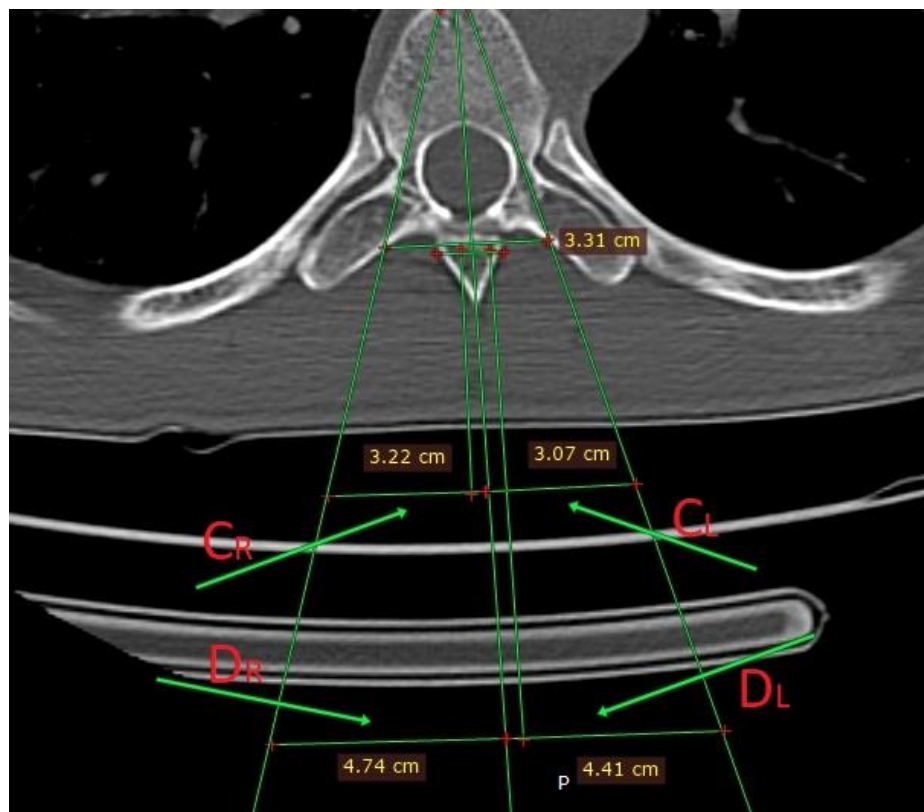


Рисунок 38 – Определение расстояний для навигационного устройства в аксиальной проекции у пациента В. при переломе ThVIII позвонка



Е – расстояние от точки, находящейся на высоте 150 мм от перпендикулярной линии, проведенной через дужки вводимого и соседнего позвонков (при сечении дужки в 15 мм) до точки, находящейся на линии введения винта на той же высоте в сагиттальной проекции (отклонение винта в сагиттальной проекции) (рис. 39).

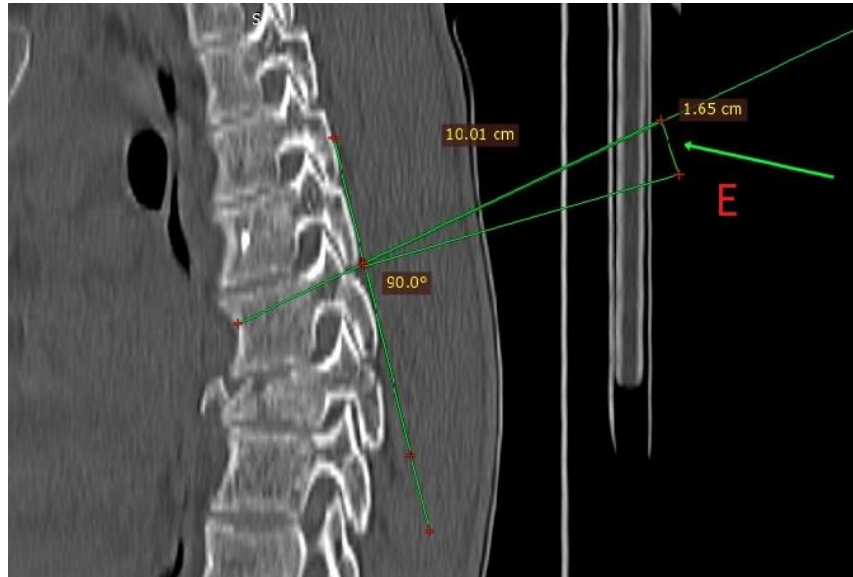


Рисунок 39 – Определение расстояний для навигационного устройства в сагиттальной проекции у пациента В. при переломе ThVIII позвонка

F – расстояние от точки на дужке вводимого позвонка, находящейся на линии, проведенной через дужки вводимого и соседнего позвонков (при сечении дужки в 15 мм) до точки введения винта на той же линии в сагиттальной проекции (дополнительно для поясничного отдела, так как дужки в поясничном отделе имеют выступающий острый край, где более четко можно отметить данную точку F) (рис. 40).



Рисунок 40 – Определение расстояния F для введения винта у пациента В. при переломе ThVIII позвонка

На основе проведенной мультипланарной реконструкции создается сводная таблица с величинами расстояний на примере перелома ThVII позвонка у пациента В. (табл. 18).

Таблица 18 – Сводная таблица расстояний после мультипланарной реконструкции при переломе ThVII позвонка у пациента В., мм

Позвонок	A	B	C <sub>R</sub>	C <sub>L</sub>	D <sub>R</sub>	D <sub>L</sub>	E	F	K <sub>R</sub>	K <sub>L</sub>
ThVII	33,1	1,25	32,2	30,7	47,4	44,1	16,5	14,5	48,9	48,2

По сформированной карте разметки данные из таблицы переносятся на навигационное устройство. Винтами (8) ослабляются ползуны (7) на проставках (6). Выставляются расстояния C<sub>R</sub> и C<sub>L</sub> на нижней, D<sub>R</sub> и D<sub>L</sub> – на верхних проставках. Винты (8) затягиваются, таким образом формируется угол конвергенции. С помощью гаек (14) на регулировочном винте (13) устанавливается расстояние (E) (от центра соединения регулировочного винта до центра ближайшей регулировочной гайки), тем самым мы получаем угол наклона в сагиттальной плоскости. Согласно выставленным расстояниям (C<sub>R</sub>, C<sub>L</sub>, D<sub>R</sub>, D<sub>L</sub>, E) вставляются метчики (11) в отверстия (9) в ползунах (7), далее устройство ставится на горизонтальную плоскость для выставления расстояний A и B (рис. 41).



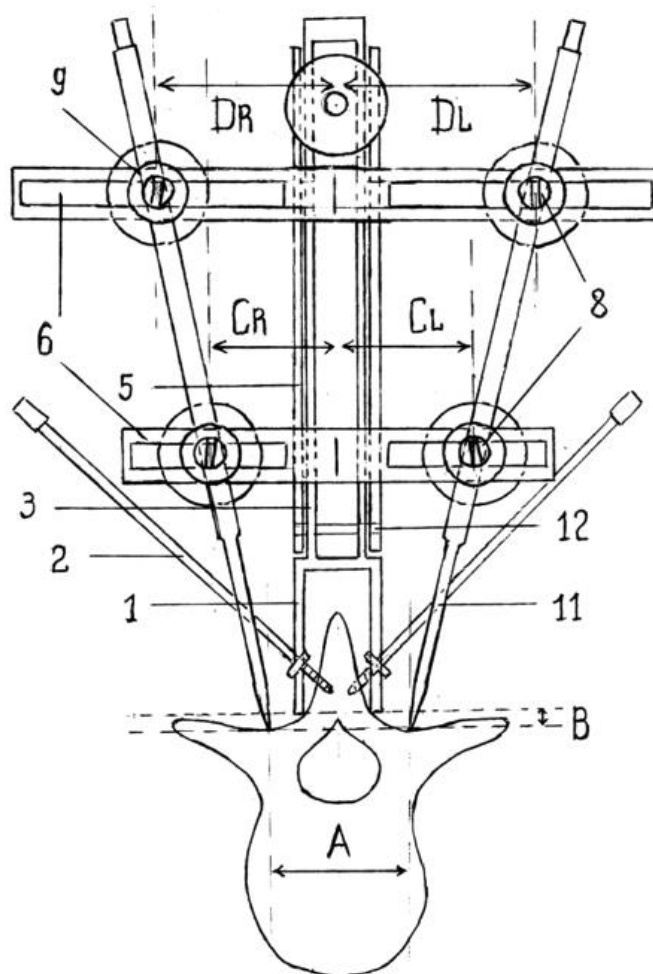


Рисунок 42 – Схема работы навигационного устройства в аксиальной проекции

В собранном виде навигационное устройство накладывают на дужки двух соседних позвонков (ThVI, ThVII), располагая его строго по центру этих позвонков (как и проводилась разметка), чтобы метчики свободно расположились между дужками (в данном случае ThVI-ThVII). В поясничном отделе в местах прижатия основания устройства к дужкам позвонков появятся условные точки соприкосновения на дужках. При перемещении устройства вдоль позвоночника от дужки ThVI к дужке ThVII метчики упрутся в костное препятствие дужки ThVII позвонка, т.е. метчики укажут на рассчитанные точки введения винтов на дужках ThVII позвонка. Для устойчивости устройство прижимается к позвоночнику и фиксируется стержнями к основанию остистых отростков. Стержни заводятся по резьбе и ограничены на введение до средней линии позвонка (рис. 43).

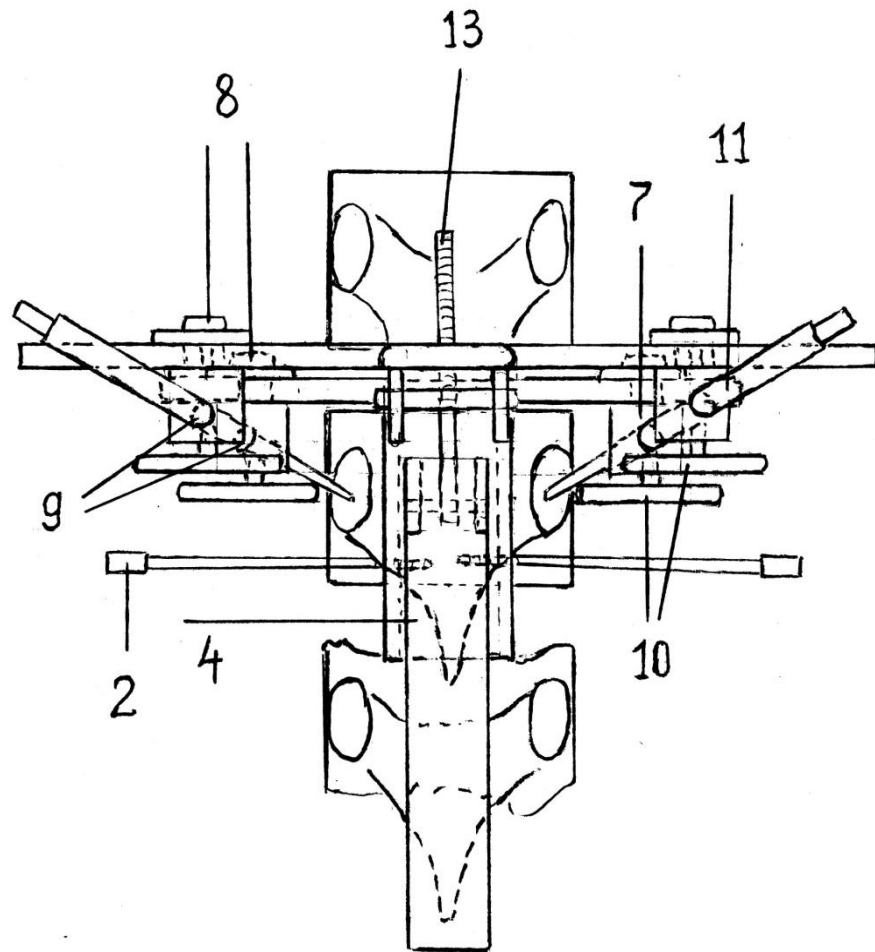


Рисунок 43 – Схема работы навигационного устройства в фронтальной проекции

Ослабляются крепления винтов (10) на ползунах, и метчики по заданной навигационной траектории с двух сторон вводятся в тело ThVII позвонка на 10–15 мм. Для уверенности положения метчиков однократно проводится рентгеноконтроль в двух проекциях. Метчики через 45 мм резко утолщаются для предотвращения случайного ятрогенного прохождения глубже. При сохранении навигационных траекторий продолжается формирование каналов для винтов, ориентируясь на длину каналов по расстояниям  $K_R$  и  $K_L$  (см. рис. 37). При необходимости щупом исследуются сформированные каналы. Затем в устройство вставляются винты на центральных штангах необходимой длины (с учетом расстояний  $K_R$  и  $K_L$ ) и вкручиваются в подготовленные каналы.

Тем самым навигационное устройство позволяет:

- обеспечить точность введения винтов за счет того, что их траекторию можно точно выставить в аксиальной проекции по расстояниям  $C_R$ ,  $C_L$ ,  $D_R$ ,  $D_L$  на проставках;
- проще выставить расстояние  $E$  в сагиттальной проекции по линейке, чем с помощью кронштейна и узла установить угол наклона навигатора;
- быть независимым от вершины остистого отростка или межкостистой связки;
- приблизить основную базу устройства к точкам введения винтов, что уменьшит погрешность в определении точек введения;
- уменьшить лучевую нагрузку на пациента за счет уменьшения количества снимков (не более 8 снимков на установку 6 винтов с учетом окончательного рентгеноконтроля конструкции);
- уменьшить время операции за счет того, что проводится одновременно разметка и проведение винтов с двух сторон и уменьшается количество снимков.

#### Клинический пример

Пациентка Ц. 35 лет поступила на лечение в нейрохирургическое отделение после ДТП с диагнозом: ОПСМТ. Компрессионно-оскольчатый перелом тела LII позвонка с ушибом и сдавлением эпиконуса спинного мозга. Нижний парапарез.

После СКТ выполнена мультипланарная реконструкция позвоночника с занесением данных в карту разметки. Анестезия – эндотрахеальный наркоз.

Послойный задний доступ к поврежденному отделу позвоночника. Для винтов в LI и LIII позвонки данные с карты разметки последовательно переносились в навигационное устройство. Навигационное устройство с закрепленными данными для LI позвонка опускалось в рану на дужки LI, LII позвонков, смещалось в сторону LI позвонка, пока метчики не упирались в костное препятствие дужки LI позвонка. Стержни на П-образном основании

вкручивались с двух сторон в основание остистого отростка L1 позвонка. Ослаблялись винты на проставках, которые фиксируют метчики, и одновременно с двух сторон метчики погружались на глубину до 2 см. При ЭОП-контроле в двух проекциях убедились, что траектории проведения метчиков совпадают с рассчитанными. В дальнейшем были сформированы каналы метчиками на 45 мм (до расширения метчиков). Метчики удалены, и по той же траектории через навигационное устройство по ходу сформированных каналов нарезана резьба; выкручены стержни на П-образном основании, и в навигационное устройство вставлены винты 50 мм на центральных штангах. С прежними параметрами навигационное устройство с винтами было возвращено в рану, где кончики винтов ориентировались в сформированные каналы, и стержни вкручивались в прежние отверстия. По заданной траектории вкручивались винты, ослаблялись винты на проставках, и навигационное устройство удалялось. Затем данные с карты разметки были перенесены в навигационную систему для винта LIII. Устройство помещалось в междужковый промежуток LIII-LIV, и манипуляции повторялись, как и для позвонка LI. После введения винтов был выполнен ЭОП-контроль (третий по счету), наложена репозиционная система, произведена тракция позвоночника по оси, получено значительное расправление тела LII позвонка и исправление кифотической деформации позвоночника. Через заранее собранные муфты на наружных продольных штангах репозиционной системы под ЭОП-контролем введены редукционные винты, и 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, и рана послойно ушита с дренажами, наложена асептическая повязка. К концу первой недели отмечался регресс неврологических нарушений. Рана зажила первичным натяжением, и через 11 дней пациентка переведена в отделение медицинской реабилитации.

## **5.2 Усовершенствование способа репозиции позвоночника при оскольчатых переломах и переломовывихах у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

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 непрямой 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 проведение разнонаправленных контролируемых редуцирующих 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 distraction 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 транспедикулярных винтов (4) с вкрученными в их головках (5) центральными штангами (6). Монтируется репозиционная система «Синтез», на которой на внутренних продольных штангах (7) размещаются по две муфты (8), а на наружных продольных штангах (9) размещаются по три муфты (10) с гайками по краям (11) для последующего проведения через отверстия муфт (12) четырех центральных штанг (6) с транспедикулярными винтами (4) в здоровые позвонки и двух центральных штанг (13) с редукционными винтами (14) для поврежденного позвонка (2). С помощью репозиционной четырехвинтовой системы осуществляют одномоментную продольную дистракцию и угловую коррекцию поврежденного позвоночника, в результате чего за счет натяжения связочного аппарата происходят расправление тела сломанного позвонка и предварительная стабилизация отломков сломанного тела позвонка (рис. 44).

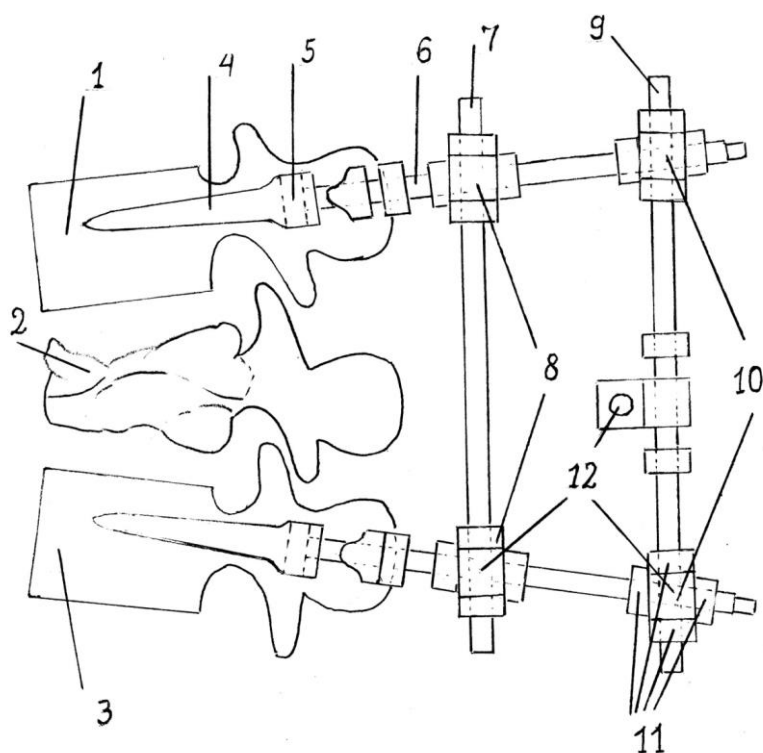


Рисунок 44 – Введены винты в смежные с травмированным позвонки, смонтирована репозиционная система

Через средние муфты (15), расположенные на наружных продольных штангах (9), и точки введения редукционных винтов (16), определенных визуально и под ЭОП-контролем, в поврежденный позвонок с двух сторон вводится шило, затем метчиком в позвонке нарезается резьба (рис. 45).

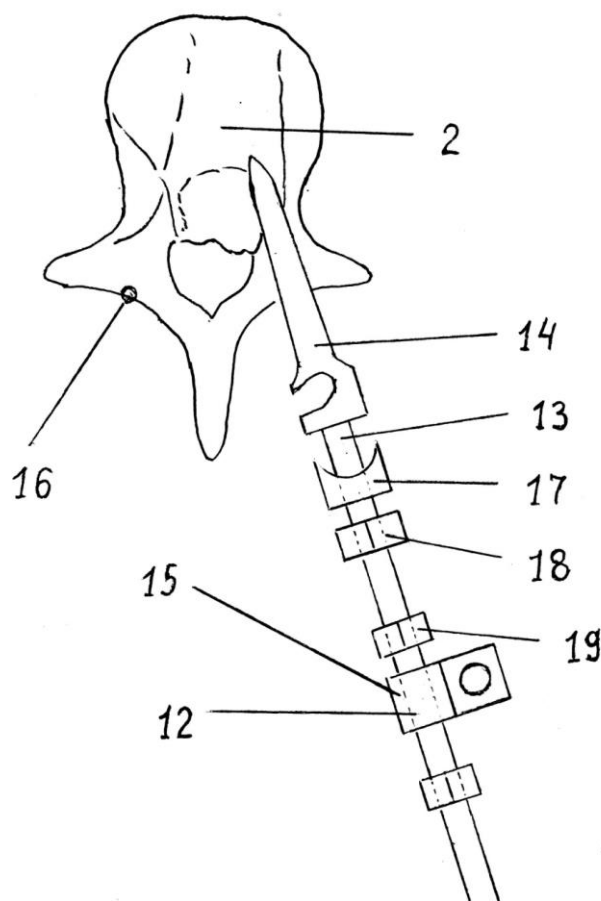


Рисунок 45 – Введение винта в поврежденный позвонок через заранее собранную муфту на наружной продольной штанге

На центральные штанги (13), которые вкручены в головки редукционных винтов (14), помещаются шайбы (17) и гайки (18), а также накручивается по одной гайке (19), расположенных кпереди от муфт (15), которые будут участвовать в перемещении поврежденного позвонка (2). В таком собранном виде центральные штанги (13) своими свободными концами проводятся через отверстия (12) в средних муфтах (15) в направлении от позвоночника кнаружи. Редукционные 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 редуцирующих 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. 46, 47). При перемещении редуцирующих 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.

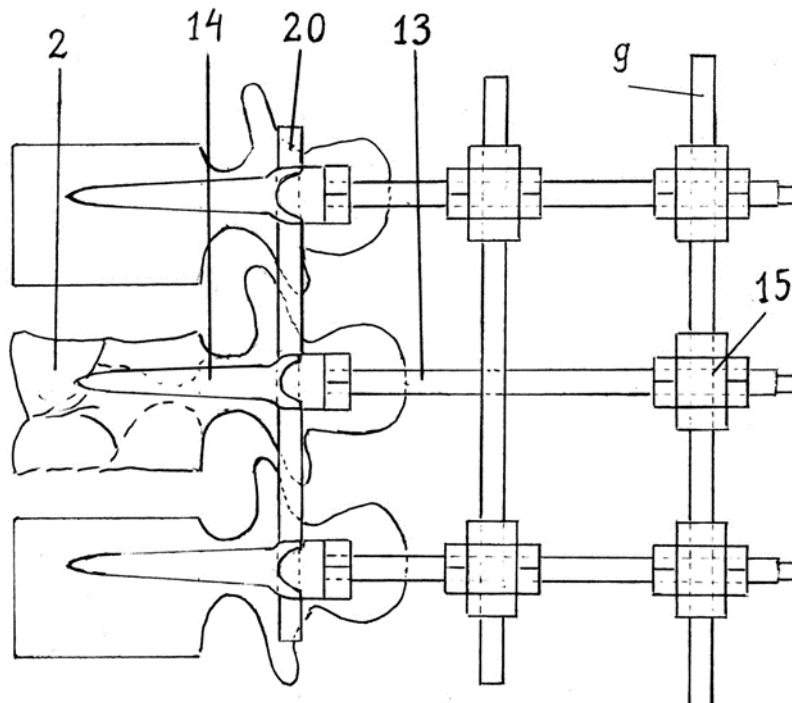


Рисунок 46 – Завершение этапа репозиции и установка фиксирующих штанг, боковая проекция

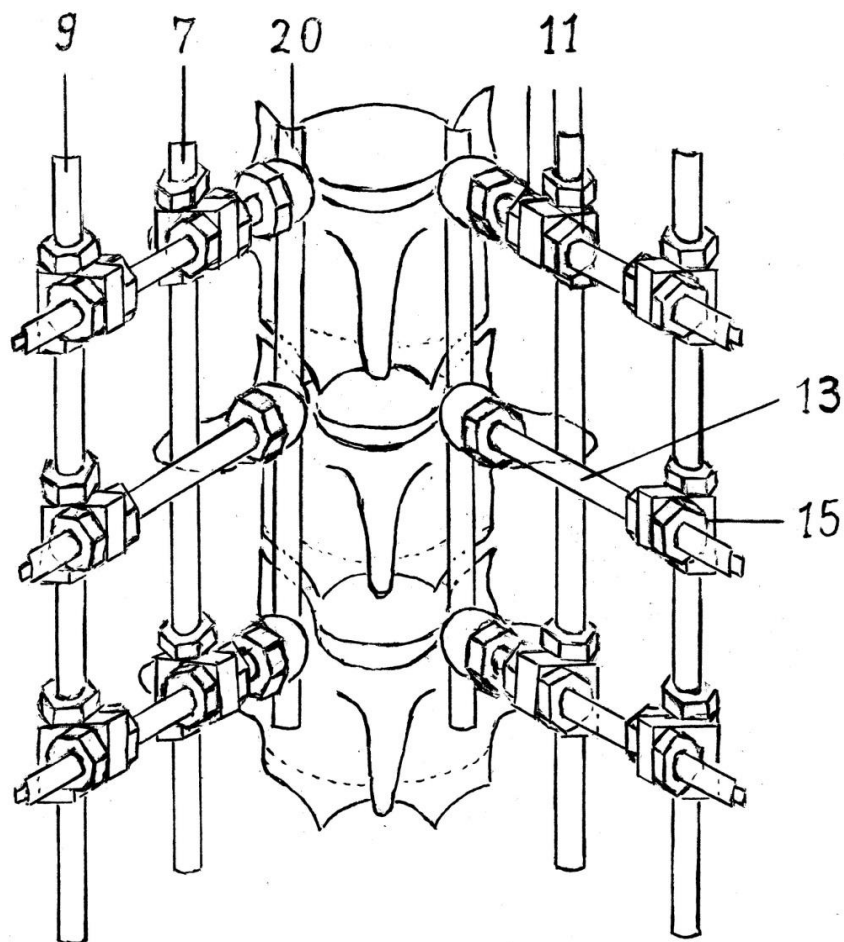


Рисунок 47 – Завершение этапа репозиции и установка фиксирующих штанг, прямая проекция

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, 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 LI 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 LI позвонка. Далее по сформированным каналам винты были вкручены в тело LI 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 LI 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.

### **5.3 Разработка способа передней декомпрессии дурального мешка из трансфораминального доступа у больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов и инструменты для его выполнения**

К выбору способа выполнения декомпрессии дурального мешка подходили индивидуально для каждого больного. При этом отдавали предпочтение наименее травматичным вариантам декомпрессии, в основе которых лежат эффект лигаментотаксиса и непрямая репозиционная реформация позвоночного канала (Усиков В.Д. с соавт., 2013; Афаунов А.А. с соавт., 2016; Pellisé F. et al., 2015; Benek H.V., 2021).

Переломы грудных и поясничных позвонков часто сопровождаются передней компрессией спинного мозга костными отломками, которые, смещаясь в сторону позвоночного канала, приводят к ушибу спинного мозга и сдавлению сосудисто-нервных образований. При повреждении задней продольной связки устранить вентральную компрессию за счет лигаментотаксиса не удастся (Усиков В.Д. с соавт., 2005, 2013; Афаунов А.А. с соавт., 2016; Wang X.B., 2017; Chen F. et al., 2019; Benek H.V. et al., 2021).

При циркулярной или задней форме сдавления дурального мешка для полноценного ремоделирования позвоночного канала требуется выполнение ламинэктомии. Переднее сдавление, сохраняющееся после выполнения декомпрессивно-стабилизирующей операции из заднего доступа, может быть устранено во время вентрального хирургического этапа путем выполнения субтотальной корпорэктомии травмированного позвонка (Рамих Э.А., 2008; Луцик А.А. с соавт., 2012; Дулаев А.К., 2018; Hoffmann C. et al., 2020). Большинство способов передней декомпрессии содержимого позвоночного канала из заднего доступа, которые используются в настоящее время, достаточно травматичны, а также могут приводить к различным тяжелым осложнениям (Lin B. et al., 2012; Jiang Y. et al., 2019). Существующие в настоящее время хирургические приемы на задних структурах позвоночника (например,

декомпрессивная ламинэктомия с удалением костных фрагментов) не всегда приводят к желаемым результатам, чреваты травматизацией спинного мозга и его корешков и, как следствие, возникновением или усилением неврологического дефицита (Ren E.H. et al., 2019; Wang T. et al., 2022).

Для достижения прямой декомпрессии предложен трансфораминальный доступ к поврежденному сегменту, который, по мнению авторов, безопасен и биомеханически надежен, поскольку рабочая зона может быть получена без ретракции спинного мозга (Feng Z. et al., 2015; Zhang B. et al., 2019).

Известные боковые и заднебоковые доступы травматичны для параспинальной мускулатуры и требуют обширной остеолигаментарной резекции. Вопрос выбора эффективных методов оперативных вмешательств для вентральной декомпрессии спинного мозга при травме груднопоясничного отдела позвоночника является до конца не решенным (Усиков В.Д. с соавт., 2013; Аганесов А.Г. с соавт., 2021; Hoffmann C. et al., 2020).

Уменьшение травматичности декомпрессивно-стабилизирующих операций и тенденция к выполнению всего объема хирургического лечения нестабильных разрывных переломов только с помощью заднего доступа привели нас к разработке нового способа декомпрессии содержимого позвоночного канала. Задачами изобретения являлись разработка способа, позволяющего устранять посттравматический стеноз позвоночного канала, и инструментов для прямой импрегнации костно-хрящевых фрагментов, выпавших в позвоночный канал. Учитывая, что в большинстве случаев костные отломки с одной стороны остаются фиксированными к фиброзному кольцу межпозвонкового диска, а второй свободный конец в виде «клавиши» выступает в позвоночный канал, то в условиях аппаратной транспедикулярной репозиции позвонка данные костные фрагменты специальными инструментами можно вернуть «на место» после создания резервного пространства от предварительно выполненной дискэктомии.

Новизна предлагаемого способа заключается в том, что после неустраненной передней компрессии содержимого позвоночного канала свободными костными отломками тела позвонка в условиях аппаратной



транспедикулярной репозиции выполняется одно- или двусторонний трансфораминальный доступ в позвоночный канал. После дискэктомии через окна в пределах фораминальных отверстиях в позвоночный канал под твердой мозговой оболочкой со стороны межпозвонкового диска в направлении свободных костных фрагментов проводятся специальные инструменты, с помощью которых происходит погружение выступающих костных фрагментов в тело поврежденного позвонка. После восстановления передней стенки позвоночного канала создается компрессия репозиционной системой для ущемления данных костных фрагментов в кортикальном слое передней стенки позвоночного канала. Выполнение предварительной дискэктомии создает резервное пространство для погружения костного фрагмента и освобождает место для межтелового корпорозеда как измельченной аутокостью, так и аллокостью. Предлагаемые инструменты просты в изготовлении, дешевы, не требуют специальных навыков в их применении. Таким образом, предлагаемый способ и инструменты для малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала позволяют осуществлять максимально полную декомпрессию содержимого позвоночного канала без ламинэктомии, выполнить межтеловой спондилодез и тем самым избавить от переднего этапа хирургического вмешательства. Технический результат достигается за счет предлагаемых инструментов для малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала (рис. 48, 49, 50).

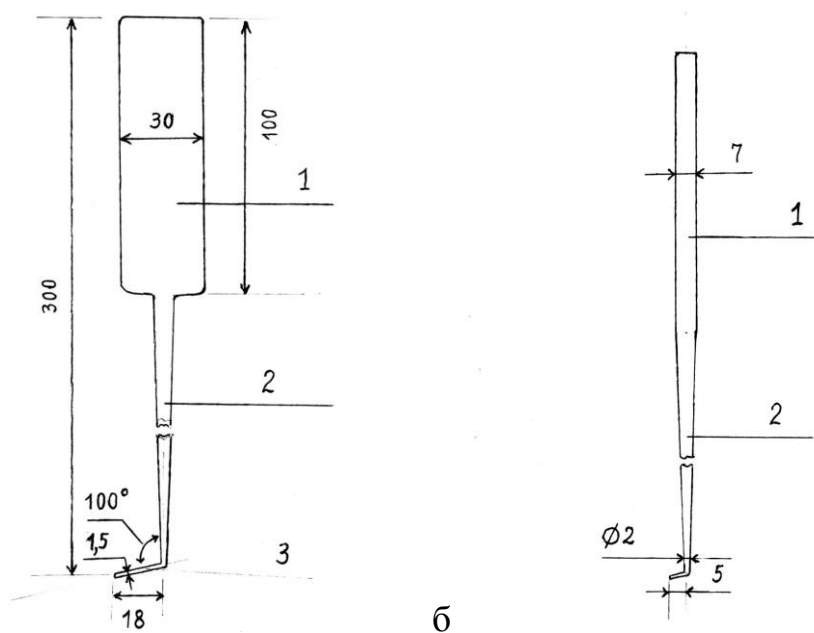


Рисунок 48 – Схема инструмента для малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала: а – вид сбоку; б – вид сверху

Данные инструменты выполнены из сплава медицинской стали и имеют плоскую рукоятку (1) с размерами 7–30–100 мм (плоскость рукоятки совпадает с плоскостью рабочей части инструмента, что позволяет контролировать рабочую часть инструмента при нахождении ее в позвоночном канале). Рукоятка плавно переходит в соединительную штангу (2) с диаметра 7,0 мм в диаметр 2,0 мм и длиной 200,0 мм (данная длина соединительной штанги позволяет работать инструментами над репозиционной системой).

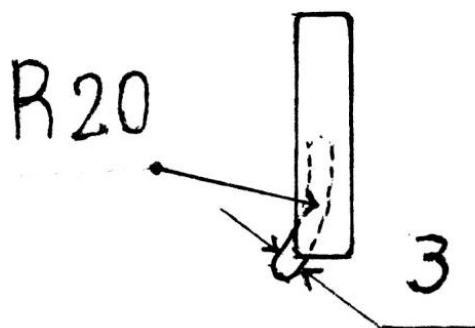


Рисунок 49 – Схема инструмента для малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала, вид сзади

От дистального конца соединительной штанги под углом 100 градусов (данный угол способствует удобному расположению инструмента в ране во время вдавления костных фрагментов) отходит рабочая часть инструментов (3) длиной 18,0 мм, шириной 3,0 мм и толщиной 1,5 мм, которая изогнута по плоскости с радиусом 20,0 мм в левую и правую стороны. За счет данных изгибов инструменты позволяют заходить в позвоночный канал одновременно из фораминальных доступов в нижнегрудном и поясничном отделах, вдавливать костные фрагменты без продвижения соединительной штанги в сторону позвоночного канала и снизить травматизацию сосудисто-нервных образований позвоночного канала.

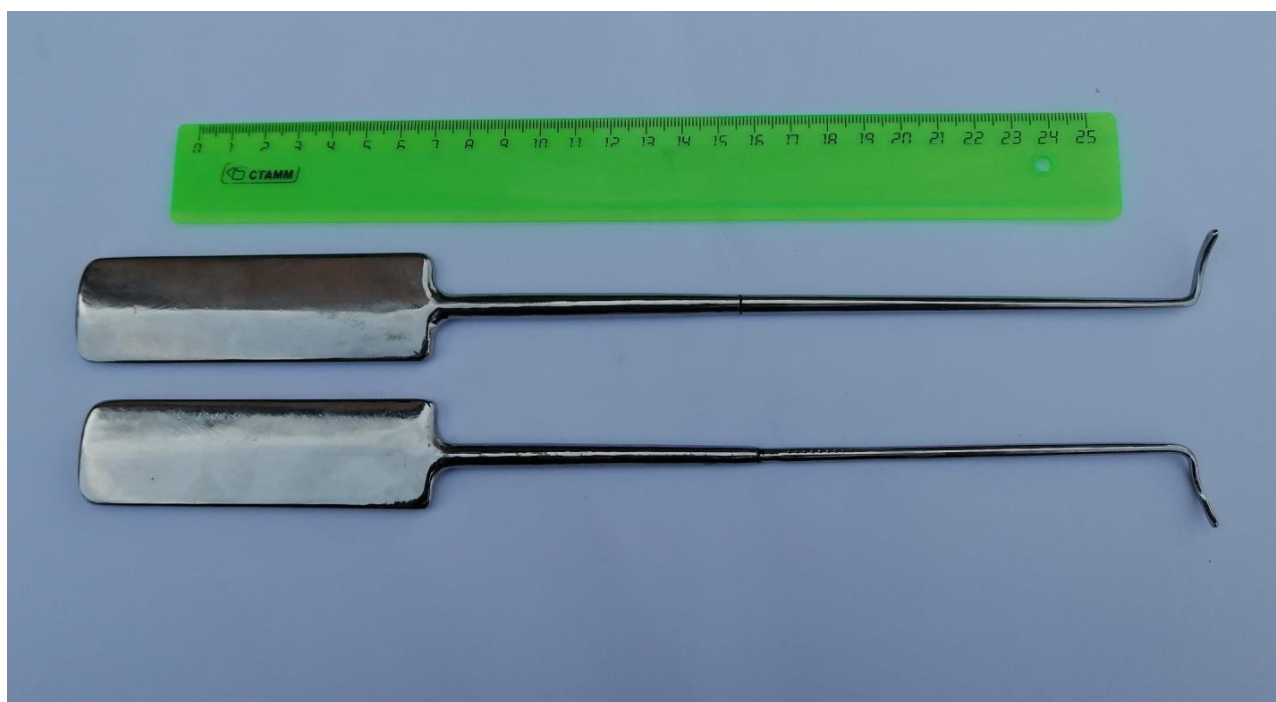


Рисунок 50 – Инструменты для малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала

Способ декомпрессии осуществляется следующим образом.

При неустранимой передней компрессии дурального мешка в условиях наложенной транспедикулярной репозиционной системы (4) на первом этапе производится дополнительная дистракция поврежденного позвоночно-двигательного сегмента на 1-2 мм (5). Под ЭОП-контролем осуществляется одно- или двусторонний трансфораминальный доступ к поврежденному диску (6), при котором производится резекция нижнего суставного отростка вышележащего позвонка (7)

и верхнего суставного отростка нижележащего позвонка (8) до корня дуги с обнажением латеральной стенки позвоночного канала. С помощью микроскопа, через трансфораминальные окна визуализируются спинномозговые корешки (9), удаляются желтые связки (10), проводится ревизия переднебоковой стенки позвоночного канала с помощью предлагаемых инструментов (рис. 51).

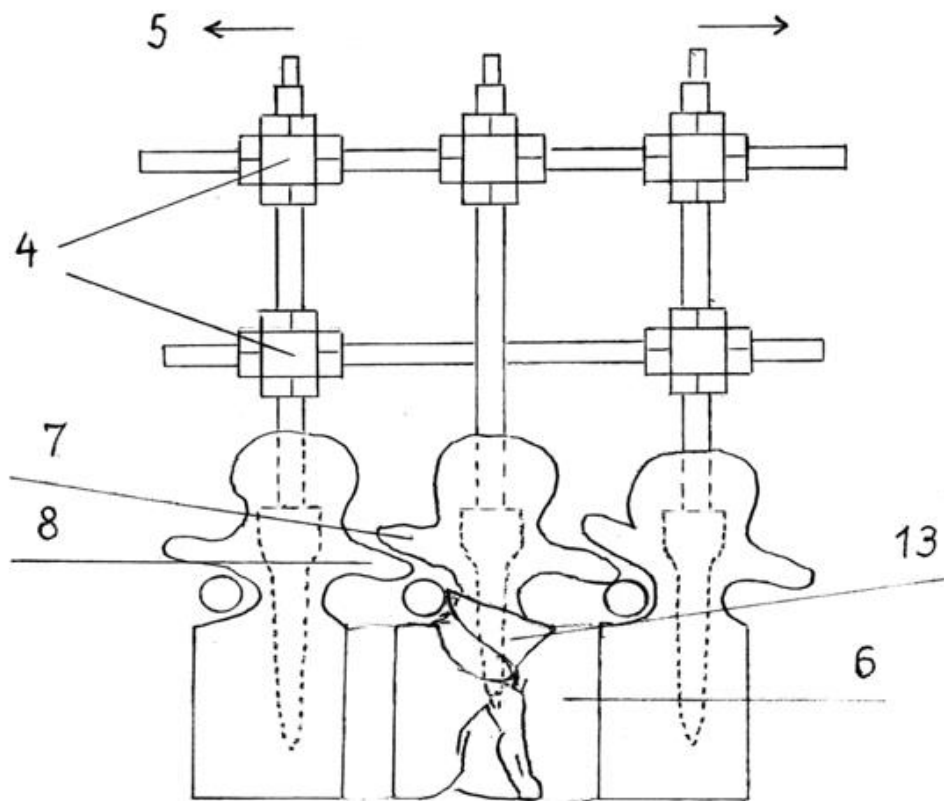


Рисунок 51 – Сохраняющаяся компрессия дурального мешка свободным костным фрагментом в условиях применения транспедикулярной репозиционной системы

Заведение рабочей части предлагаемых инструментов в позвоночный канал после частично выполненной аппаратной декомпрессии не приводит к дополнительному сдавлению невралных структур. Использование операционного микроскопа позволяет избежать осложнений, связанных с повреждением сосудов, спинномозгового корешка, твердой мозговой оболочки и одновременно улучшить качество декомпрессии (рис. 52).

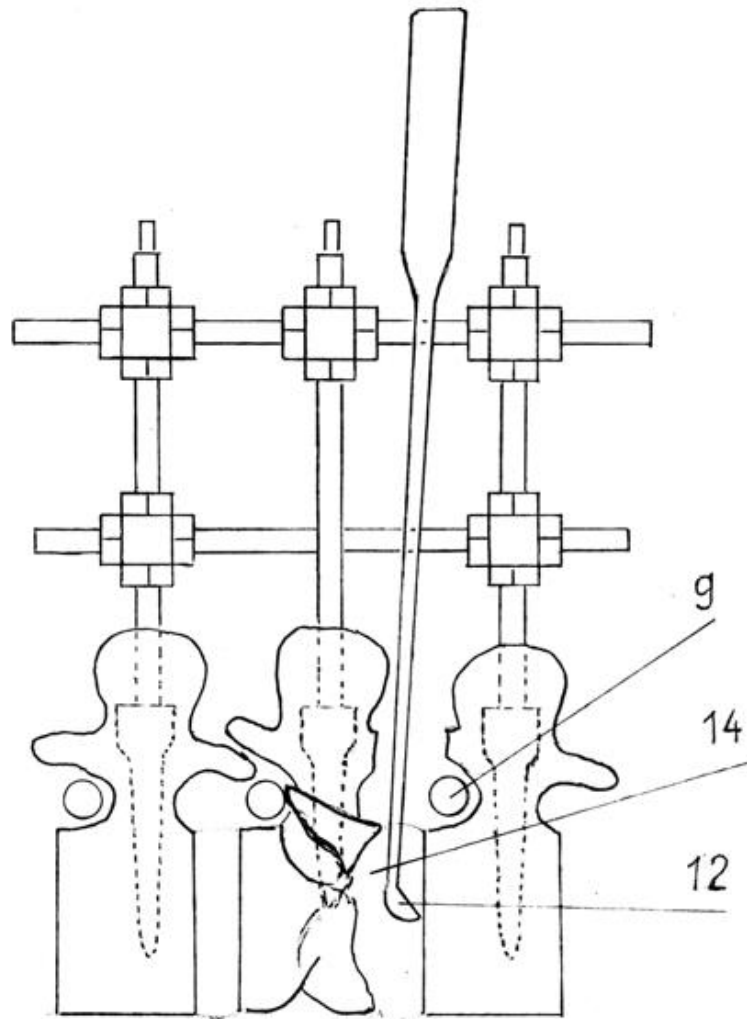


Рисунок 52 – Схема трансфораминального доступа, выполнение дискэктомии

Выделяется и вскрывается фиброзное кольцо (11) в пределах корней дуг при защите сосудисто-нервных образований позвоночного канала. Выполняется микродискэктомия (12). При узком межтеловом промежутке доступ можно расширить фрезой. Профилактировать дополнительное смещение костных фрагментов во время дискэктомии можно заведением данного инструмента через трансфораминальный доступ с противоположной стороны. Свободные костные фрагменты (13) в проекции позвоночного канала остаются фиксированными к фиброному кольцу. После дискэктомии формируется резервное пространство для погружаемых костных фрагментов (14). При двустороннем доступе предлагаемые инструменты заводятся в позвоночный канал со стороны фиброзного кольца и с

огибанием корней дуг поврежденного позвонка (15) подводятся к свободному костному фрагменту (13). При продвижении инструмента в позвоночном канале одновременно проводится и погружение фрагмента в ventральном направлении (16) (рис. 53, 54).

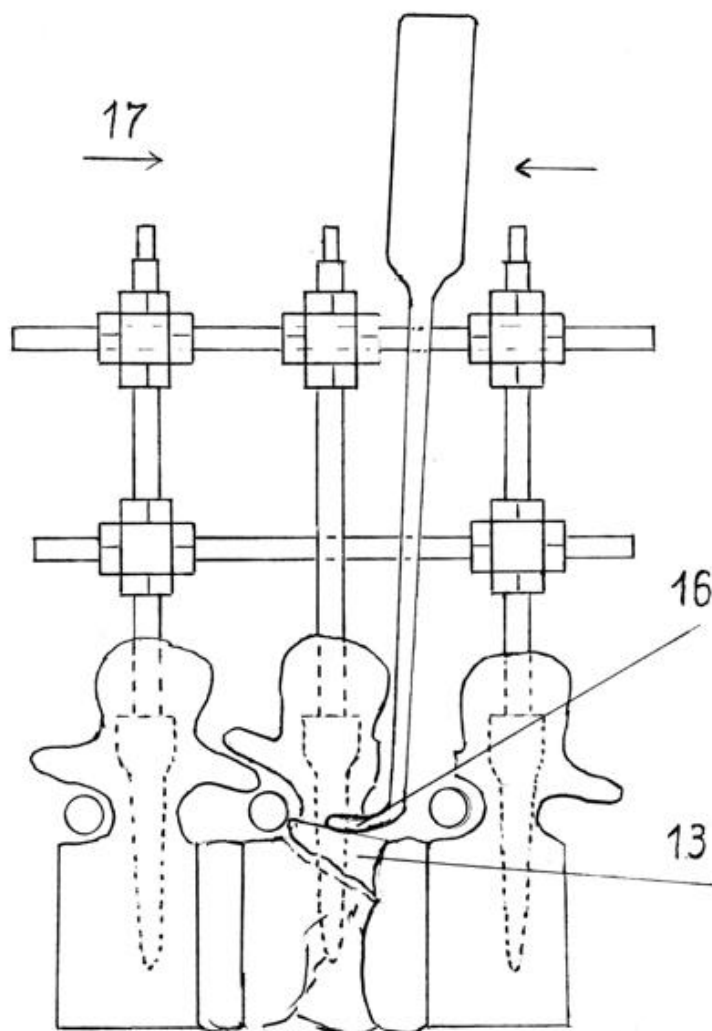


Рисунок 53 – Этап погружения костных фрагментов, вид сбоку

Дополнительная дистракция поврежденного сегмента позвоночника облегчает смещение костных фрагментов в ventральном направлении, а дискэктомия способствует их развороту в сторону удаленного диска. Инструменты за счет изгиба рабочей части позволяют репонировать костные фрагменты, прилегающие к корням дуг, без смещения боковой стенки дурального мешка, не травмируя выходящий нервный корешок. Через дефекты в фиброзном

кольце осуществляется спондилодез аутокостью из резецированных суставов позвонков или остеоиндуктивным материалом. В процессе выполнения корпородеза предлагаемые инструменты позволяют контролировать смещения костных отломков.

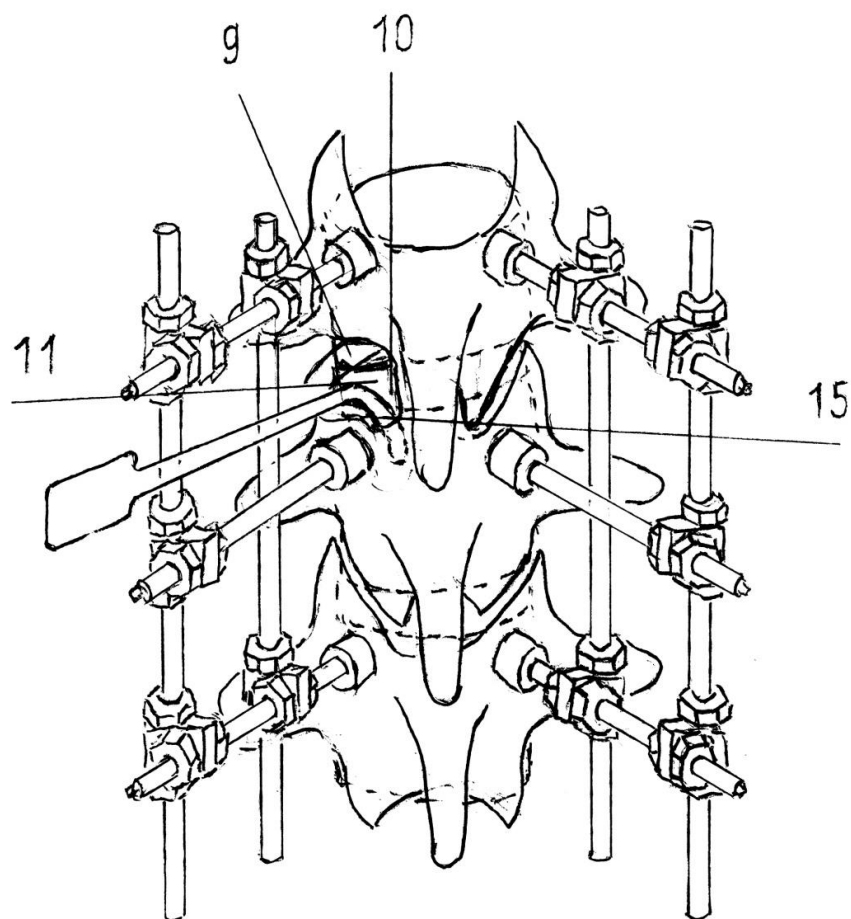


Рисунок 54 – Этап погружения костных фрагментов, вид сверху

После восстановления передней стенки позвоночного канала и корпородеза для предотвращения повторного смещения вдавленных костных фрагментов выполняется компрессия репозиционной системой на 1–2 мм (17) и ущемление данных костных фрагментов в кортикальном слое передней стенки позвоночного канала. Чем быстрее с момента травмы производится хирургическое вмешательство, тем технически легче и проще его осуществить. Транспедикулярные винты в данном положении жестко фиксируются штангами, демонтируется

репозиционная система. Операция заканчивается дренированием и ушиванием послеоперационной раны.

#### Клинический пример

Пациент М. 32 лет поступил на лечение в нейрохирургическое отделение после ДТП с диагнозом: ОПСТ. Компрессионно-оскольчатый перелом тела LII позвонка (тип А4 по классификации АО) с ушибом и сдавлением эпиконуса спинного мозга. Нижний парапарез. По данным СКТ выяснено, что в позвоночный канал смещены два костных фрагмента до 9,5 мм. Причем отломки условно имеют треугольные формы и образовались в результате погружения верхней кортикальной пластинки тела LII позвонка с одновременным смещением сломанной части задней стенки позвонка при разрыве задней продольной связки. После предоперационной подготовки пациент взят на операцию. Анестезия – эндотрахеальный наркоз. При ЭОП-разметке отмечалась деформация передней стенки позвоночного канала. Выполнен задний срединный доступ с выделением суставов для введения транспедикулярных винтов в тела LI, LII, LIII позвонков. После введения винтов вмонтирована транспедикулярная репозиционная система, выполнены дистракции и рекликации поврежденного сегмента позвоночника. При контрольном ЭОП-исследовании отмечалось уменьшение деформации передней стенки позвоночного канала более чем на 1/2. На 2 мм репозиционной системой дополнительно выполнена дистракция сегмента LI-LII на 2 мм. Под ЭОП-контролем осуществлен двусторонний трансфораминальный доступ к диску LI-LII с резекцией верхних суставных отростков LII и нижних суставных отростков LI позвонка с обнажением латеральной стенки позвоночного канала. Под микроскопом удалены желтые связки, визуализированы спинномозговые корешки, с помощью предлагаемых инструментов выполнена ревизия позвоночного канала. Обнаружены костные фрагменты, один край которых фиксирован к фиброному кольцу. Признаков повреждения ТМО не выявлено. Корешковыми шпателями производилась защита ТМО и корешка, с двух сторон выделено и вскрыто фиброзное кольцо в пределах корней дуг. С помощью микроинструментария выполнена дискэктомия. Для предотвращения миграции



костных отломков во время дискэктомии в позвоночный канал с противоположной стороны заводились специальные инструменты «для погружения костных фрагментов». После выполненной дискэктомии с двух сторон произведено погружение костных фрагментов в вентральном направлении с разворотом их в сторону удаленного диска. Под ЭОП-контролем восстановлена передняя стенка позвоночного канала. Резецированные костные фрагменты измельчены и использованы для корпородеза. Выполнена компрессия репозиционной системой на 2 мм и ущемление смещенных костных фрагментов в кортикальном слое передней стенки позвоночного канала. Осуществлен контроль положения отломков с помощью инструментов и на ЭОПе. Транспедикулярные винты в данном положении жестко фиксированы штангами, демонтирована репозиционная система. Выполнено дренирование и послойное ушивание раны.

## **ГЛАВА 6. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ БОЛЬНЫХ С ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ**

### **6.1 Усовершенствованная система лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

Анализ данных литературы и неудовлетворительные результаты лечения, разработка методики предоперационного планирования и способов декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств побудили нас к усовершенствованию системы хирургического лечения пострадавших с ПСМТ грудного и поясничного отделов.

Система лечения включает в себя три этапа: этап диагностики, предоперационного планирования и непосредственно хирургического лечения. На этапе диагностики проводится выяснение жалоб, сбор анамнеза, общесоматических показателей, неврологический осмотр. При подозрении на сочетанную травму выполняется компьютерная томография предполагаемых отделов повреждения, которая включает исследование головы, всех отделов позвоночника с грудной клеткой, брюшной полостью и тазом. Скелетная травма диагностируется с помощью рентгенографии. Проводится лабораторное исследование. Пациенты в тяжелом состоянии помещаются в отделение реанимации для стабилизации жизненно-важных функции, где проводится детальное обследование смежными специалистами. По возможности для уточнения характера повреждения спинного мозга, наличия мягкотканых компонентов в позвоночном канале, целостности задней продольной связки на данном этапе выполняется МРТ позвоночника. Если на этапе диагностики что-то новое в систему лечения пострадавших с ПСМТ грудного и поясничного отделов мы не привносили, то усовершенствование системы проходило на этапах предоперационного планирования и непосредственно хирургического лечения.

Основные элементы в усовершенствованной системе лечения пациентов отражены в таблице 19.

Таблица 19 – Усовершенствования в системе лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов

Этапы системы лечения	Усовершенствования
Этап планирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Разработка методики предоперационного планирования восстановления исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла</li> <li>- Планирование размеров педикулярных винтов</li> <li>- Создание карты разметки с траекториями проведения педикулярных винтов</li> <li>- Разработка компьютерной программы для математических расчетов исходных линейных и угловых параметров при повреждении тела позвонка со смежными дисками</li> </ul>
Этап хирургического лечения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Разработка навигационного устройства для точного проведения педикулярных винтов</li> <li>- Усовершенствование способа репозиции позвоночника и закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала</li> <li>- Разработка способа интраоперационного контроля за восстановлением рассчитанных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла</li> <li>- Разработка способа открытой декомпрессии содержимого позвоночного канала</li> </ul>

Предоперационное планирование проводится по данным СКТ. Основной целью разработанного предоперационного планирования является восстановление исходного положения поврежденного отдела позвоночника, включающего поврежденное тело позвонка со смежными дисками или восстановление так называемого локального баланса позвоночника. При планировании восстановления исходного положения поврежденного позвоночника используется не только угловой параметр, но и введенные нами передние и задние размеры тела позвонка со смежными дисками или передние и задние межтеловые промежутки.

Данные литературы по морфометрии «здорового» позвоночника и собственные наблюдения позволили выявить ряд закономерностей, которые и послужили разработке предоперационного планирования по восстановлению исходного положения позвоночника при повреждении тела позвонка со смежными дисками. Во-первых, это 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, при выявлении закономерностей на неповрежденном грудном и поясничном отделах позвоночника нами выявлено, что перпендикуляры, опущенные от крайних точек нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка, проходят через крайние точки верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка. Т.е. если соединить крайние точки нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка с точками верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка, то получим трапецию, которую можно разделить на прямоугольник и прямоугольный треугольник. Это явилось основанием применения тригонометрических функций для математических расчетов межтеловых промежутков и сегментарного угла.

Согласно разработанной методике, с помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt после мультипланарной реконструкции в формате DICOM по срединной сагиттальной проекции проводятся необходимые измерения. Для измерения размеров тел позвонков и межпозвонковых дисков берутся крайние точки оцениваемых тел позвонков. Методика необходимых расчетов подробно изложена в главе 3. Проведенные нами математические расчеты указывают на высокую точность предложенного метода. Разница в достоверности фактических и рассчитанных передних размеров межтеловых промежутков равняется  $1,4 \pm 0,4$  мм, задних –  $1,3 \pm 0,5$  мм, сегментарного угла –  $2,5 \pm 0,6$  градуса.

Таким образом, в результате предоперационного планирования мы по размерам смежных тел позвонков и межпозвонковых дисков рассчитываем исходные размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол, оцениваем

морфологию и степень нестабильности повреждения. Все это легло в основу алгоритма использования усовершенствованной системы лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов (рис. 55).

С помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt оцениваем минеральную плотность смежных позвонков, размеры предполагаемых винтов для транспедикулярной фиксации и прокладываем траектории их введения в тела позвонков. Данные заносятся в карты разметки, которые интраоперационно будут переноситься на разработанное навигационное устройство (патент на полезную модель №211140). Навигационное устройство обеспечивает проведение винтов одновременно с двух сторон. Это позволяет повысить точность проведения винтов, уменьшить лучевую нагрузку и продолжительность оперативного вмешательства.

После установки транспедикулярных винтов монтируется репозиционная система, которая позволяет дозированно исправлять многоплоскостную деформацию позвоночника. Усовершенствованный способ аппаратной репозиции (патент на изобретение № 2753133) исключает перемонтаж репозиционной системы и тем самым предупреждает смещение костных фрагментов от тела поврежденного позвонка в сторону позвоночного канала. При использовании данного способа повышается точность установки редуцированных винтов в поврежденный позвонок за счет проведения последних через отверстия в муфтах, расположенных на наружных продольных штангах. Все это упрощает выполнение остеосинтеза позвоночника и уменьшает продолжительность операции.

Задачами нашего исследования являлись не только проведение расчетов исходных параметров межтеловых промежутков и сегментарного угла, но и обеспечение контроля за их восстановлением во время проведения аппаратной репозиции. Суть метода заключается в расчете коэффициента увеличения по данным измерения размеров верхней замыкательной пластинки нижележащего от поврежденного позвонка на экране монитора ЭОПа и её размеров при предоперационном планировании.

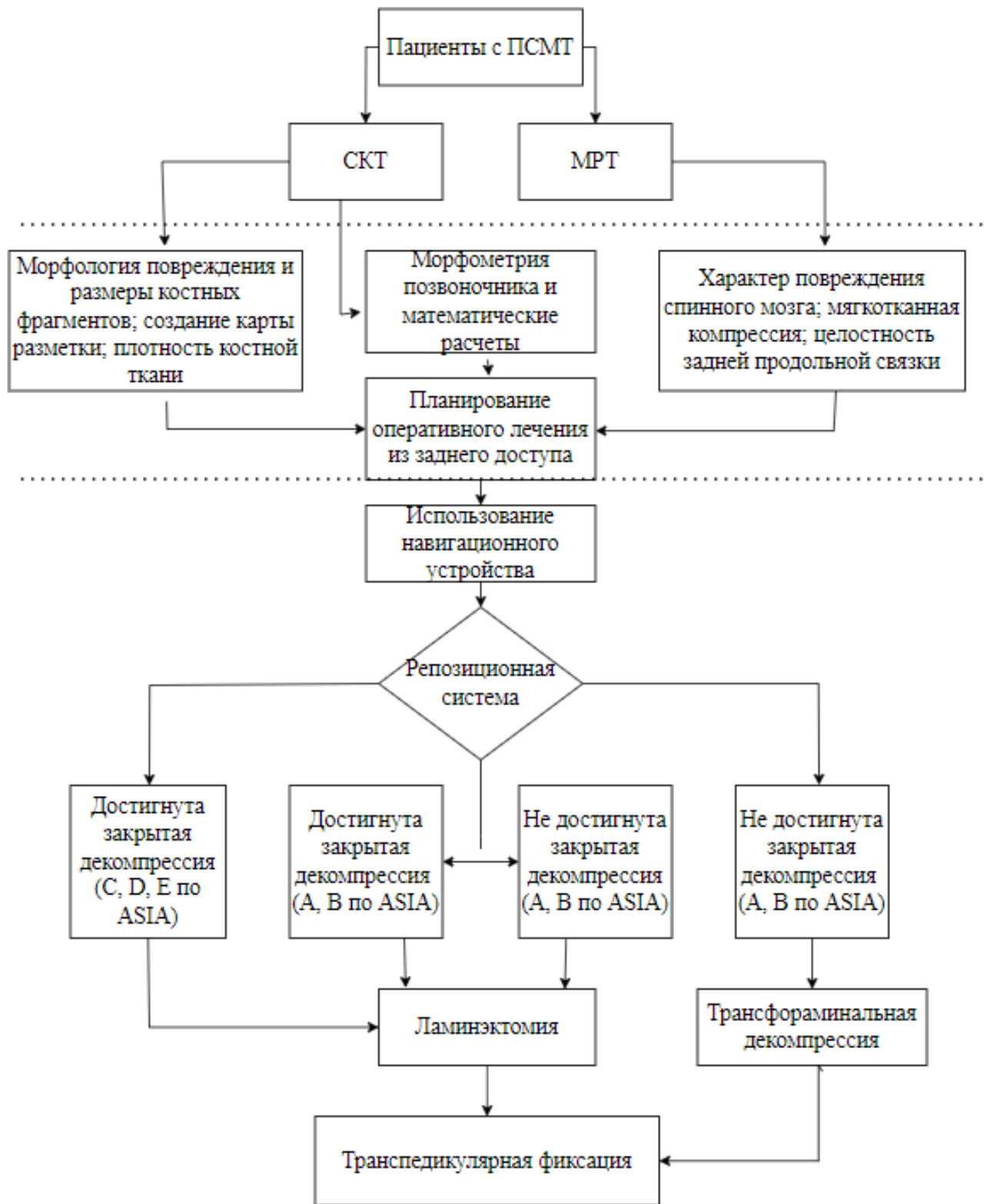


Рисунок 55 – Алгоритм использования усовершенствованной системы лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов

Данный коэффициент использовали при восстановлении межтеловых промежутков и сегментарного угла. При необходимости с помощью репозицион-

ной системы проводится коррекция размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла, а угольником дополнительно контролируется исходное положение поврежденного сегмента позвоночника. Достигать рассчитанных параметров в процессе закрытой репозиции удавалось не всегда и зависело это от фактора времени либо снижения минеральной плотности костной ткани. Мы останавливали этап репозиции, если начинали замечать смещение винтов в теле позвонка в сторону замыкательных пластинок.

Для проведения сложных математических расчетов необходимых параметров поврежденного отдела позвоночника нами разработана компьютерная программа, которая позволяет не только быстро и точно производить расчеты, но и сохранять полученные результаты в до-, интра- и послеоперационном периодах (регистрационное свидетельство №2023668665). Данная программа позволяет детально проводить анализ результатов лечения.

У пациентов с неврологическими нарушениями степеней С – Е по ASIA после восстановления исходных параметров поврежденного отдела позвоночника, полного устранения деформации позвоночного канала или уменьшения вентральной компрессии более чем на 50% следующим этапом была транспедикулярная фиксация. Протяженность фиксации планировали по данным обследований в зависимости от морфологических разрушений, степени нестабильности повреждения и минеральной плотности костной ткани.

При сохраняющейся вентральной компрессии содержимого позвоночного канала свободными костными отломками от тела поврежденного позвонка в условиях аппаратной транспедикулярной репозиции был разработан способ декомпрессии из трансфораминального доступа и инструменты для его выполнения (патент РФ на изобретение № 2798042). Учитывая, что в большинстве случаев костные отломки с одной стороны остаются фиксированными к фиброзному кольцу межпозвонкового диска, а второй свободный конец в виде «клавиши» выступает в позвоночный канал, то в условиях аппаратной транспедикулярной репозиции позвоночника данные костные фрагменты специальными инструментами можно вернуть «на место»

после создания резервного пространства от предварительно выполненной дискэктомии. Данный способ применялся у пациентов с негрубыми неврологическими нарушениями (степени С – Е по ASIA).

Выполнение предварительной дискэктомии создает резервное пространство для погружения костного фрагмента и освобождает место для межтелового корпорозеда как измельченной аутокостью, так и аллокостью. Предлагаемые инструменты просты в изготовлении, дешевы, не требуют специальных навыков в их применении. Таким образом, предлагаемый способ и инструменты для малоинвазивной открытой декомпрессии позвоночного канала позволяют осуществлять максимально полную декомпрессию содержимого позвоночного канала без ламинэктомии, выполнить межтеловой спондилодез и тем самым избавиться от переднего этапа хирургического вмешательства. После выполнения открытой декомпрессии оперативное лечение заканчивалось транспедикулярной фиксацией.

У пациентов с неврологическими нарушениями степеней А – В по ASIA, даже при восстановлении исходных параметров поврежденного отдела позвоночника, выполняли ламинэктомию и ревизию эпидурального пространства. Этап открытой декомпрессии заканчивался выполнением транспедикулярной фиксацией.

Для фиксации поврежденного отдела позвоночника мы используем транспедикулярные конструкции из титана ВТ6 диаметром 7 мм. Данный выбор сделан на основании проведенных стендовых испытаний и математического моделирования методом конечных элементов, где они показали оптимальную жесткость при максимальной нагрузке. Конструкции диаметром 7 мм позволяют сохранять опороспособность позвоночника, особенно при одноэтапном хирургическом вмешательстве.

Комбинированный заднепередний доступ показан в тех случаях, когда после транспедикулярной фиксации сохранялась передняя деформация позвоночного канала у пациентов с неврологическими расстройствами, а также в



случаях, когда требовалось протезирование передней опорной колонны при ее незначительном восстановлении на первом этапе лечения.

## **6.2 Особенности лечения больных основной группы с позвоночно-спинномозговой травмой**

В основную группу больных были включены 96 пациентов, хирургическое лечение которых начинали с предоперационного планирования, заключавшегося в составлении карты разметки для отражения траектории введения транспедикулярных винтов с помощью разработанного навигационного устройства (патент № 211140) и расчете основных целевых показателей, к которым стремились при выполнении закрытой реформации позвоночного канала с помощью внутреннего репозиционного устройства. При определении тактики лечения учитывали тяжесть и динамику неврологических нарушений, сроки с момента травмы, спондилометрические характеристики травмированных сегментов позвоночника, неврологический статус и величину резервного пространства позвоночного канала на уровне травмированных ПДС. Перечисленные параметры определяли на этапе предоперационного обследования у всех больных. В каждом случае прогнозировали возможность выполнения не прямой репозиционной декомпрессии за счет эффекта лигаментотаксиса.

В основной группе оперативные вмешательства в остром периоде (первые трое суток с момента травмы) выполнены у 56 (58,3%) пациентов, в раннем периоде (4–14 дней с момента травмы) – у 33 (34,3%), через 2–3 недели – у 5 (5,2%) больных, в промежуточном периоде ПСМТ (от 3 до 4 недель) – у 2 (2,1%) больных. Операций в позднем периоде ПСМТ не было.

Предоперационное планирование проводили следующим образом: после мультипланарной реконструкции в программе RadiAnt (формат DICOM) на предоперационной СКТ в аксиальной и сагиттальной проекциях через центры корней дуг проводили траектории введения транспедикулярных винтов. Для каждого транспедикулярного винта определялась траектория его проведения, создавалась

карта разметки, куда заносились измеренные расстояния для последующего переноса в навигационное устройство (подробно составление карты разметки описано в главе по разработке навигационного устройства). Навигационное устройство для проведения винтов использовали у 82 (85,4%) пациентов основной группы.

Предоперационное планирование для расчетов исходных размеров межтеловых промежутков и угла сегментарной деформации проводили так же по данным СКТ-исследования. По срединной сагиттальной проекции в программе RadiAnt производили следующие измерения: передней и задней высоты тела поврежденного и смежных позвонков; передних и задних размеров межпозвонковых дисков на уровень выше и ниже поврежденного тела позвонка; минимальные просветы позвоночного канала на уровне повреждения и смежных уровнях; размер верхней кортикальной пластинки тела нижележащего от поврежденного позвонка; угол сегментарной деформации, образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего от поврежденного позвонка. Для удобства обработки и хранения информации данных предоперационного планирования было разработано компьютерное приложение. С помощью программного обеспечения автоматически производились расчеты индивидуальных передних и задних размеров тел позвонков, межтеловых промежутков и угла сегментарной деформации.

Напомним, что перед началом измерений следует убедиться в том, что повреждение одноуровневое (с захватом одного или двух ПДС) и отсутствуют признаки аномалии на измеряемой части позвоночника. По данным О.Ю. Богдановой (2019), на одноуровневые повреждения приходится почти 89,0% пациентов, нуждающихся в оперативном лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. Дополнительные повреждения позвоночника не позволяют достоверно рассчитать индивидуальные целевые параметры.

Размеры винтов при планировании подбирались таким образом, чтобы максимально приблизиться к передней кортикальной пластинке тела позвонка, особенно при нарушении минеральной плотности костной ткани. При таком подборе

винтов повышаются репозиционные возможности внутренней транспедикулярной системы. В верхне- и среднегрудном отделах позвоночника длина погружной части винтов составляла 35–40 мм, в нижнегрудном – 45–50 мм, в поясничном отделе использовали винты с погружной частью 50–55 мм. Диаметр применяемых винтов составлял 6 мм для верхне- и среднегрудного отделов и 7 мм – для нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника.

Для фиксации на протяжении двух ПДС использовали от четырех до шести винтов у 82 (85,4%) пациентов, а для фиксации трех ПДС у 14 (14,6%) больных использовали 6 или 8 винтов. У 92 (95,8%) пациентов устанавливали в поврежденный позвонок один или два винта.

На операционном столе пострадавших укладывали на валики под грудиной и тазом, которые обеспечивают адекватную поддержку и предотвращают внешнее давление на переднюю брюшную стенку. При такой укладке уменьшается деформация поврежденного сегмента позвоночника в грудопоясничном отделе, а за счет эффекта лигаментотаксиса происходит и частичное восстановление высоты поврежденного позвонка. Идеальное положение для операции на позвоночнике должно обеспечивать надлежащую вентиляцию легких пациента под наркозом, снижать внутрибрюшное давление для уменьшения эпидурального кровотечения (Cunha P.D. et al., 2023). После ЭОП-разметки выполнялся задний срединный доступ. Средняя длина разреза при доступе на 2 ПДС составляла 9–10 см, на 3 ПДС – до 13 см.

На основании большого количества выполненных операций отмечено уменьшение кровопотери при доступе за счет следующей последовательности действий. После вскрытия апоневроза на уровне остистых отростков тупым путем без кровотечения легко осуществляется отслойка мышц с выделением остистого отростка, дужки и сустава (рис. 56). Затем с помощью коагуляции выделяются порции мышц, фиксирующихся к межостистой связке и краям дужек. Эти приемы, примененные в двух группах больных, позволили меньше травмировать мышцы и уменьшить кровопотерю при выполнении доступа до 100 мл.

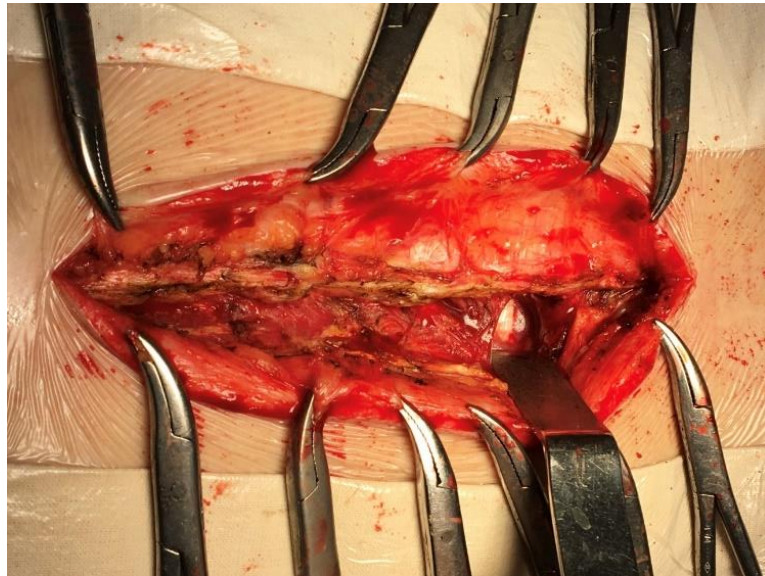


Рисунок 56 – Этап заднего доступа – на уровне остистого отростка обнажается межпозвоночный сустав

Для уменьшения травматизации кожи, особенно при использовании внутренней репозиционной системы, края раны обшивались полотенцами (рис. 57).

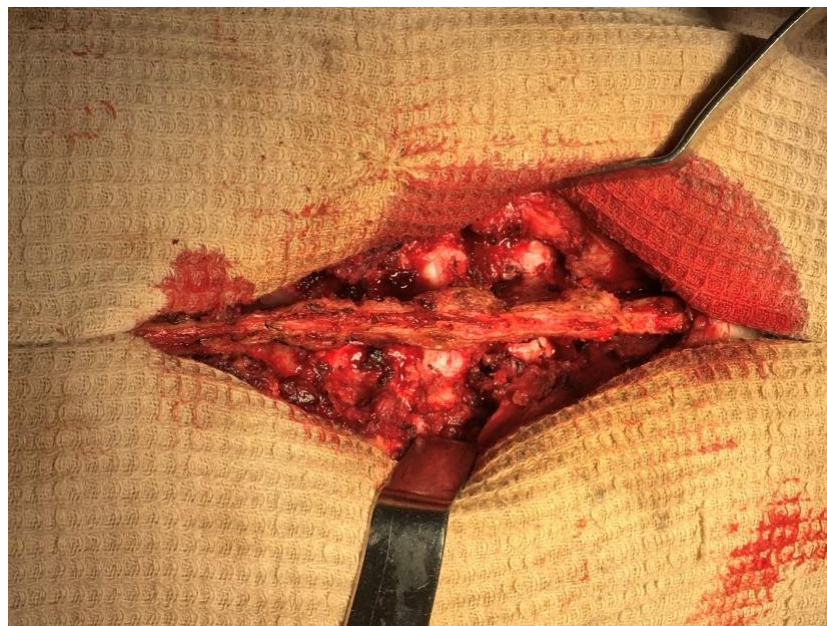


Рисунок 57 – Вид операционной раны после ее отграничения

С карты разметки отмеченные параметры переносились в навигационное устройство для каждого уровня, что позволяло устанавливать траектории введения винтов в сагиттальной и аксиальной проекциях и одновременно проводить винты с двух сторон. Использование навигационного устройства

позволило повысить точность установки винтов, и их отклонение от заданной траектории не превышало 4 мм. При узких корнях дуг, особенно в грудном отделе, введение винтов планировали через латеральную стенку корня. По классификации Герцбейна-Роббинса точность установки винтов с использованием данного навигационного устройства составляла 94,2% по отношению к установке методом «свободной руки»- 83,5%.

После проведения винтов монтировалась внутренняя репозиционная система «Синтез» (г. Санкт-Петербург). Для улучшения эффективности закрытой реформации позвоночного канала мы усовершенствовали репозиционную систему «Синтез», что позволило сократить время операции за счет ее перемонтажа во время операции (патент на изобретение №2753133). Усовершенствованный вариант системы заключался в том, что вначале монтировалась репозиционная система на 4 винтах, проводилась дозированная дистракция позвоночника с выравниванием во фронтальной и аксиальной проекциях, восстановлением размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла. При таких манипуляциях, как правило, сопоставляются поврежденные корни дуг и происходит расправление тела позвонка. Это позволяет провести через поврежденные корни дуг редуцирующие винты без опасения смещения внутриканальных костных фрагментов. Если проводить винты в тело поврежденного позвонка до монтажа репозиционной системы, то они должны быть значительно короче. В противном случае необходимо увеличивать угол введения винтов в сагиттальной проекции. Короткие винты будут ослаблять остеосинтез, а добавление угла в сагиттальной проекции приведет к сложностям при установке штанг. Усовершенствованный вариант репозиционной системы предусматривает при монтаже две свободные муфты, через которые производится разметка и введение в тело поврежденного позвонка с одной или двух сторон редуцирующих винтов.

Устранение переднего сдавления содержимого позвоночного канала производили путем репозиции тела поврежденного позвонка за счет эффекта лигаментотаксиса. Эффективность выполняемой закрытой декомпрессии оценивалась уже

интраоперационно по ЭОП-контролю. На экране монитора ЭОПа измерялись и оценивались межтеловые расстояния от крайних границ нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка до крайних границ верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка (рис. 58). Это позволяло проводить дозированный контроль за выполняемой репозицией. Старались приблизить межтеловые расстояния и сегментарный угол к рассчитанным при планировании параметрам.

По размерам верхней кортикальной пластинки тела нижележащего позвонка рассчитывался коэффициент увеличения, с помощью которого пересчитывались размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол. Чтобы не погружаться в дополнительные расчеты, использовалось разработанное компьютерное программное обеспечение, где уже на этапе планирования оперативного вмешательства были рассчитаны необходимые целевые показатели для восстановления исходной анатомии поврежденного отдела позвоночника.

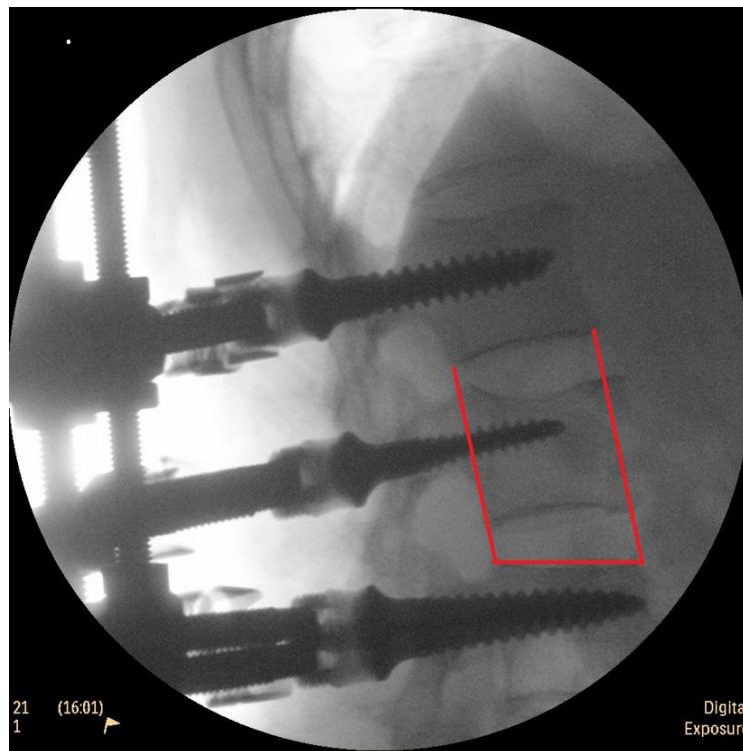


Рисунок 58 – Измерение на экране монитора ЭОПа размеров верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка и межтеловых промежутков

В данное программное обеспечение для конкретного пациента интраоперационно с экрана монитора заносились размеры верхней замыкательной пластинки тела нижележащего позвонка, передних и задних межтеловых промежутков. Программа выдавала полученные размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол с поправкой на коэффициент увеличения, которые анализировались и в дальнейшем корректировались репозиционным устройством. Послеоперационный компьютерный контроль, который выполнялся всем оперированным больным, показал, что полученные размеры с экрана монитора были сопоставимы с размерами, полученными по данным СКТ. Погрешность измерений размеров межтеловых промежутков с экрана монитора и послеоперационной СКТ составила  $1,20 \pm 0,34$  мм.

Не всегда удавалось достигнуть рассчитанных параметров в процессе закрытой репозиции. Останавливали этап репозиции, если начинали замечать смещение винтов в теле позвонка в сторону замыкательной пластинки. Это возникало при снижении минеральной плотности костной ткани менее 130 ед. НУ, которую измеряли в губчатой части тела позвонка с помощью приложения в программе RadiAnt. У 68 (70,8%) больных основной группы восстановление межтеловых промежутков и угла деформации было приближено к 100,0% от рассчитанных размеров. У остальных 26 (29,2%) больных восстановление необходимых межтеловых промежутков составило от 94,0% до 99,0% от рассчитанных величин.

К выбору способа выполнения декомпрессии дурального мешка подходили индивидуально у каждого больного. При этом предпочтение отдавали наименее травматичным вариантам декомпрессии, в основе которых лежат эффект лигаментотаксиса и непрямая репозиционная реформация позвоночного канала.

Ламинэктомия выполнялась у 42 (43,8%) больных с осложненной травмой при наличии заднего или заднебокового сдавления дурального мешка отломками дужек, либо при грубом переднем сдавлении фрагментами тела позвонка, при которой эффективность закрытой репозиционной декомпрессии могла быть недостаточной, или при выраженной неврологической симптоматике. Остальным пациентам ламинэктомия не производилась. При выполнении ламинэктомии в 18

(18,8%) случаях выполнялась открытая циркулярная декомпрессия дурального мешка из заднего доступа с удалением фрагментов диска и погружением костных фрагментов в тело позвонка.

К определению показаний к ламинэктомии подходили более строго и взвешенно, старались избегать необоснованного увеличения объема хирургического риска. При неврологических расстройствах степеней А и В по ASIA после репозиционно-стабилизирующего остеосинтеза при устранении деформации позвоночного канала для ревизии эпидурального пространства и дополнительной декомпрессии ламинэктомия была выполнена у 16 (16,6%) больных. Причем при ревизии эпидурального пространства у 4 пациентов с грубыми неврологическими расстройствами были выявлены и удалены фрагменты дисков.

При переломах дужек позвонков с задней компрессией содержимого позвоночного канала ламинэктомия была выполнена у 8 (8,3%) больных, при этом у 3 из них был выявлен линейный разрыв ТМО. Дефекты ТМО ушивались до герметизации. Сохраняющийся стеноз позвоночного канала за счет дислокации костных фрагментов в пределах резерва переднего эпидурального пространства у 26 (37,5%) пациентов считали допустимым. Основываясь на наличии достаточных резервных пространств, отсутствии неврологических нарушений или при положительной неврологической динамике у данных больных мы не производили открытые декомпрессии. У 28 (29,2%) больных после выполнения репозиционно-стабилизирующей ТПФ восстановлена форма позвоночного канала, и необходимость в ламинэктомии отпала. При вывихах и подвывихах позвонков с минимальным повреждением тела позвонка еще у 6 (6,3%) больных с помощью репозиционного устройства удалось полностью восстановить биомеханическую ось позвоночника с реформацией позвоночного канала, ламинэктомия также не потребовалась.

На этапах выполнения репозиции позвоночника у 9 (9,4%) больных с сохраняющейся вентральной компрессией на поясничном отделе выполнена передняя декомпрессия из трансфораминального доступа с использованием разработанных инструментов (патент на изобретение №2798042). После обнажения



фораминального промежутка для визуализации корешка и гемостаза из эпидуральных вен использование микроскопа для данного доступа было оптимальным. Специальные инструменты заводились под ТМО и, продвигая инструмент от диска каудально в сторону костного фрагмента, одновременно проводилось его погружение. В пяти случаях осуществлялся двусторонний доступ. Кроме выполнения декомпрессии данный метод позволяет выполнить и межтеловой корпородез. Подробно метод описан в разделе по разработке метода передней декомпрессии из заднего доступа.

С целью передней декомпрессии ТМО и для формирования межтелового костного блока применялись типичные вентральные доступы. После выполнения ТПФ у 8 (8,3%) пациентов основной группы мы выполняли переднюю открытую декомпрессию при этапном выполнении переднего корпородеза. Заднепередний (комбинированный) доступ применялся в тех случаях, когда после транспедикулярной фиксации сохранялась передняя деформация позвоночного канала с наличием неврологических расстройств, а также в случаях, когда требовалось протезирование передней опорной колонны при ее незначительном восстановлении на первом этапе лечения. При формировании опорного блока на протяжении одного позвоночно-двигательного сегмента применяли цилиндрический кейдж с костной аутокрошкой, а при блокировании на протяжении двух позвоночно-двигательных сегментов после вентральной декомпрессии дурального мешка использовали трансплантат из гребня крыла подвздошной кости. Нами был разработан способ остеосинтеза нестабильных повреждений позвоночника, выполняемый из вентрального доступа, который позволил в грудном и поясничном отделах позвоночника обеспечить устойчивый спондилодез позвоночно-двигательных сегментов (патент на изобретение №2559275).

Способ остеосинтеза осуществляется следующим образом (рис. 59). В положении больного на боку выполняется переднебоковой доступ к боковой поверхности позвоночника на грудном, грудопоясничном или поясничном отделах. Доступ на грудном и грудопоясничном отделах осуществляется

трансторакально, а на поясничном отделе – внебрюшинно. Под контролем ЭОПа осуществляется маркировка поврежденного тела позвонка. Следующие этапы осуществляются непосредственно на поврежденном отделе. Проводится скелетирование боковой поверхности тела поврежденного позвонка с обнажением боковой части смежных с ним межпозвонковых дисков и лимбы тел здоровых позвонков. С помощью костных ложек и пистолетных кусачек удаляются фрагменты поврежденного позвонка со смежными межпозвонковыми дисками. По разработанной методике в сформированный межтеловой дефект вводится костный трансплантат или эндопротез тела позвонка, наполненный костной крошкой или костным цементом. Важным этапом данного хирургического вмешательства является проведение под контролем ЭОПа винтов через лимбы здоровых тел позвонков. С боковой поверхности тел «здоровых» позвонков вводятся метчики по диагонали под углом 45 градусов в противоположный лимб тела этого же позвонка. В теле вышележащего позвонка направление метчиков ориентируется вверх, а в нижележащем позвонке – вниз. После формирования каналов в телах позвонков вводятся винты.

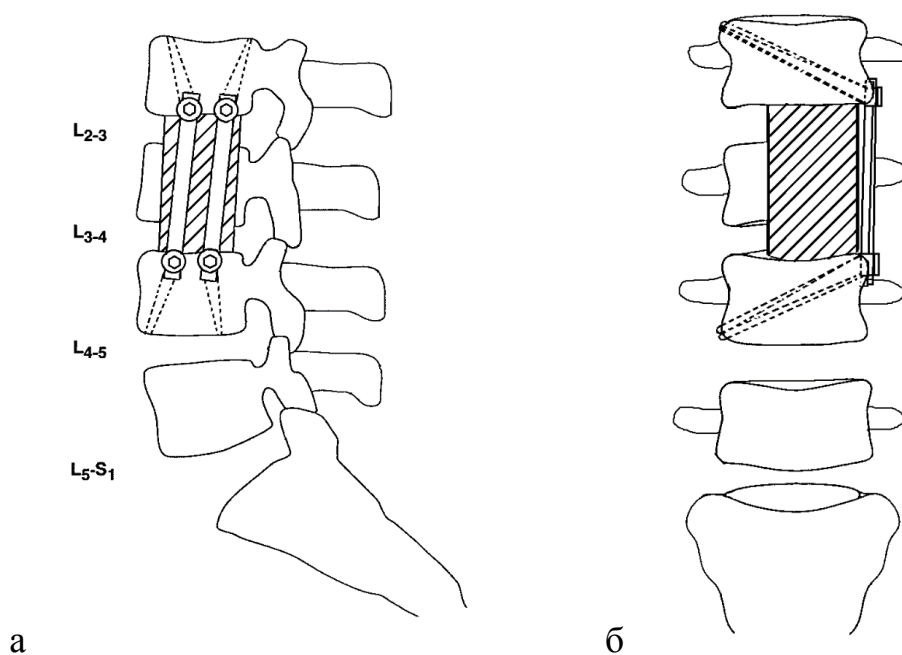


Рисунок 59 – Схема спондилодеза LII-LIV позвонков четырехвинтовой системой: а – вид сбоку; б – вид спереди. Трансплантат расположен под фиксирующей металлоконструкцией

Длина винтов определяется тем, чтобы концы резьбовой части винтов перфорировали противоположный кортикальный слой верхнего лимба тела позвонка на 2–3 мм. В головки верхних и нижних винтов параллельно друг другу продольно оси позвоночника укладываются два стержня, которые фиксируются к винтам гайками. На финальном этапе оперативного вмешательства выполняется интраоперационный ЭОП-контроль и контроль гемостаза.

Данный способ остеосинтеза использовали после ТПФ у 5 больных основной группы с низкой минеральной плотностью костной ткани и посттравматическим дефектом тела позвонка. Это позволило усилить ТПФ с формированием в последующем вентрального блока.

Не всем нуждающимся пациентам был выполнен комбинированный доступ. Связано это с рядом причин: отказом от вентрального вмешательства пациентов при их хорошем самочувствии и согласии дополнительного ношения фиксирующих ортезов; устранением деформации позвоночного канала и восстановлением формы поврежденного тела позвонка; наличием противопоказаний для вентрального доступа и общесоматической патологии.

В качестве примеров применяемой нами тактики лечения повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника представляем следующие клинические наблюдения.

Пациентка У. 43 лет получила травму при падении с высоты собственного роста за 3 недели до поступления в больницу. Ее беспокоили боли в грудопоясничном отделе позвоночника и незначительная слабость в ногах. На протяжении трех недель за медицинской помощью не обращалась, ходила без иммобилизации, и боли периодически снимала алкоголем.

При обследовании выявлен компрессионно-оскольчатый перелом тела L1 позвонка типа A4 по AOSpine, неврологические расстройства степени D по ASIA (рис. 60).

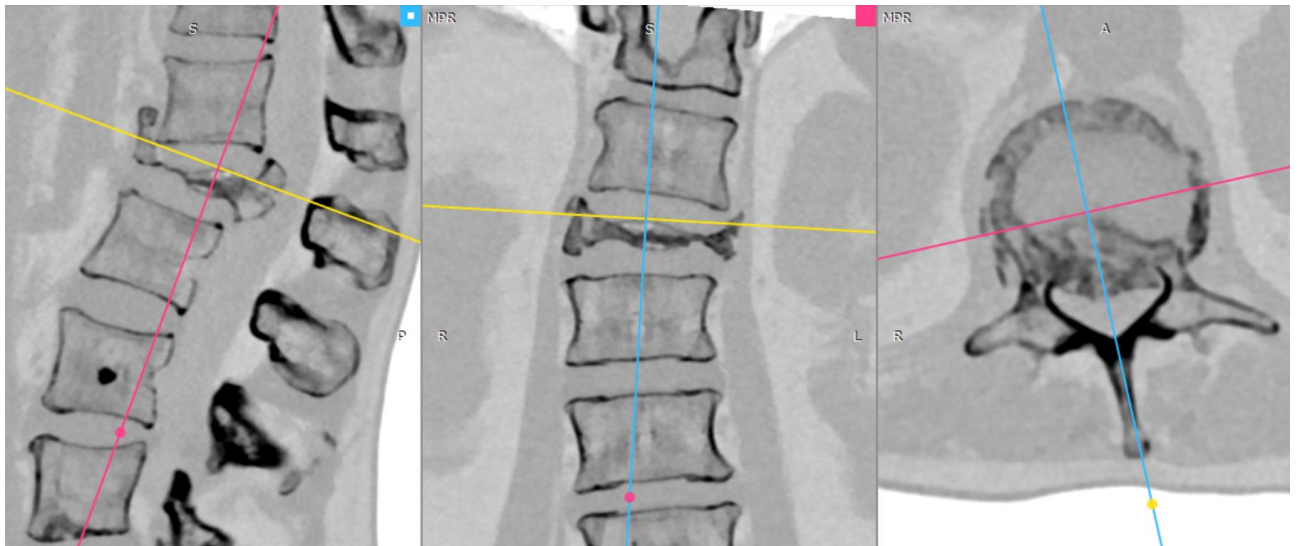


Рисунок 60 – СКТ пациентки У. при поступлении (мультипланарная реконструкция)

Первоначально сложилось впечатление, что это патологический перелом. С целью дифференциальной диагностики была выполнена МРТ с контрастным усилением (рис. 61). Оценена минеральная плотность костной ткани в соседних позвонках по данным СКТ в программе RadiAnt (от 140 до 160 ед. HU).

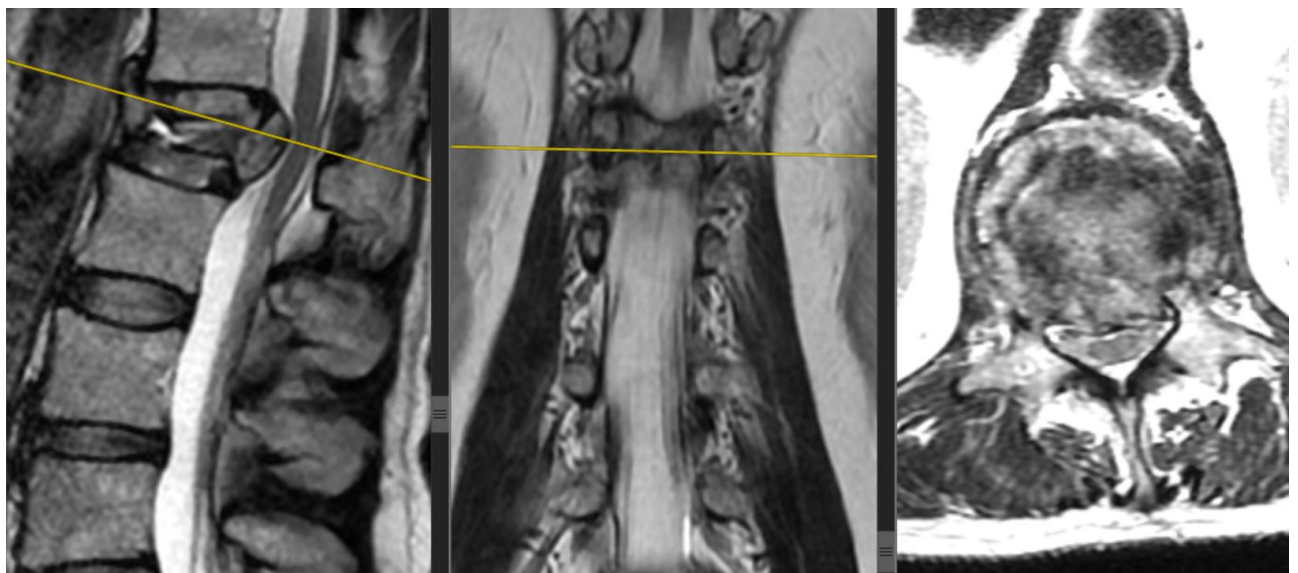


Рисунок 61 – МРТ груднопоясничного отдела позвоночника пациентки У. с контрастным усилением

При подготовке к операции выполнено предоперационное планирование для введения винтов, проведены расчеты исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла (рис. 62).

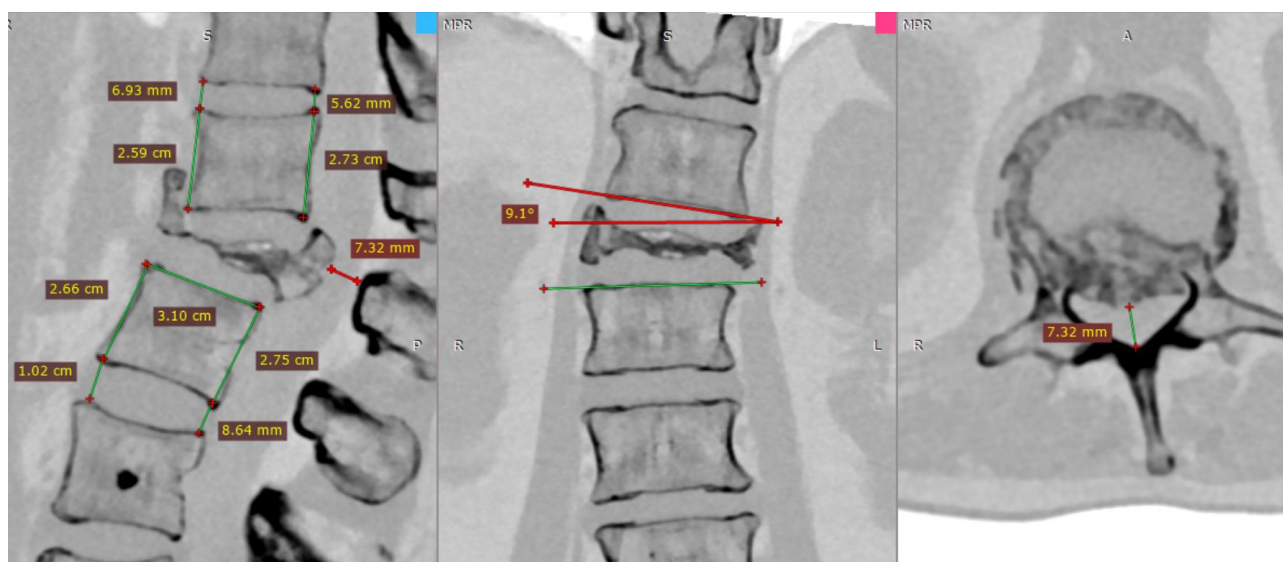


Рисунок 62 – Измерение вертикальных размеров смежных тел позвонков, межпозвоночных дисков и сегментарного угла в сагиттальной и фронтальной плоскостях

Передние размеры тела позвонка снижены на 40,7%, задние – на 29,6%, а средние – на 86,0%. Объем тела позвонка уменьшился почти вдвое (рис. 63). Дефицит просвета позвоночного канала составил 58,3%.

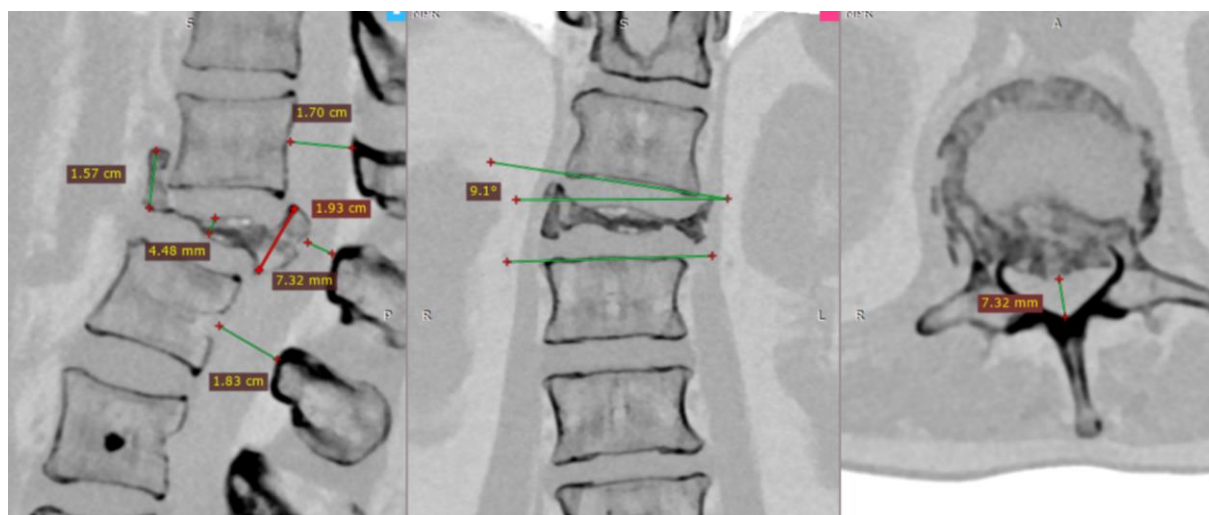


Рисунок 63 – Измерение размеров поврежденного тела позвонка и минимального диаметра позвоночного канала на уровне повреждения и соседних уровнях

Пациентка на 23-й день от момента травмы прооперирована. Для введения транспедикулярных винтов использовали навигационную систему.

На примере данной пациентки подробно демонстрируем этапы операции. Вначале было осуществлено проведение метчиков, затем и винтов в тело LII позвонка (рис. 64, 65).

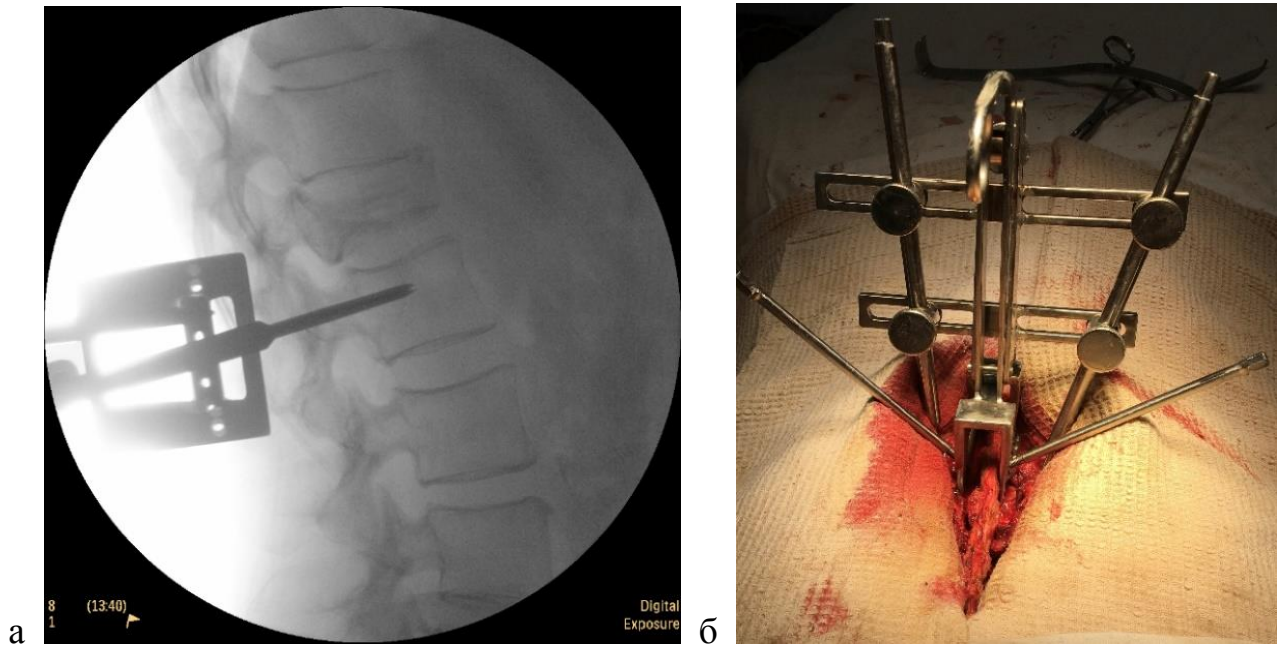


Рисунок 64 – Проведение метчиков с помощью навигационного устройства в тело LII позвонка. Вид с экрана монитора ЭОПа(а) и фото (б)

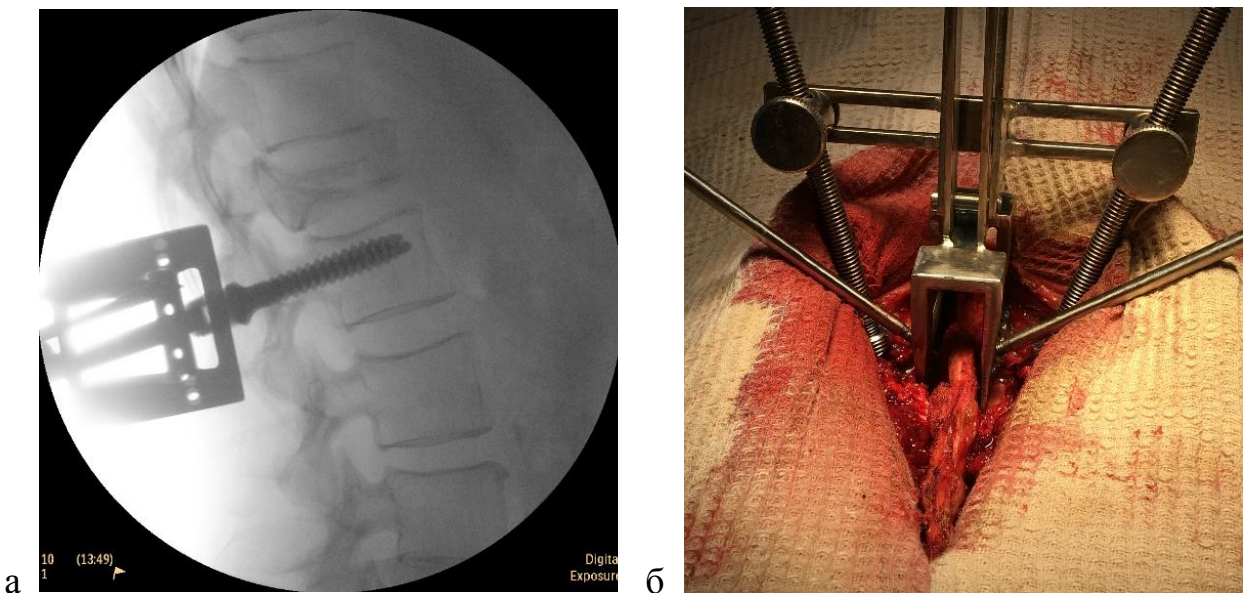


Рисунок 65 – Проведение винтов с помощью навигационного устройства в тело LII позвонка. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

Затем были проведены винты в тела ThXI и ThXII позвонков (рис. 66, 67).

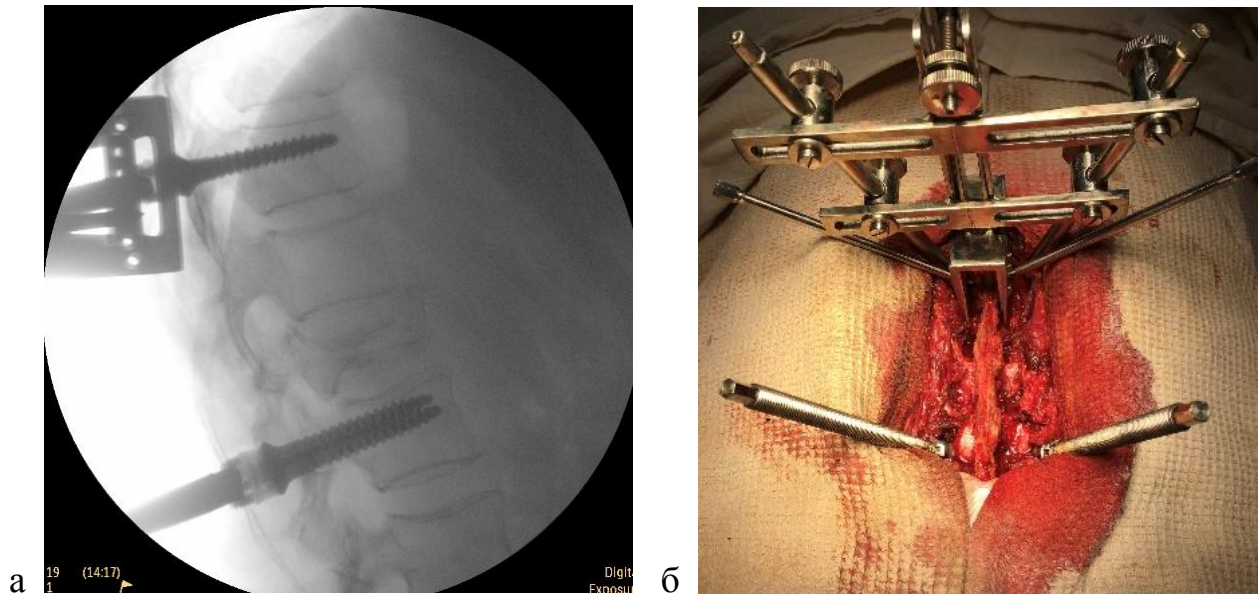


Рисунок 66 – Проведение винтов с помощью навигационного устройства в тело ThXI позвонка. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

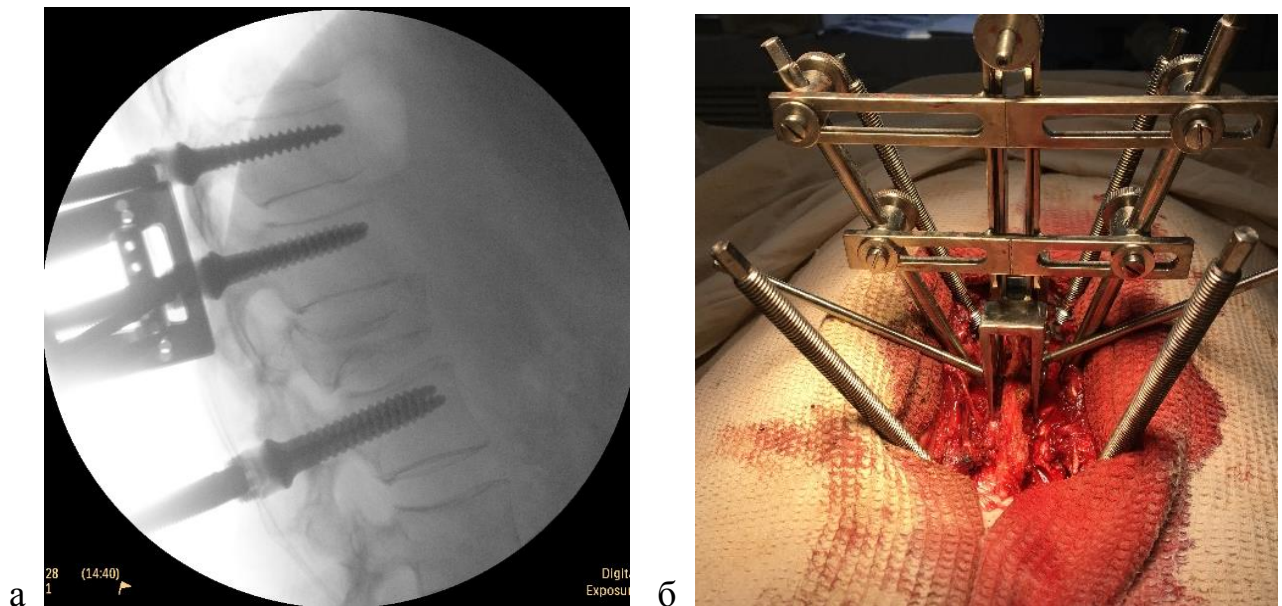


Рисунок 67 – Проведение винтов с помощью навигационного устройства в тело ThXII позвонка. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

После введения винтов была смонтирована репозиционная система «Синтез» (рис. 68). В данную систему вовлечены тела ThXII и LII позвонков. Начаты репозиционные мероприятия в виде тракции по оси с исправлением угловой деформации.

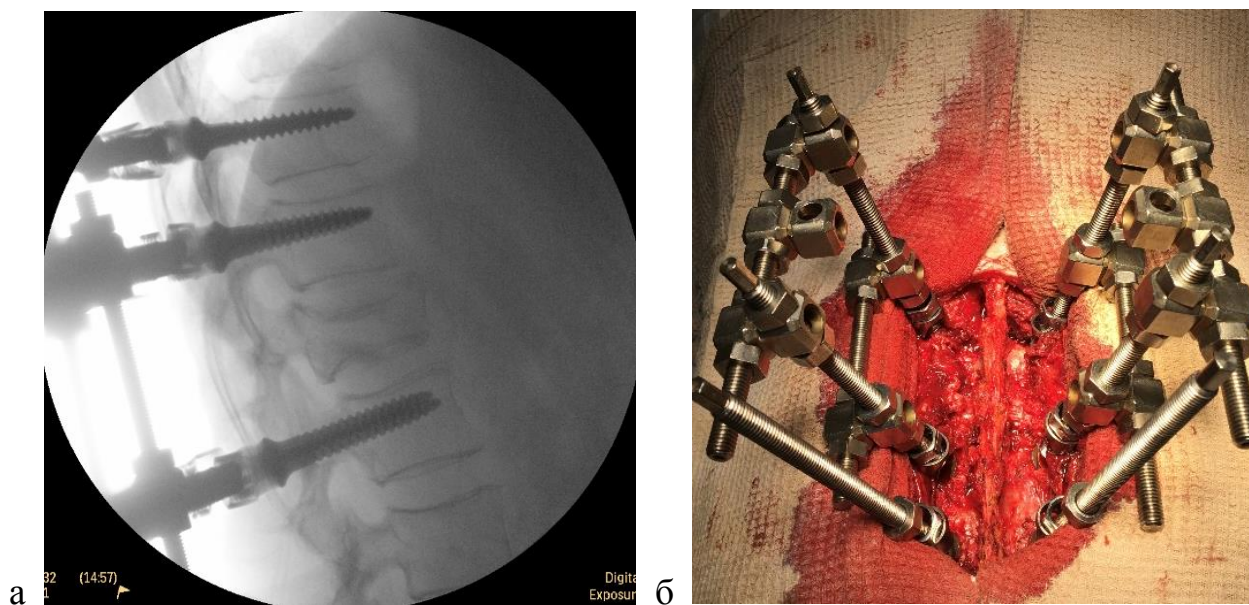


Рисунок 68 – Монтаж внутренней репозиционной системы. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

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. На следующем этапе выполнена установка метчиков в тело поврежденного L1 позвонка через предусмотренные муфты на репозиционной системе (рис. 69, 70).

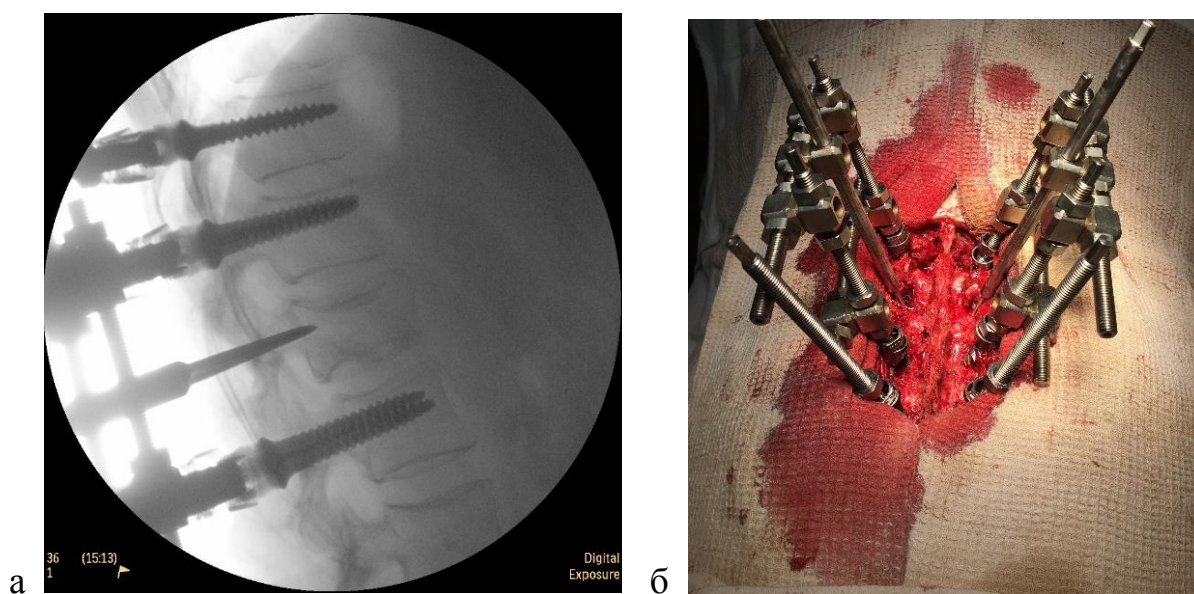


Рисунок 69 – Проведение метчиков через муфты репозиционной системы. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)



С данного этапа начинается контроль восстановления межтеловых промежутков и угла деформации. 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 с правой стороны на грудном отделе и с левой стороны на поясничном отделе не устанавливается.

После проведения винтов в тело поврежденного позвонка продолжают репозиционные маневры. При необходимости тело позвонка смещается в вентральном направлении или изменяется наклон позвонка положением винта в сагиттальной проекции.

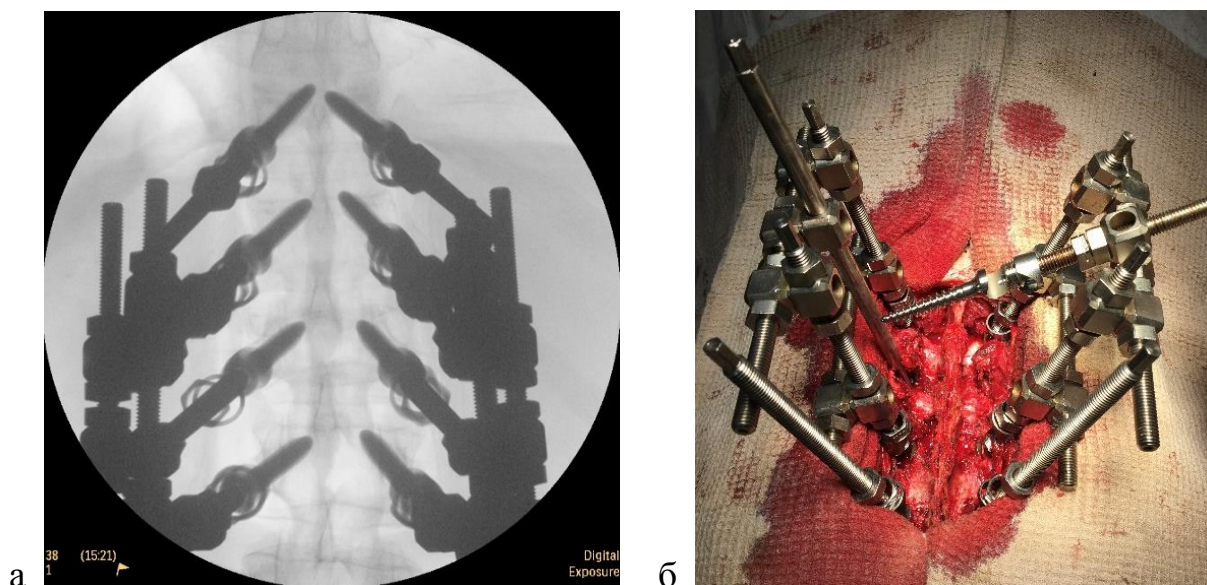


Рисунок 70 – Этап проведения винтов в тело L1 позвонка через муфты репозиционной системы. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

Эти манипуляции дают возможность максимально исправить деформацию позвоночного канала и повышают репозиционные возможности системы. Окончательное положение винтов и постановка штанг отражено на рисунке 71.

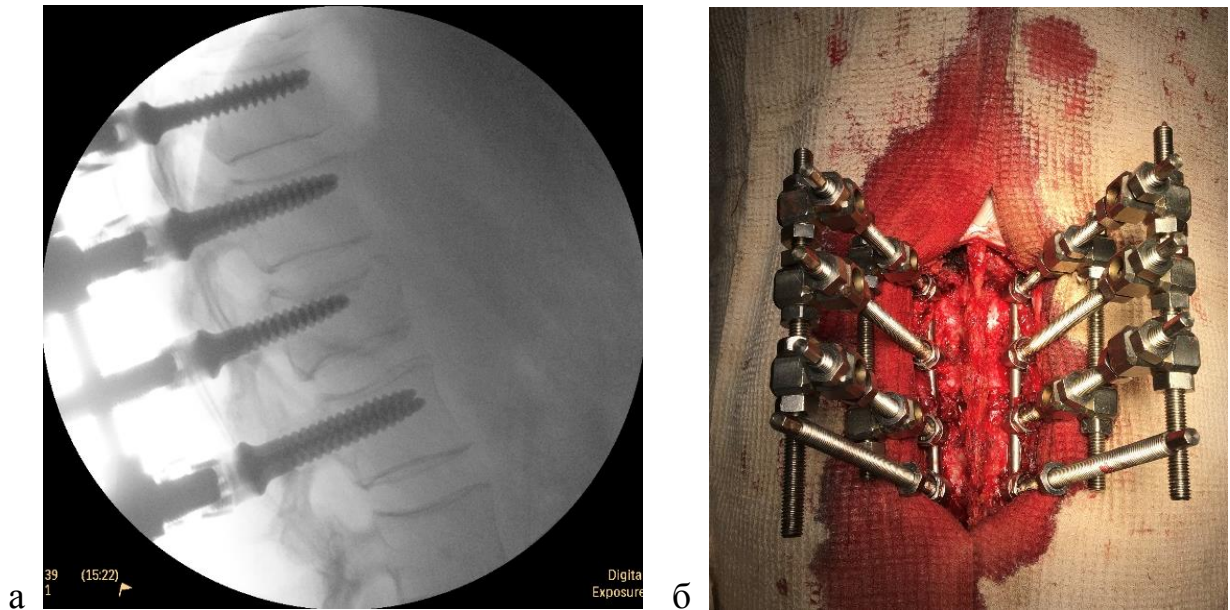


Рисунок 71 – Финал этапа репозиции и постановка фиксирующих штанг. Вид с экрана монитора ЭОПа (а) и фото (б)

В процессе проведенной репозиции воспроизведены рассчитанные индивидуальные размеры межтеловых промежутков и угла деформации на экране монитора ЭОПа. Контрольное исследование на ЭОПе с постановкой фиксирующих штанг изображено на рисунке 72.

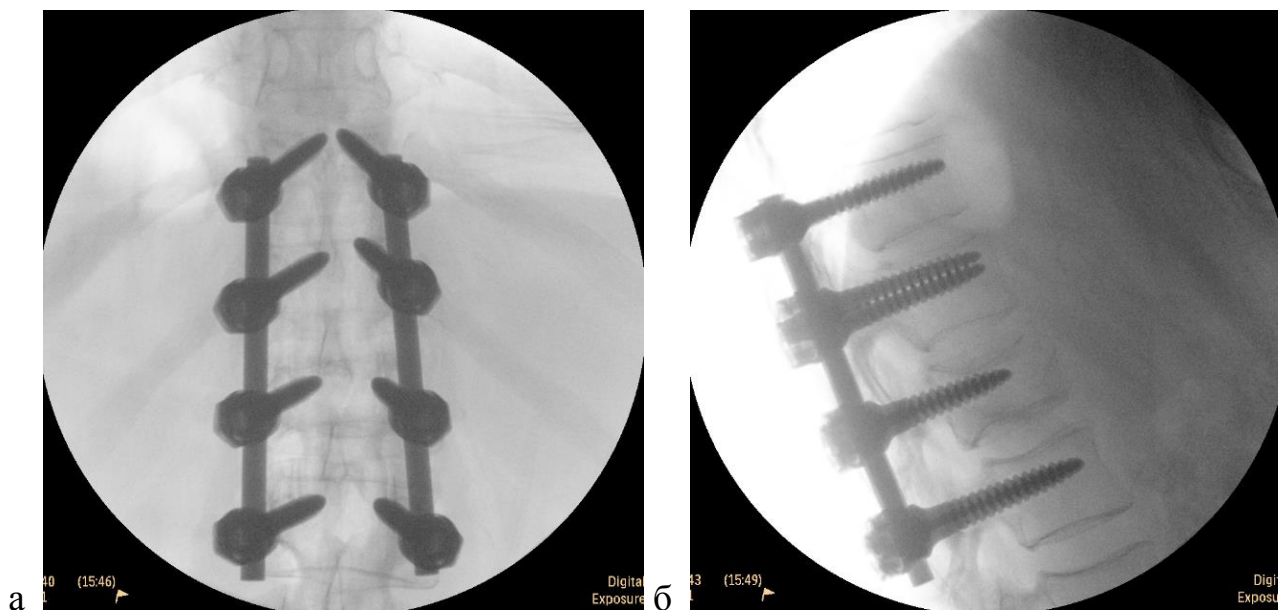


Рисунок 72 – Контрольное исследование репозиции и ТПФ на экране ЭОП: а – прямая проекция; б – боковая проекция

По данным послеоперационного СКТ-контроля: в процессе закрытой реформации позвоночного канала восстановлены рассчитанные передние и задние размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол (рис. 73).



Рисунок 73 – СКТ пациентки У. после оперативного лечения

Сохраняется угловая деформация в фронтальной плоскости с углом в 2,7 градуса. Угол сегментарной деформации исправлен с 17,2 градусов кифотической деформации до -2,5 градусов, т.е. на 19,7 градусов. При этом передние размеры поврежденного тела позвонка восстановились до 91,6%, задние – до 97,4% от рассчитанных размеров. Дефицит просвета позвоночного канала уменьшился с 58,3% до 23,4%. В течение двух недель регрессировали неврологические расстройства и значительно (до 1 по ВАШ) уменьшился болевой синдром.

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. 74). Сегментарный угол в сагиттальной проекции 4,0 градуса, в фронтальной – 2,7 градуса.

тальной – 1,7 градуса. Передние размеры тела L1 позвонка составляют 59,5%, задние размеры – 100,0% от исходных (индивидуальных).

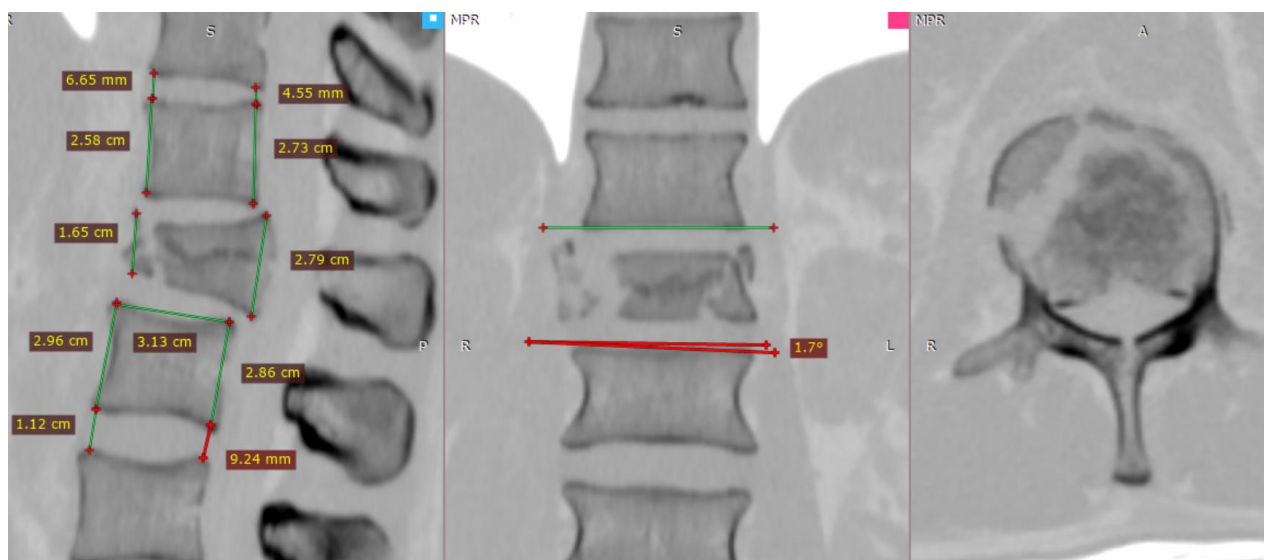


Рисунок 74 – СКТ пациента Б. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

После проведенного предоперационного планирования по траектории проведения винтов и математических расчетов исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками пациент взят на операцию. Выполнен репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThXII-LII позвонков.

Для введения винтов использовалось навигационное устройство, после чего монтировалось репозиционное устройство. Под контролем ЭОПа с помощью данного устройства проводились репозиционные маневры. Этапы операции с данных ЭОПа представлены на рисунке 75.

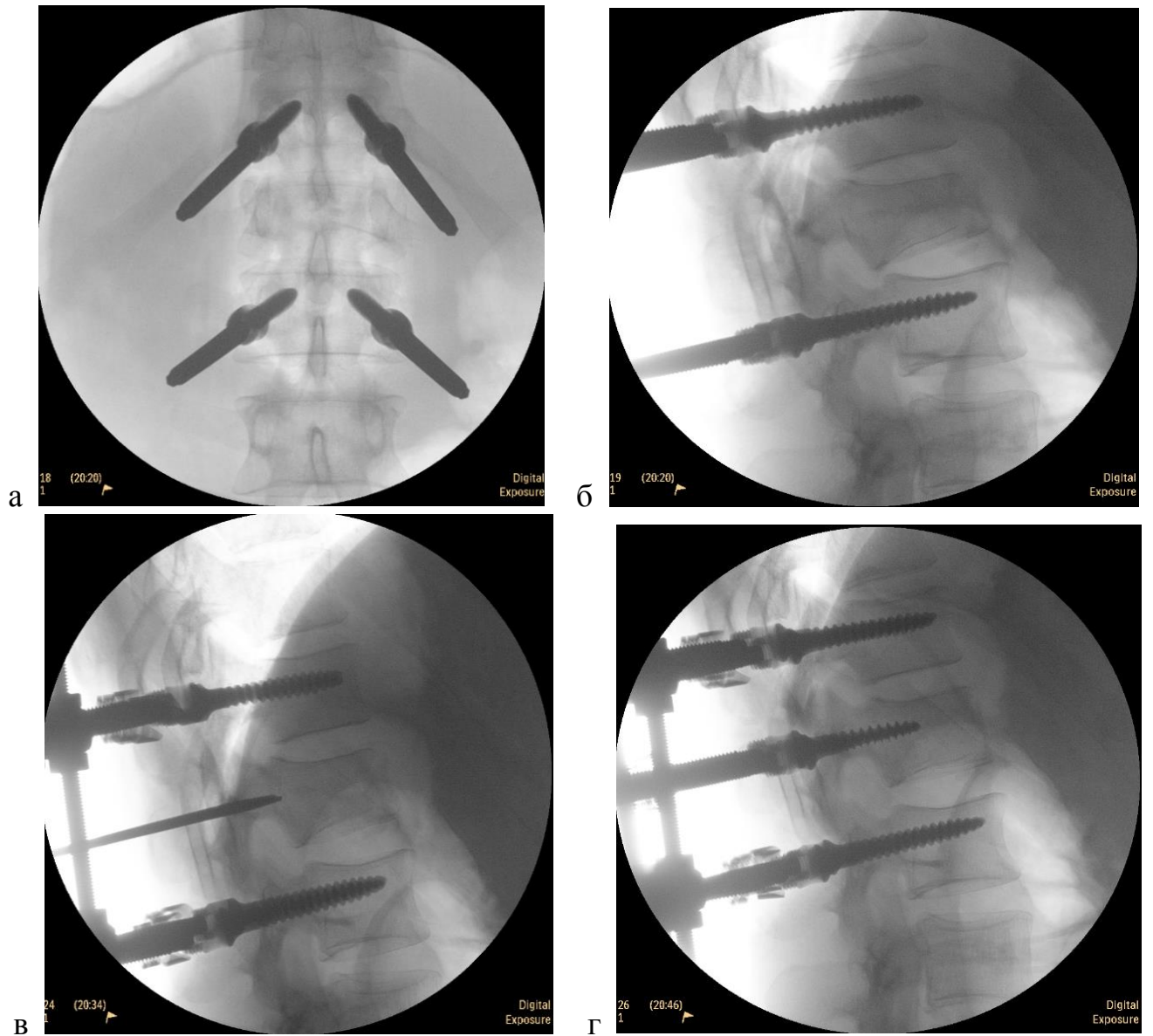


Рисунок 75 – Этапы выполнения аппаратной репозиции перелома L1 позвонка пациента Б. с экрана монитора: а, б – прямая и боковая проекции после установки винтов; в – установка метчика; г – окончательная репозиция с редуцированными винтами

Во время выполнения операции убедились в восстановлении рассчитанных размеров межтеловых промежутков и угла деформации. Интраоперационный контроль после установки штанг представлен на рисунке 76.

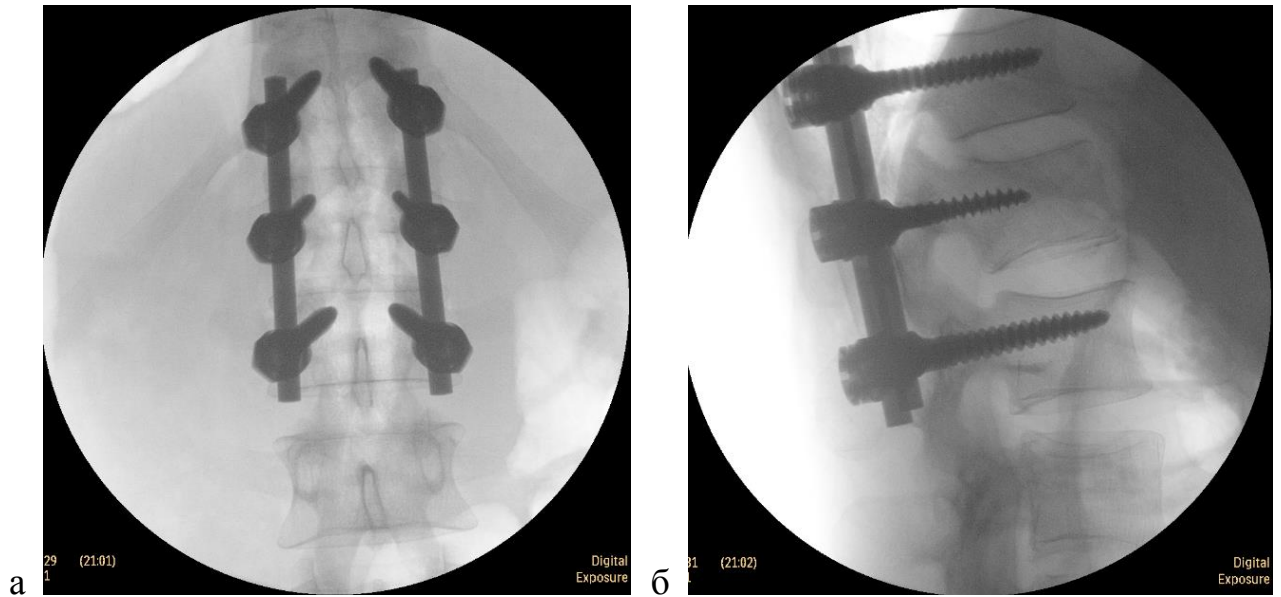


Рисунок 76 – Интраоперационный контроль на ЭОП: а – прямая; б – боковая проекции

Послеоперационный СКТ-контроль указал на совпадение рассчитанных дооперационных и послеоперационных индивидуальных показателей вертикальных размеров поврежденного тела L1 позвонка со смежными дисками (рис. 77).



Рисунок 77 – Послеоперационное СКТ-исследование пациента Б.

Практически устранен (уменьшился с 33,2% до 8,1%) дефицит просвета позвоночного канала, кифотическая деформация исправлена до исходной на 10,2 градуса, восстановлена передняя высота тела поврежденного позвонка до 98,7% от исходного размера на 39,2%.

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 градуса справа (рис. 78) и 67,4 градуса слева (рис. 79).

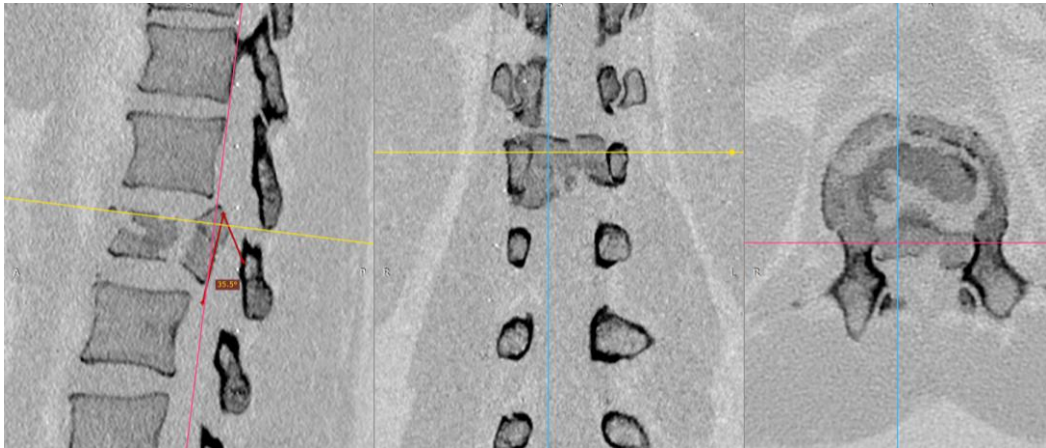


Рисунок 78 – СКТ пациента Т. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

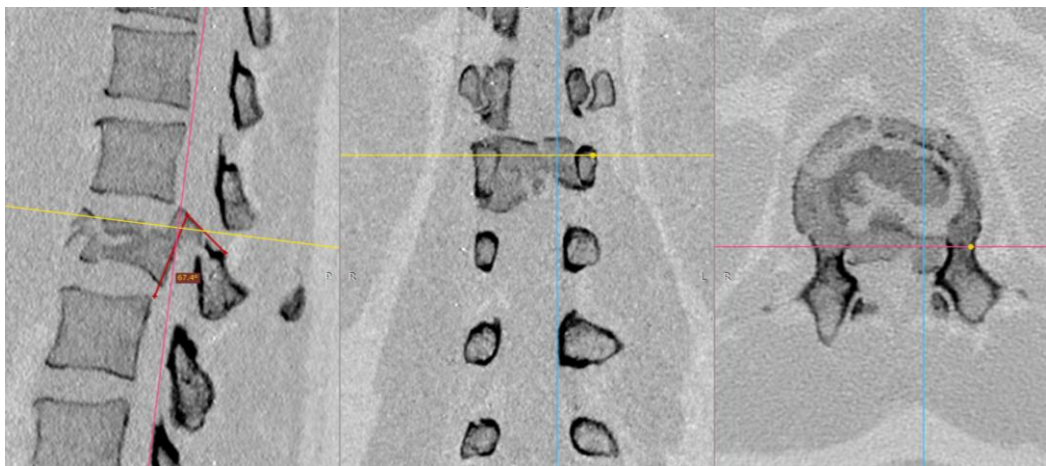


Рисунок 79 – СКТ пациента Т. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

Стеноз позвоночного канала составил 67,8% справа и 94,6% слева. Передний размер тела L1 позвонка составлял 51,2%, задний – 94,1% от рассчитанных размеров по соседним позвонкам.

При анализе эффективности закрытой декомпрессии позвоночного канала нами отмечено, что при угле разворота костного фрагмента более 50 градусов устранение деформации позвоночного канала за счет аппаратной репозиции затруднено. На МРТ был выявлен разрыв задней продольной связки слева (рис. 80).

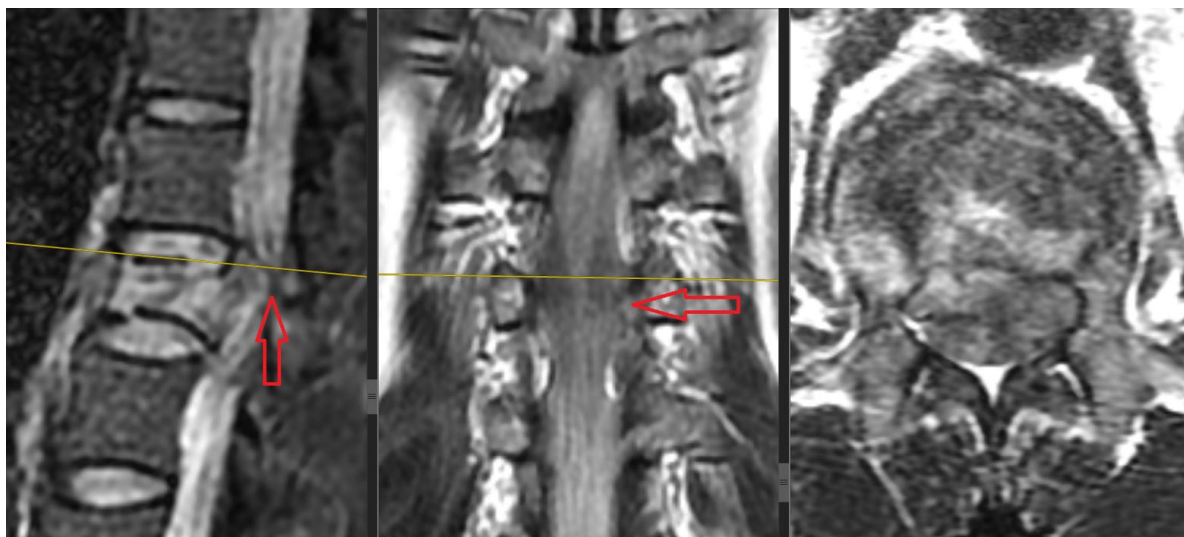


Рисунок 80 – МРТ больного Т. Разрыв задней продольной связки под костным фрагментом слева

На 2-е сутки после полученной травмы пациент был прооперирован. Выполнен шестивинтовой репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThXII-LII позвонков. Для введения винтов использовалось навигационное устройство, проводилась дозированная репозиция под контролем ЭОПа для восстановления исходных вертикальных размеров и угла деформации поврежденного тела LI позвонка со смежными дисками. Финальный этап репозиции отражен на рисунке 81.

Для устранения сохраняющейся вентральной компрессии слева за счет костного фрагмента выполнен трансфораминальный доступ на уровне ThXII-LI сегмента. Для лучшей визуализации выходящего корешка, твердой мозговой оболочки и эпидуральных сосудов использовали микроскоп. Через сформированный доступ под контролем микроскопа в позвоночный канал был введен разработанный инструмент для малоинвазивной декомпрессии



(патент РФ 2798042). Выполнено погружение костного фрагмента слева в вентральном направлении (рис. 82, 83).

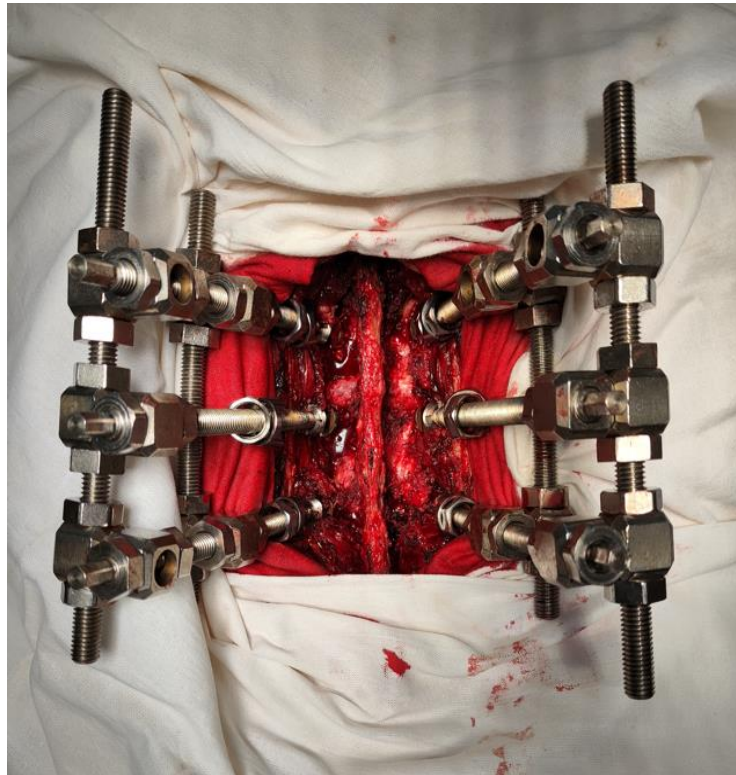


Рисунок 81 – Интраоперационное фото: финальный этап репозиции позвоночника у больного Т.

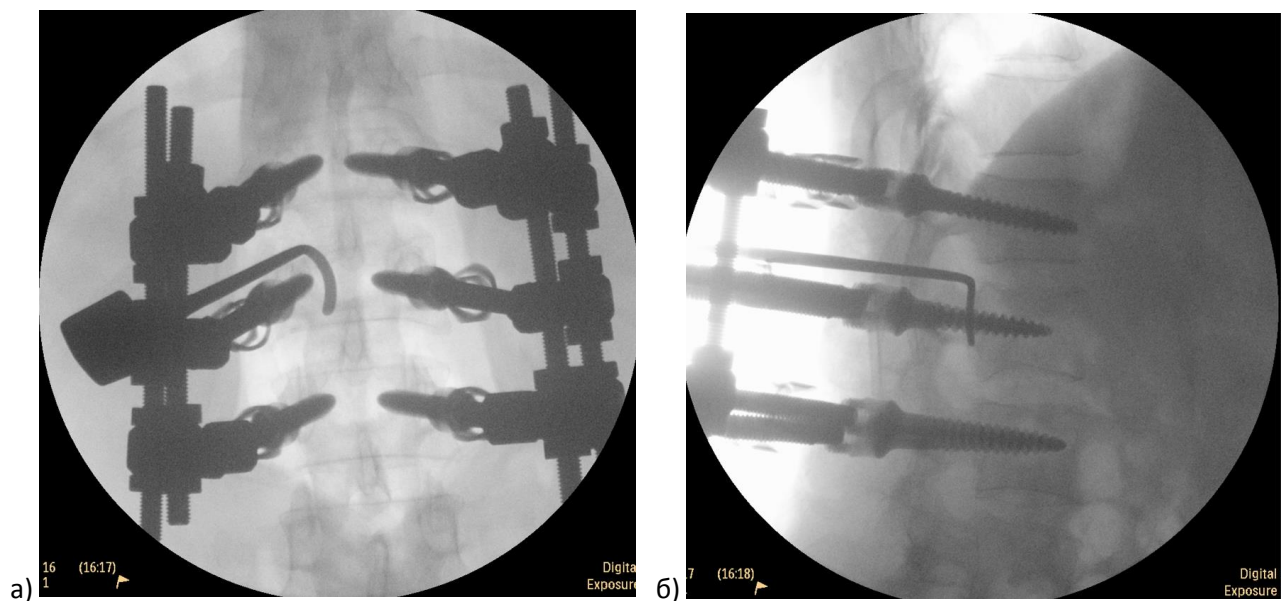


Рисунок 82 – Этап погружения костного фрагмента слева от тела L1 позвонка с экрана монитора у больного Т.: а – прямая; б – боковая проекции

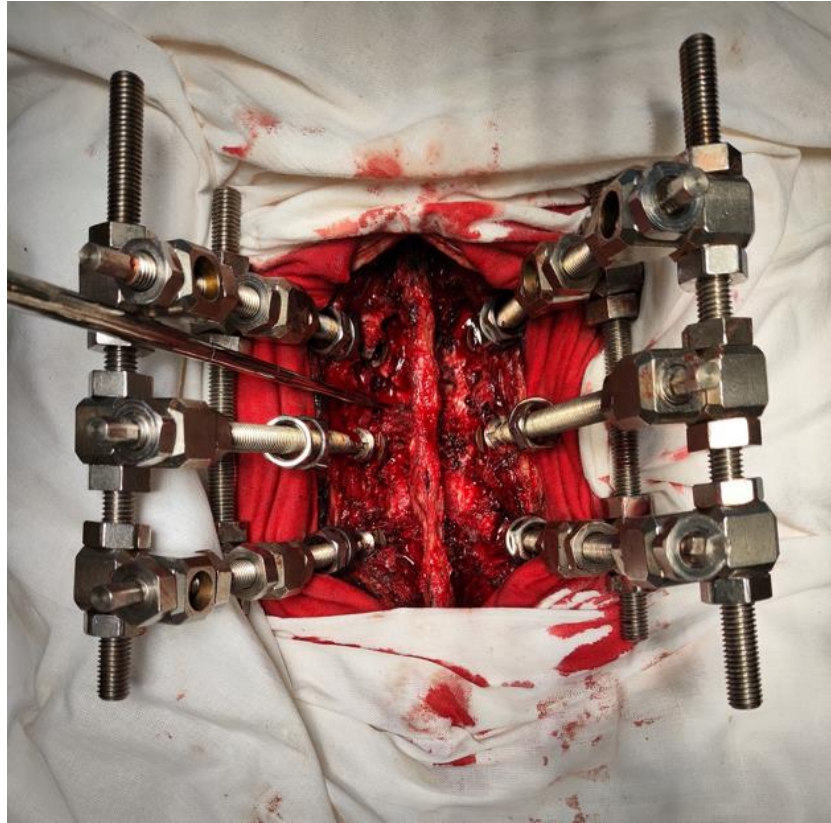


Рисунок 83 – Интраоперационное фото больного Т. В позвоночный канал слева на уровне ThXII-LI введен разработанный инструмент для погружения костных фрагментов

На контрольной СКТ: размеры межтелового промежутка спереди – 42,8 мм, сзади – 38,3 мм, угол сегментарной деформации – 9,1 градуса (рис. 84).



Рисунок 84 – СКТ-исследование больного Т. после операции

Рассчитанные параметры: 42,5 мм; 38,1 мм и 9,0 градусов соответственно. В результате операции удалось выполнить полноценную декомпрессию позвоночного канала, восстановить передние и задние размеры тела поврежденного позвонка, приблизить размеры межтеловых промежутков и угла сегментарной деформации к рассчитанным.

Клинический пример пациента 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, перелом костей таза и перелом правой пяточной кости. Неврологический статус был представлен общемозговой симптоматикой, спинальные нарушения степени В по ASIA (рис. 85).

На этапах операционного планирования была составлена карта разметки для введения винтов и рассчитаны основные целевые показатели для восстановления исходной анатомии. После выведения из шока и компенсации общего состояния, с дренажами в плевральных полостях, на третьи сутки пациент был прооперирован.

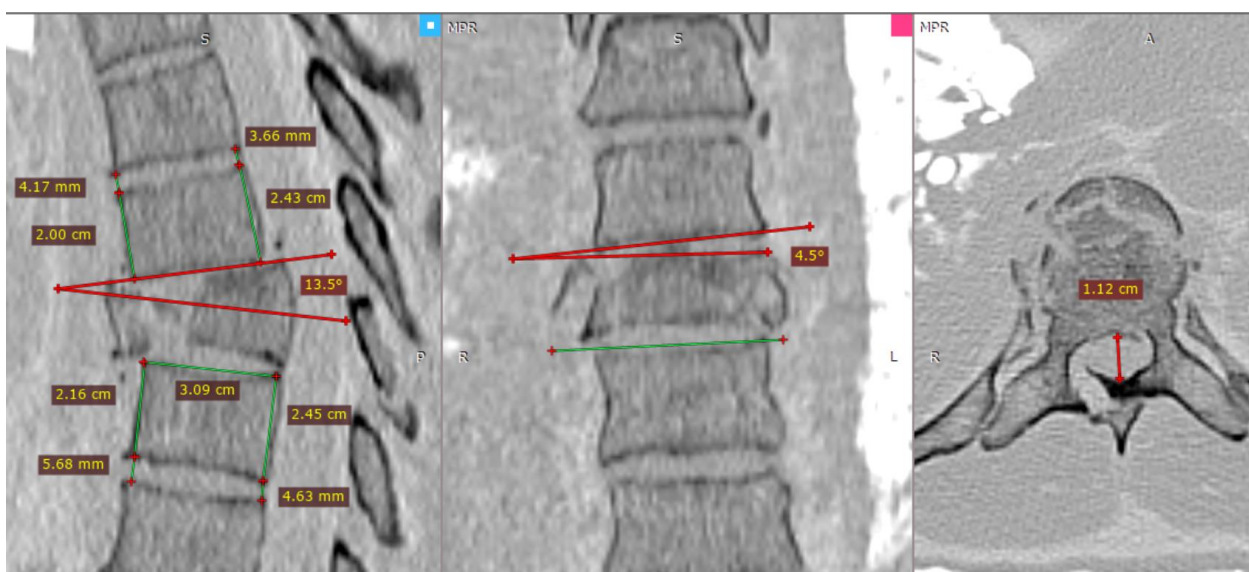


Рисунок 85 – СКТ пациента Р. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции с измерениями

Объем оперативного вмешательства: репозиционно-стабилизирующий пятивинтовой транспедикулярный остеосинтез на протяжении ThIX-ThXI, ламинэктомия ThX и частично ThIX, ревизия эпидурального пространства. На операции следили за восстановлением рассчитанных целевых показателей (рис. 86).

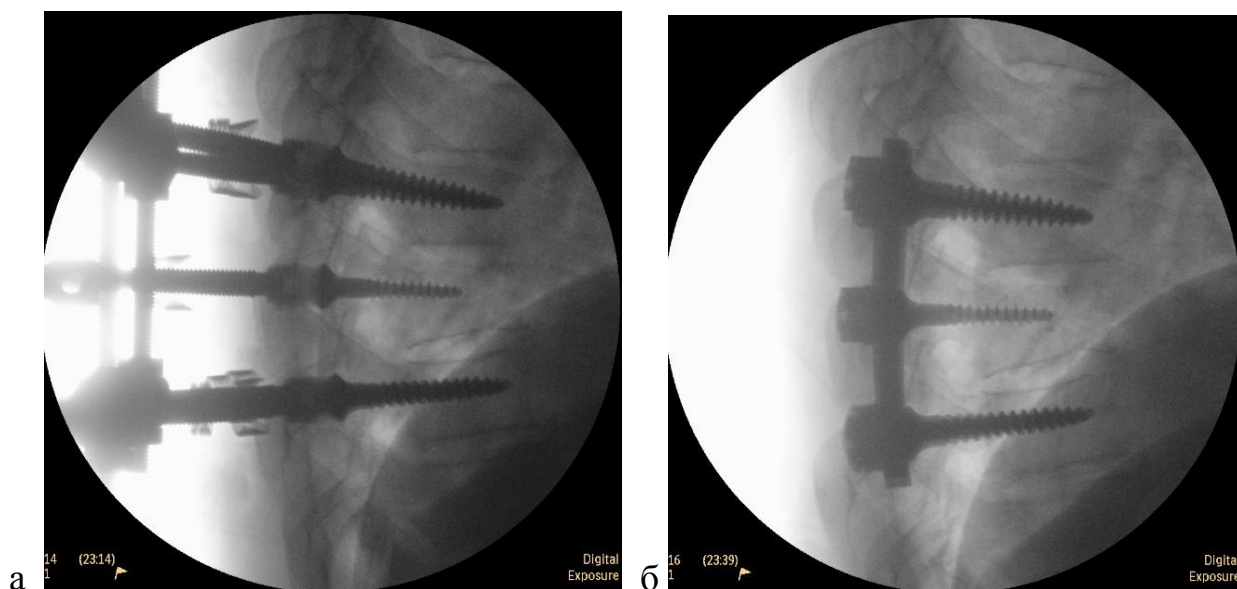


Рисунок 86 – Этапы репозиции (а) и интраоперационного контроля (б) перелома ThX позвонка в боковой проекции

Послеоперационный СКТ-контроль подтвердил устранение деформации в фронтальной плоскости и уменьшение угловой деформации на 9,2 градуса в сагиттальной плоскости (достигнутый во время операции угол – 4,3 градуса, рассчитанный угол – 4,8 градуса) (рис. 87). Во фронтальной плоскости деформация полностью устранена.

Через год наблюдалась положительная динамика в неврологическом статусе (степень С по ASIA), несмотря на обширную зону повреждения спинного мозга на уровне сегмента ThIX-ThX (рис. 88).

Передние размеры тела ThX позвонка восстановились до 94,8%, задние – до 98,5%.

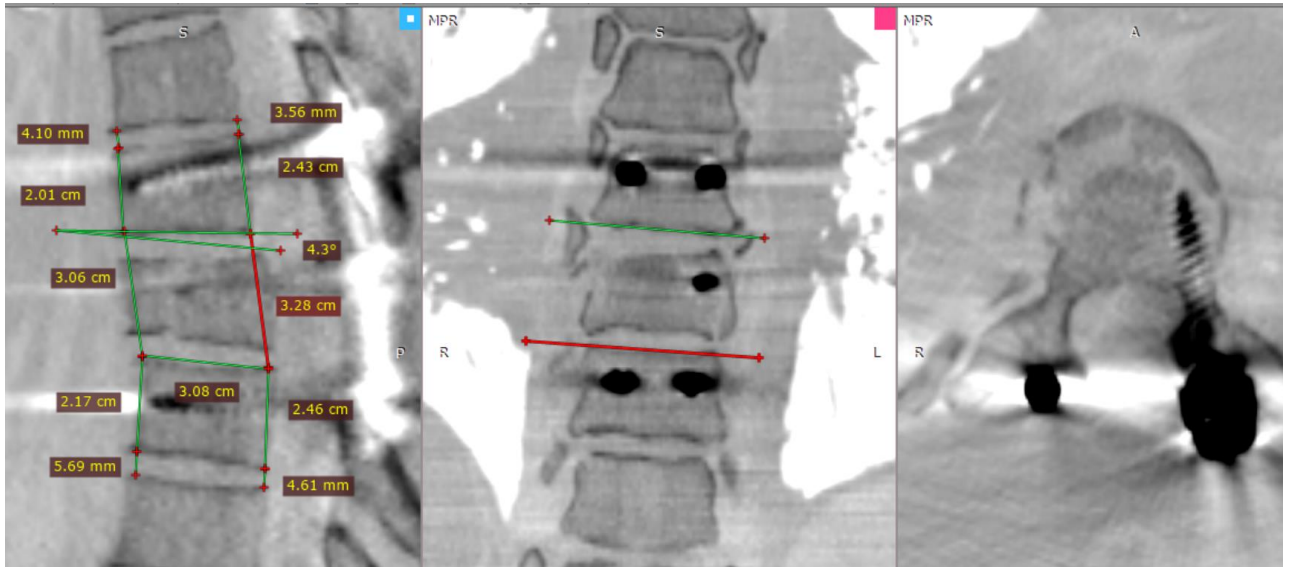


Рисунок 87 – Послеоперационное СКТ-исследование пациента Р. в трех проекциях после мультипланарной реконструкции

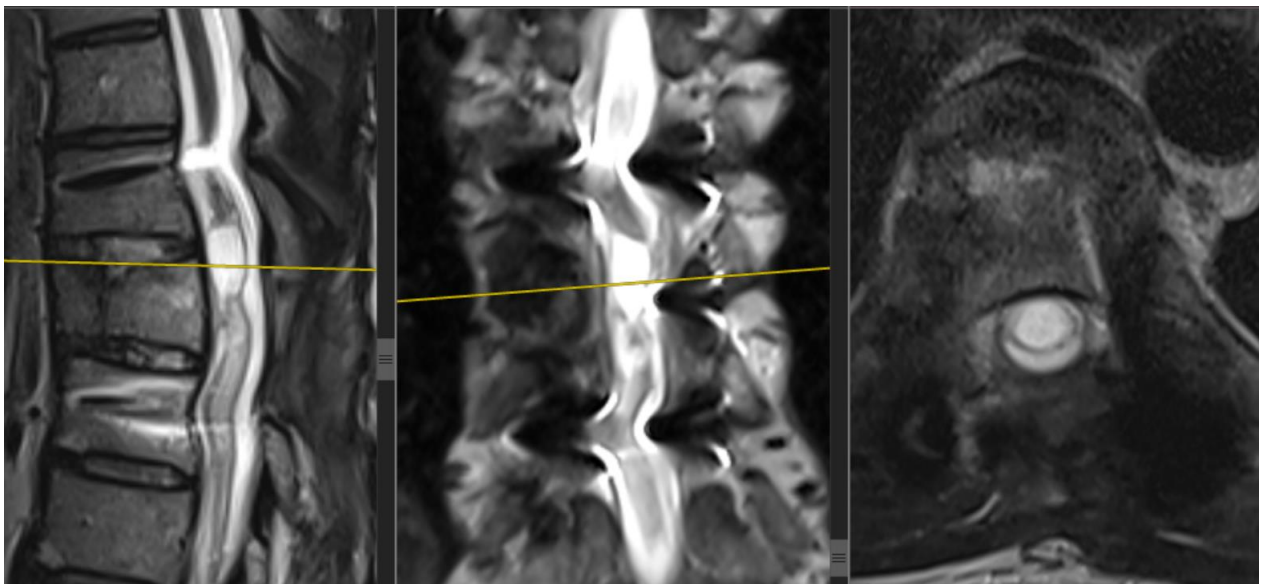


Рисунок 88 – Послеоперационное МРТ-исследование пациента Р. в трех проекциях

Через 5 лет после травмы пациент чувствует себя хорошо: боли не беспокоят, неврологическом статус – прежняя степень С по ASIA.

Клиническое наблюдение пациентки М. 48 лет.

Сочетанная травма была получена в результате ДТП. В течение двух недель она находилась на стационарном лечении в ЦРБ по месту жительства. При поступлении диагностирован компрессионно-оскольчатый перелом тела и дужки ThXII позвонка (тип С по AOSpine), переломы X и XI ребер слева. Неврологический статус – спинальные нарушения степени С по ASIA (рис. 89).

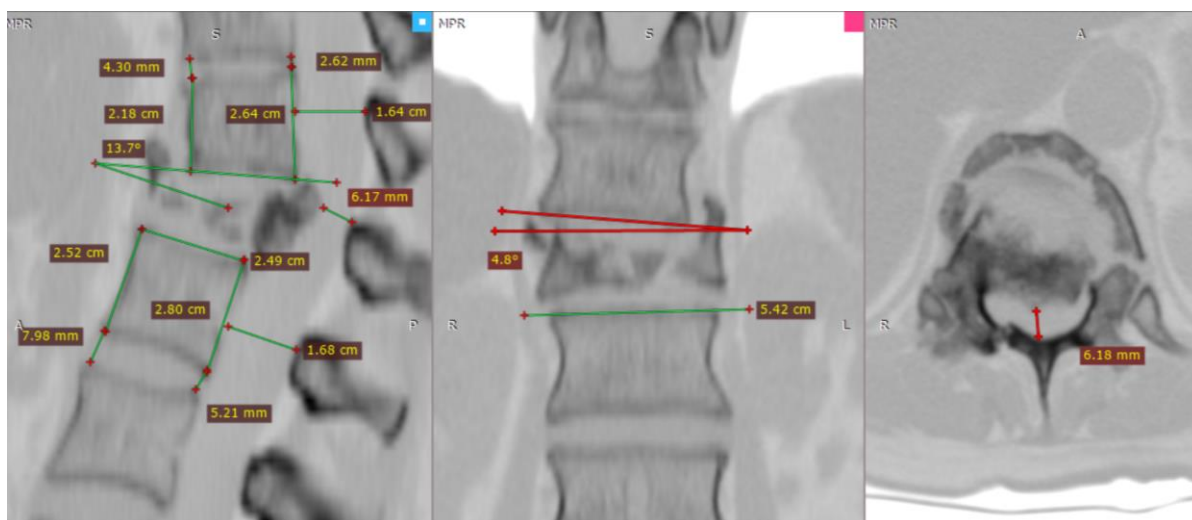


Рисунок 89 – СКТ пациентки М. с переломом ThXII позвонка

Дефицит просвета позвоночного канала при поступлении – 63,3%, оценка высоты поврежденного позвонка затруднительна. После предоперационного планирования на 16-е сутки после полученной травмы пациентка прооперирована. Планируемая операция была разбита на два этапа. На первом этапе был выполнен репозиционно-стабилизирующий четырехвинтовой транспедикулярный остеосинтез ThXI-LI, ламинэктомия ThXII и частично ThXI с восстановлением деформации в двух проекциях (рис. 90).

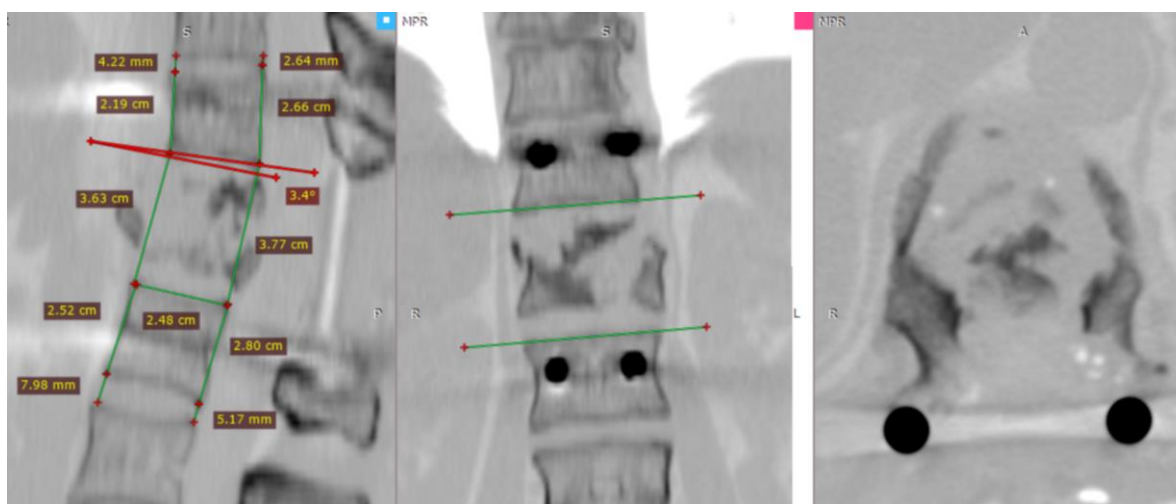


Рисунок 90 – СКТ-исследование пациентки М. после первого этапа операции

Сегментарный угол исправлен до рассчитанного – на 10,3 градуса. Неврологический статус – быстрый регресс нижнего парапареза в течение двух недель во время первой госпитализации, были восстановлены тазовые функции.

В силу ряда причин на повторную госпитализацию пациентка приехала через 11 месяцев в связи с нарастанием локального болевого синдрома. На контрольной СКТ с миелографией выявлено нарастание кифотической деформации в поврежденном сегменте на 6,1 градуса (рис. 91).

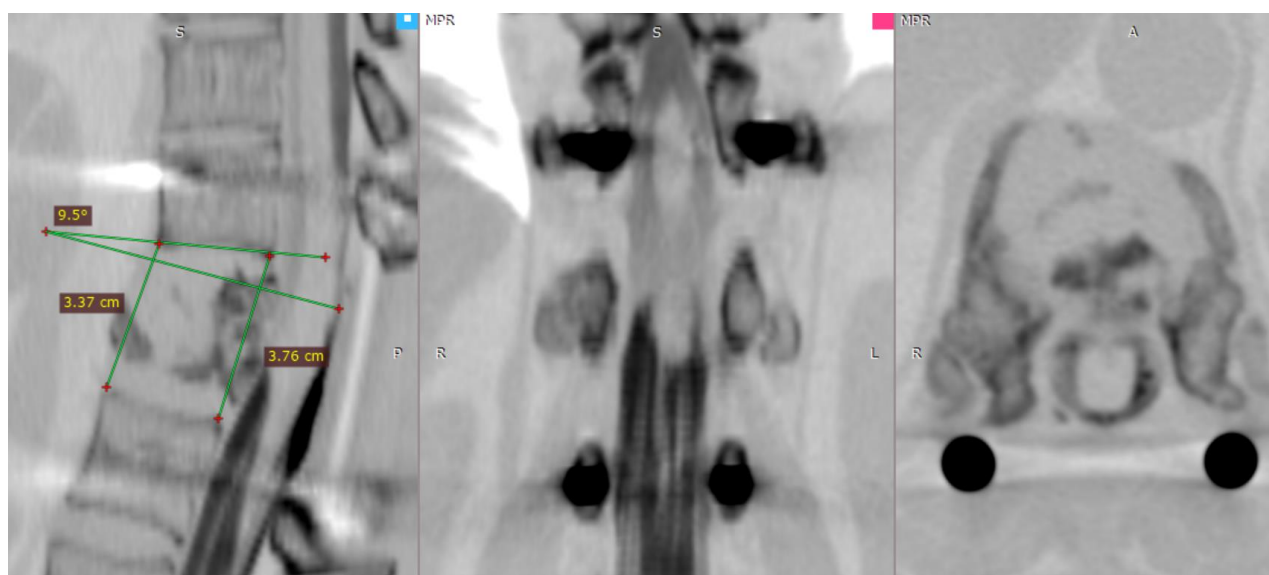


Рисунок 91 – СКТ с миелографией пациентки М. через 11 месяцев после этапа операции, выполненного с применением заднего доступа

На запоздавшем втором этапе операции из правостороннего торакотомического доступа выполнены удаление дисков ThXI-ThXII, ThXII-LI, спондилодез аутокостью и фиксация ThX-LI по предложенной методике (патент № 2559275). После операции быстро купировался болевой синдром, неврологический статус – степень D.

Дальнейшего нарастания кифотической деформации не наблюдали, что подтверждается контрольным исследованием через год и 2 месяца после второго этапа операции (рис. 92).

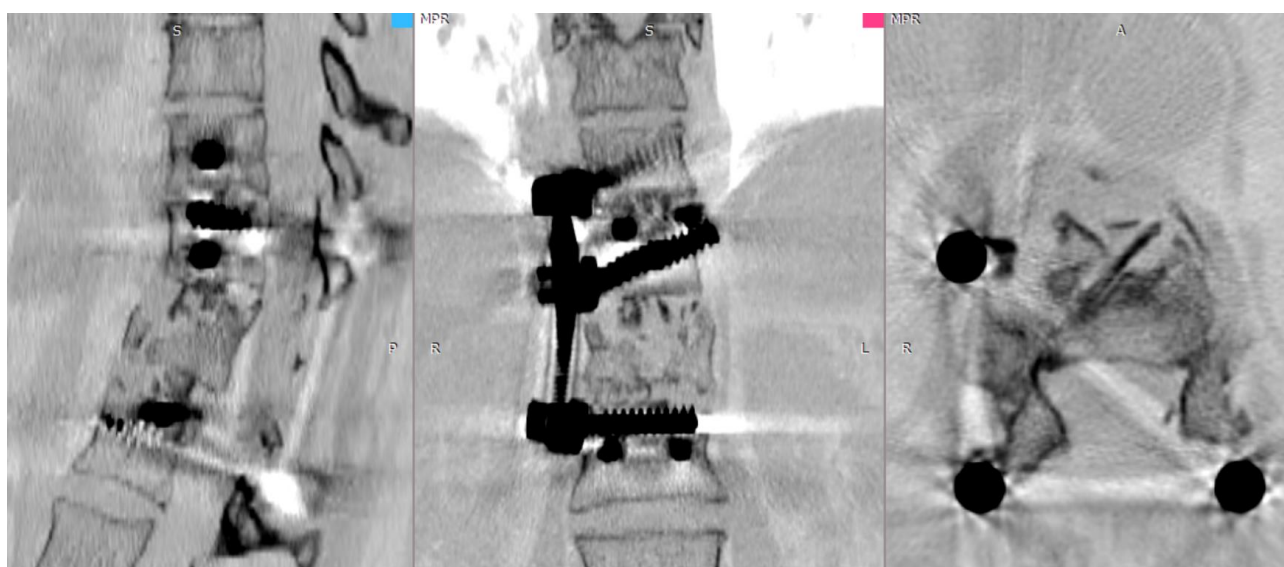


Рисунок 92 – СКТ-контроль пациентки М. через год и 2 месяца после второго этапа операции

### **6.3 Особенности лечения больных контрольной группы с позвоночно-спинномозговой травмой**

В контрольной группе всем 120 больным был выполнен репозиционный транспедикулярный остеосинтез, у 19 (15,8%) пациентов данной группы проводилось двухэтапное хирургическое лечение. Для установки винтов не использовали навигационное устройство и не проводили предварительных расчетов для выполнения дозированной репозиции. Винты в поврежденные позвонки устанавливались до монтажа репозиционной системы. Послеоперационные результаты по восстановлению поврежденных ПДС оценивали ретроспективно.



При определении тактики лечения учитывали тяжесть и динамику неврологических нарушений, сроки с момента травмы, абсолютную величину и морфологическую причину стеноза позвоночного канала. Алгоритм лечения пациентов контрольной группы представлен на рисунке 93.

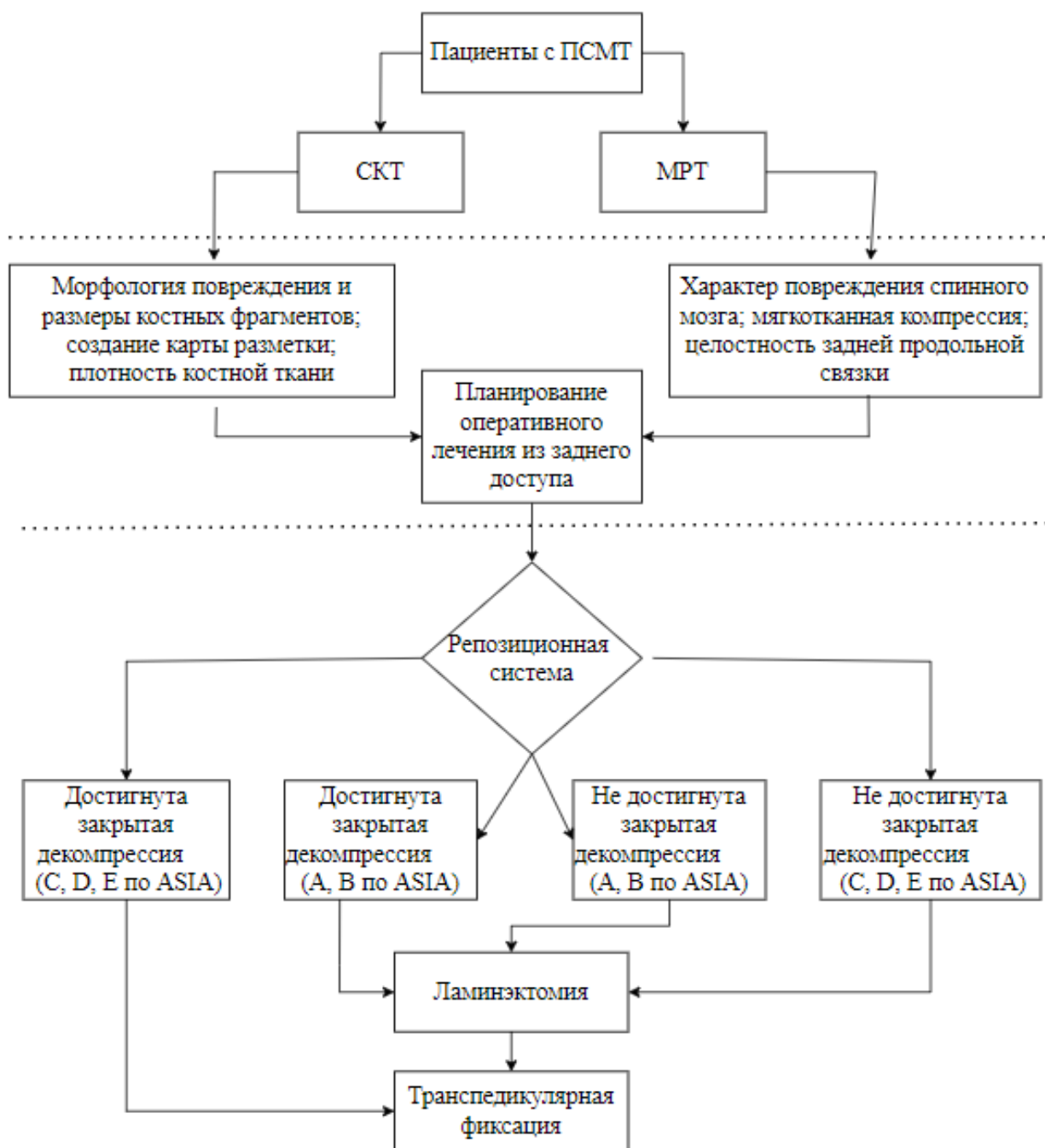


Рисунок 93 – Алгоритм использования традиционной системы лечения пациентов контрольной группы с ПСМТ грудного и поясничного отделов

В контрольной группе оперативные вмешательства были выполнены в остром периоде (первые трое суток с момента травмы) у 65 (54,2%) пациентов, в раннем периоде (4–14 дней с момента травмы) – у 45 (37,4%) человек, через 2-3 недели – у 5 (4,2%) больных, в промежуточном периоде ПСМТ (от 3 до 4 недель) – у 5 (4,2%) больных.

Предоперационное планирование предусматривало подбор размеров винтов. Размеры и диаметр используемых винтов и их применение было аналогично пациентам основной группы. Для фиксации на протяжении двух ПДС использовали от 4 до 6 винтов у 97 (80,8%) пациентов, для фиксации трех ПДС у 21 (17,5%) пациента использовали 6 или 8 винтов, у 2 (1,7%) пациентов фиксированы 4 ПДС. У 104 (86,7%) больных один или два винта были установлены в поврежденный позвонок. После проведения винтов монтировалась внутренняя репозиционная система «Синтез» с постановкой винтов, при необходимости – сразу и в поврежденный позвонок. С применением наложенной репозиционной системы у всех больных выполняли этап закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала за счет эффекта лигаментотаксиса. Эффективность репозиционной декомпрессии дурального мешка, как правило, снижалась в зависимости от положения и размеров внутриканальных костных фрагментов, а также при увеличении сроков с момента травмы. Но и срок до месяца после травмы не должен быть причиной отказа от выполнения репозиции.

Дополнительную ламинэктомию после ТПФ выполнили 62 (51,7%) больным контрольной группы. Ламинэктомию выполняли пациентам с оставшейся деформацией позвоночного канала и осложненной травмой для проведения ревизии эпидурального пространства. У 26 (21,7) пострадавших дополнительно к ламинэктомии выполнялась открытая циркулярная декомпрессия дурального мешка с удалением фрагментов диска и погружением костных фрагментов в сторону тела позвонка. Пациентам с грубыми неврологическими нарушениями (степени А и В по ASIA) после закрытой аппаратной декомпрессии и устранения деформации позвоночного также выполнялась ламинэктомия. При переломах дужек позвонков с задней

компрессией содержимого позвоночного канала ламинэктомия была выполнена у 12 (10,0%) больных. При переломах задних структур позвонков могут быть повреждения ТМО, что подтверждено у 5 больных. Сохраняющийся стеноз позвоночного канала за счет дислокации костных фрагментов в пределах резерва переднего эпидурального пространства у 35 (29,2%) пациентов считали допустимым. Старались избегать необоснованного выполнения ламинэктомии при неосложненной травме. У 6 (5,0%) больных с легкими неврологическими нарушениями для обоснования ламинэктомии интраоперационно выполняли миелографию.

После выполнения ТПФ при сохраняющемся переднем сдавлении дурального мешка и отсутствии неврологического дефицита клинически значимо было выполнение передней декомпрессии во время проведения второго этапа оперативного лечения. То есть, при недостаточно эффективной репозиционной декомпрессии дурального мешка у пациентов с сохраняющейся передней формой вертебро-медуллярного конфликта без неврологических расстройств вопрос об устранении переднего сдавления дурального мешка откладывался до второго этапа оперативного лечения.

У 19 (15,8%) больных вторым этапом хирургического лечения из вентрального доступа выполняли корпородез поврежденных ПДС. Во время корпородеза осуществляли дискэктомию поврежденных дисков и экономно резецировали разрушенную часть тела позвонка. В качестве пластического материала использовали опорный аутооттрансплантат из гребня подвздошной кости у 5 (26,3%) пациентов, фрагментированные аутооттрансплантаты – у 4 (21,1%) больных, у 10 (52,6%) пациентов – титановые цилиндрические кейджи с аутокостью.

В качестве примера описанного тактического подхода приводим следующие клинические наблюдения.

Пациент Б. 34 лет был доставлен с места ДТП с диагнозом: сочетанная травма, компрессионный перелом тела ThXII, переломовывих тела ThXI позвонка (тип С по AOSpine) с ушибом и сдавлением спинного мозга; нижняя вялая параплегия, нарушение функции тазовых органов (неврологические расстройства

степени А по ASIA). Множественные переломы ребер слева с повреждением легкого. Гемопневмоторакс слева. Перелом поперечных отростков ThX-L1 слева (рис. 94).

Операция была выполнена на пятые сутки после компенсации состояния больного по поводу пневмогемоторакса. Выполнены репозиционно-стабилизирующий ТПО, ламинэктомия ThXII и частично ThXI. Деформация позвоночного канала полностью устранена (рис. 95).

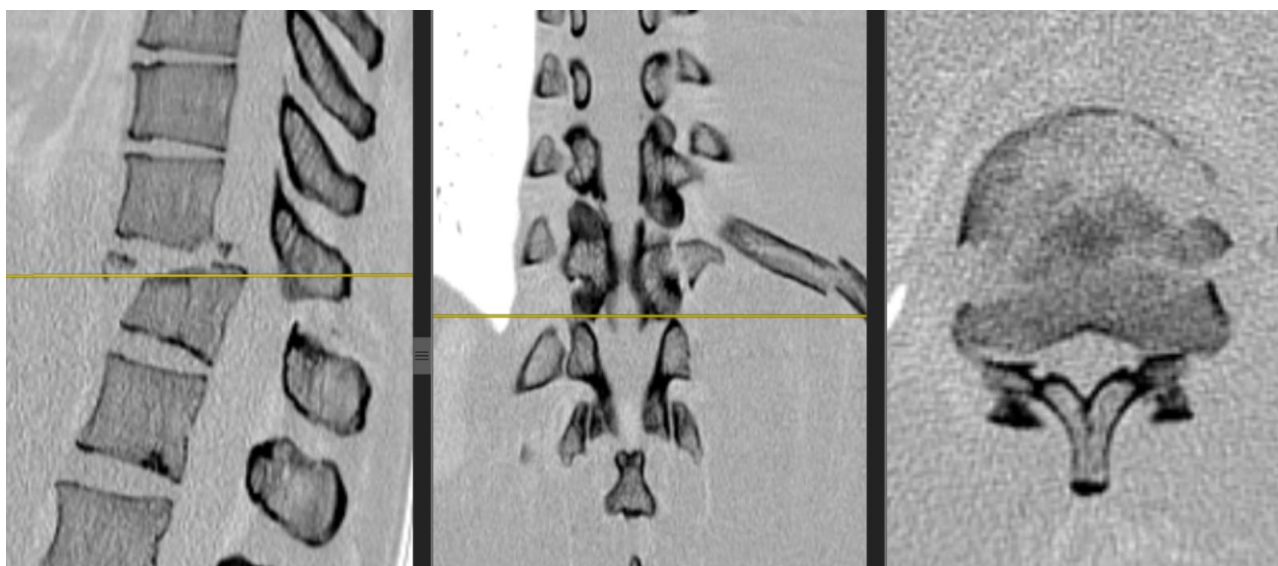


Рисунок 94 – СКТ пациента Б. при поступлении

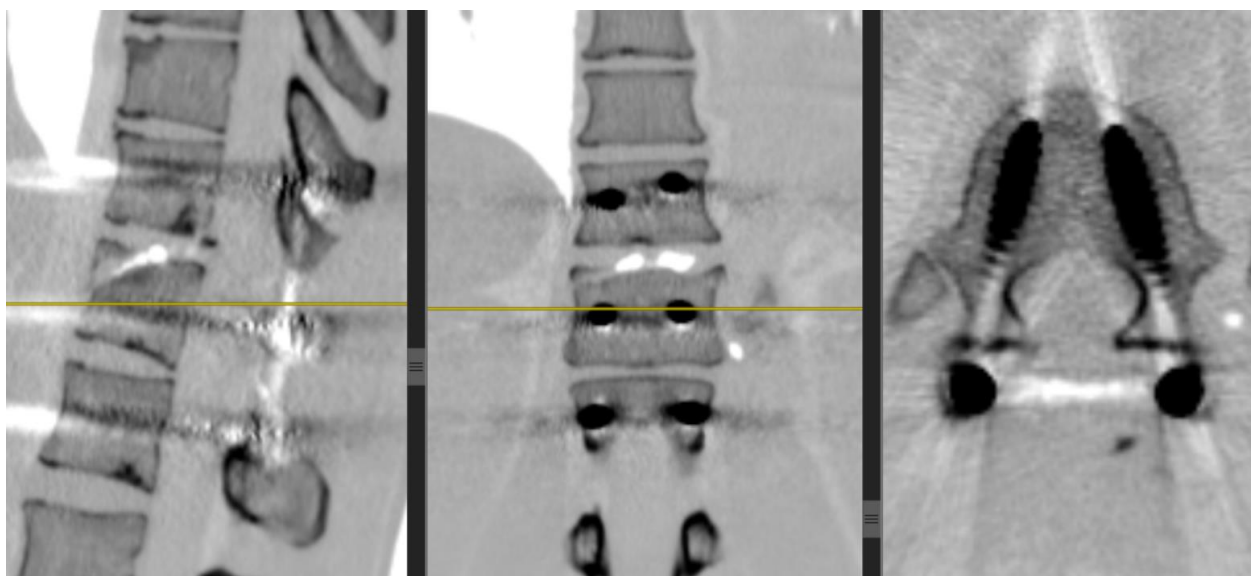


Рисунок 95 – СКТ пациента Б. после операции

В неврологическом статусе к году восстановилась глубокая и частично тактильная чувствительность (степень В по ASIA). Болевой синдром полностью регрессировал. При контрольном СКТ-исследовании: нарастания деформации нет (рис. 96, 97).

Передний спондилодез не выполняли.

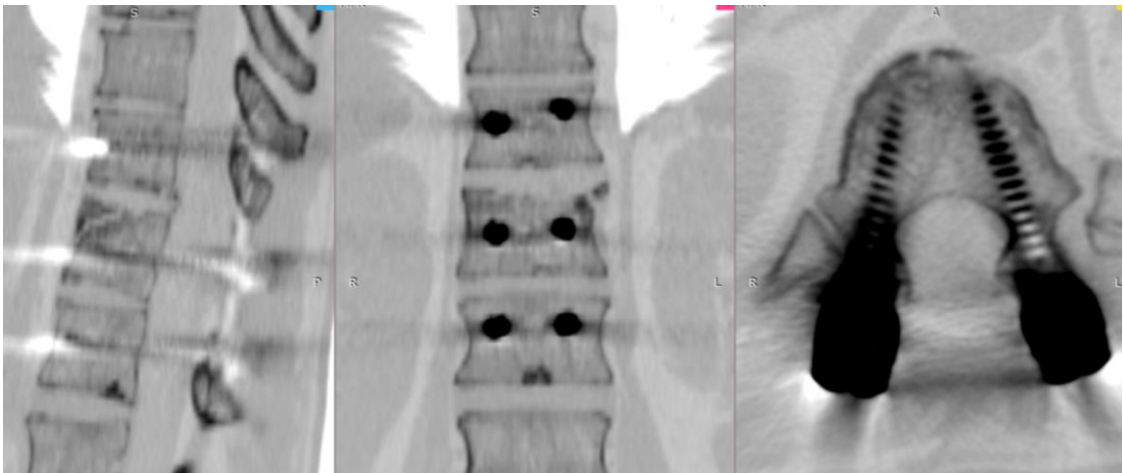


Рисунок 96 – СКТ пациента Б. через год после операции

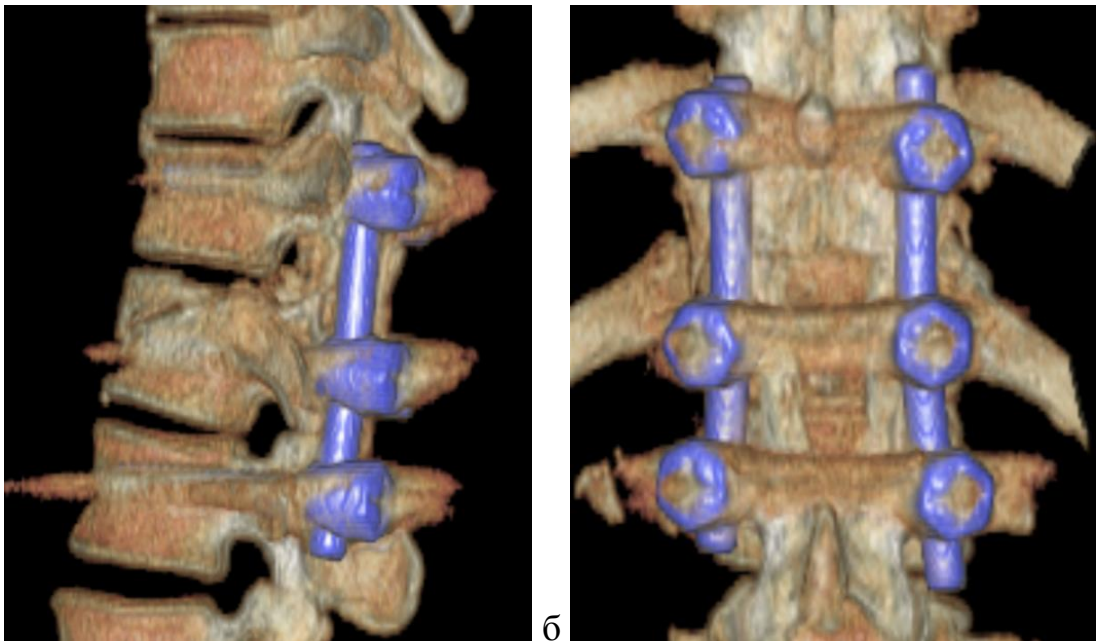


Рисунок 97 – 3D-изображение позвоночника пациента Б. через год после операции

### Клиническое наблюдение пациента Б.

Пациент Б. 25 лет получил травму на производстве при падении с высоты трех метров. При обследовании выявлен изолированный неосложненный перелом тела L1 позвонка (тип A3 по AOSpine) с дефицитом просвета позвоночного канала 43,2% (рис. 98).



Рисунок 98 – СКТ пациента Б. при поступлении

Ретроспективно, анализируя большой клинический материал с поведением внутриканальных костных фрагментов во время репозиции, отметили, что большое влияние на качество реформации позвоночного канала оказывает не только размер, но и положение костных фрагментов.

При угле разворота костного фрагмента относительно тела позвонка более 42,0 градусов, сместить фрагмент во время репозиции удавалось не более чем на 50,0% (рис. 99 а). Замечено также, что угол, образованный границами нижней кортикальной пластинки тела вышележащего позвонка и продолжением верхней кортикальной пластинки на костном фрагменте от поврежденного позвонка, во время репозиции практически не меняется (рис. 99 б, в). Увеличение данного угла может свидетельствовать о бесперспективности дальнейших репозиционных маневров.

Пациенту выполнен шестивинтовой репозиционно-стабилизирующий ТПО (рис. 100). Дефицит просвета позвоночного канала уменьшился до 11,2%. Проводя ретроспективный анализ переломов металлоконструкции, заметили, что переломы конструкции и нарастание деформации почти в 3 раза чаще возникают при недостаточном восстановлении высоты межтеловых промежутков и угла деформации. Этот факт навел на мысль о необходимости расчета и восстановления индивидуальной анатомии поврежденного сегмента позвоночника.

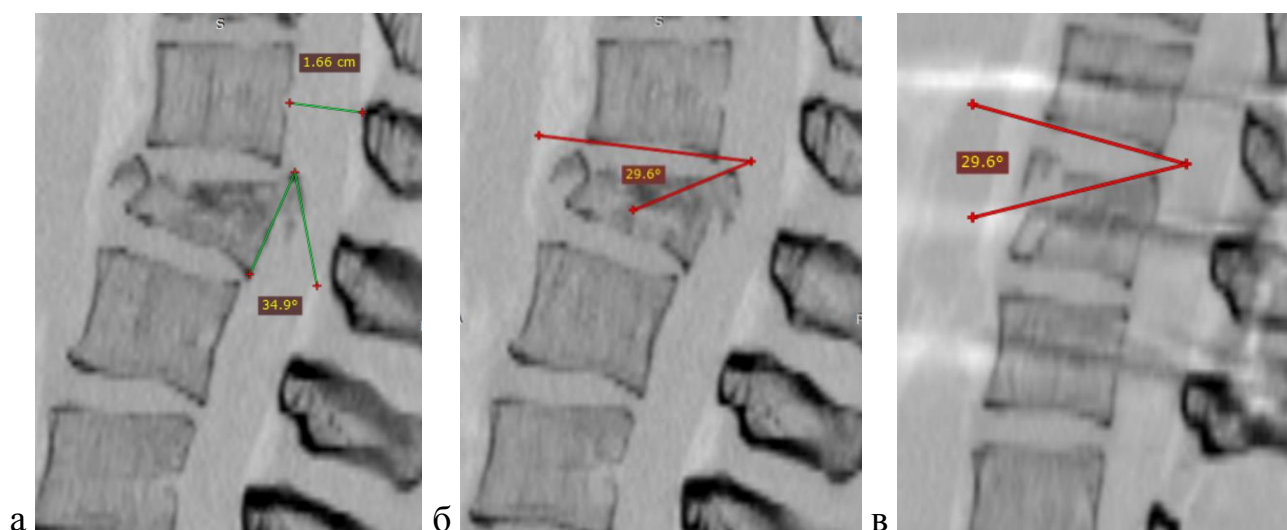


Рисунок 99 – СКТ пациента Б.: а – угол разворота костного фрагмента; б – угол между нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего позвонка и костным фрагментом до операции; в – после операции

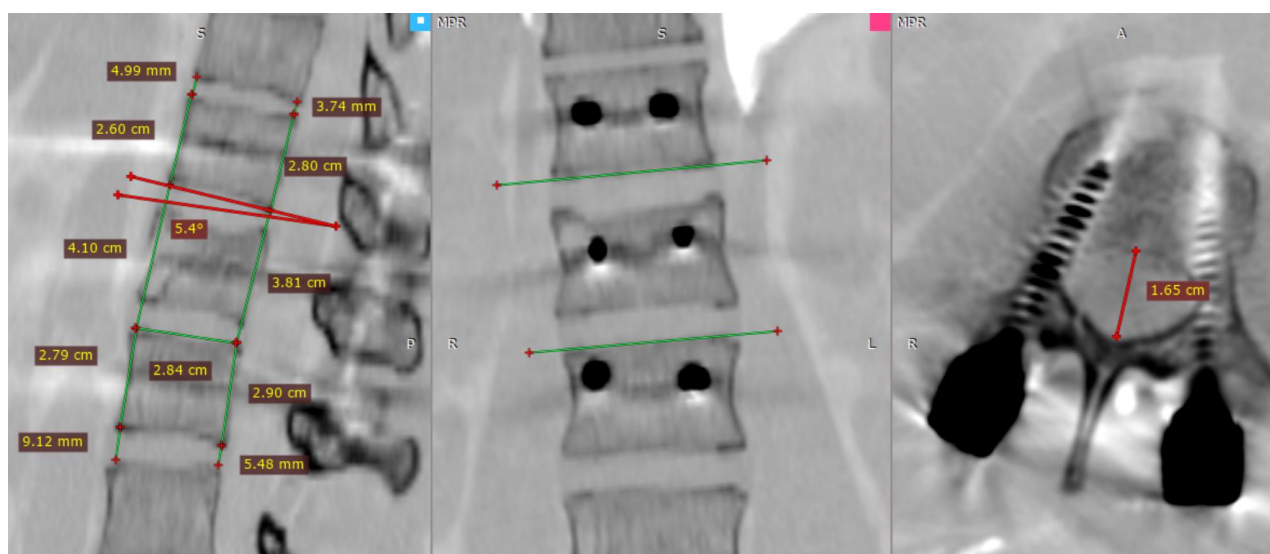


Рисунок 100 – Контрольное СКТ-исследование пациента Б. после операции

У данного пациента целевые показатели были восстановлены интуитивно. На контрольных СКТ через один и 2,5 года продемонстрировано данное подтверждение (рис. 101).

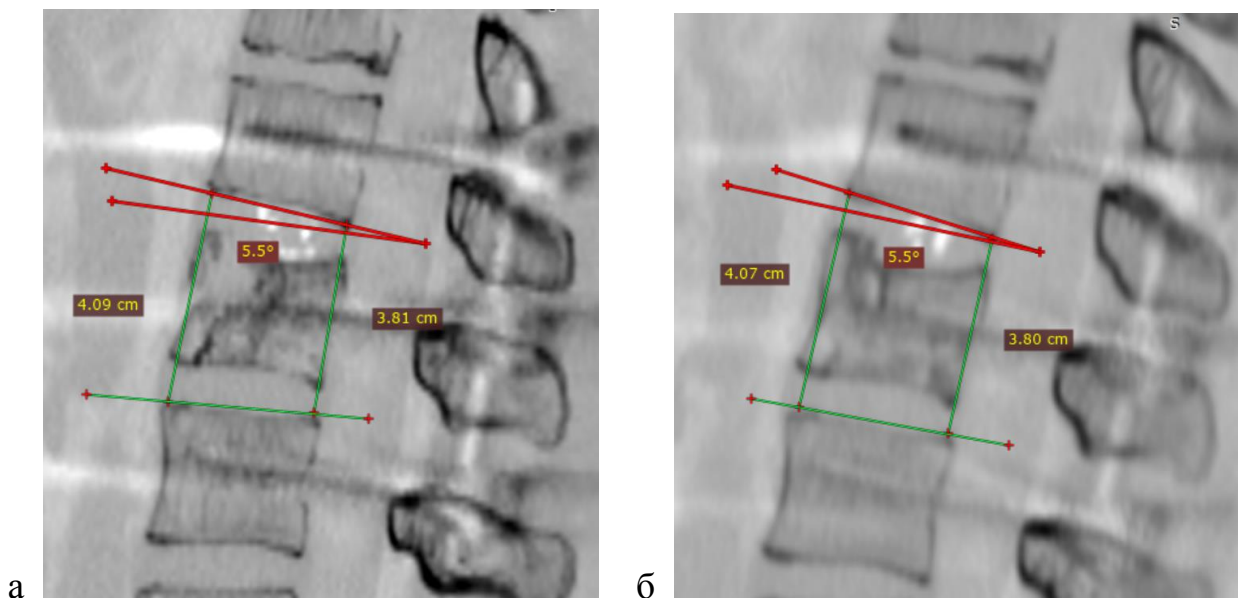


Рисунок 101 – Контрольное СКТ-исследование пациента Б. в сагиттальной проекции: а – через год после операции; б – через 2,5 года после операции

Клинический пример пациентки П. 36 лет, получившей в ДТП тяжелую сочетанную травму.

При обследовании выявлены нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом ThXII с вывихом тела ThXI позвонка (тип С по AOSpine), ушиб и сдавление спинного мозга. Нижняя вялая параплегия, гипестезия. Нарушение функции тазовых органов по типу задержки (степень В по ASIA). Переломы поперечных отростков и ребер ThIII-ThVII слева; переломы дужек, поперечных отростков и ребер ThXI, ThXII справа; переломы поперечных отростков LIII, LIV справа. Двусторонний гемопневмоторакс. Переломы крестца и лонных костей. ОЧМТ. Ушиб головного мозга средней тяжести. Пневмоцефалия (рис. 102).

Пациентка поступала в отделение реанимации. На стабилизацию состояния потребовалось 6 дней, после чего взята операция. Выполнены пятивинтовой ТПО на протяжении ThXI-LI, ламинэктомия ThXI, ThXII.



На операции с помощью репозиционной системы удалось устранить грубую деформацию позвоночника (рис. 103).

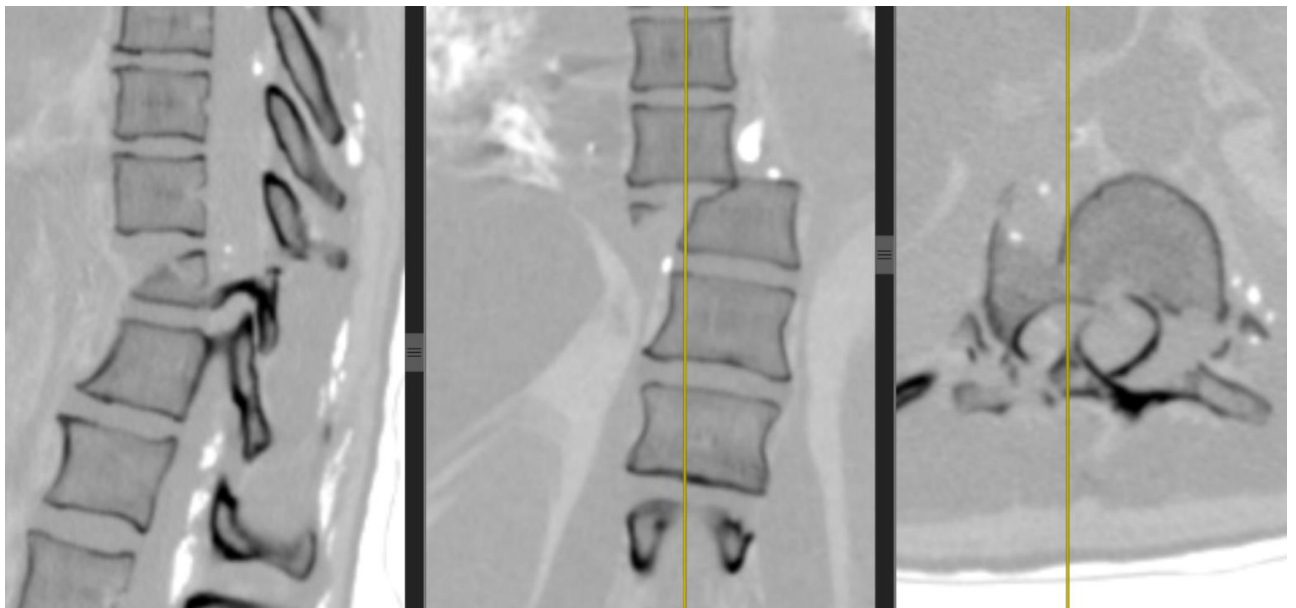


Рисунок 102 – СКТ пациентки П. перед операцией



Рисунок 103 – Контрольное СКТ-исследование больной П. после операции

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

Возможности применения репозиционной системы демонстрируем на клиническом примере пациентки В. 56 лет. Тяжелую сочетанную травму она

получила при падении с 5-го этажа во время обострения психического заболевания.

При обследовании выявлен ротационный переломовывих на уровне тела ThXI позвонка (тип С по AOSpine). Нижняя параплегия, анестезия. Нарушение функции тазовых органов по типу задержки (степень А по ASIA). Множественные переломы ребер с двусторонним гемотораксом. Перелом костей таза с разобщением тазового кольца. Перелом пяточных костей (рис. 104).

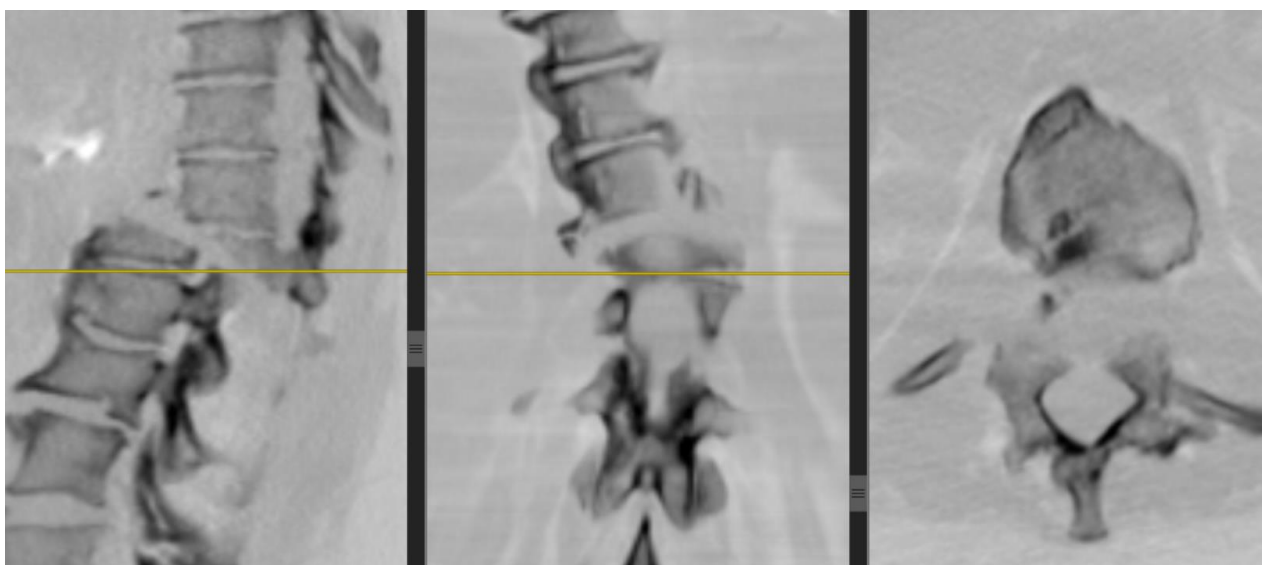


Рисунок 104 – СКТ-исследование пациентки В. перед операцией

Из приемного отделения пациентка помещена в отделение реанимации для восстановления жизненно важных функций. Сразу налажено дренирование плевральных полостей. На 4-е сутки возникло осложнение в виде ТЭЛА, в связи с чем операция была проведена только через месяц. Выполнено: репозиционный восьмивинтовой ТПО на протяжении ThIX-LI. Учитывая грубую деформацию позвоночника, репозиционную систему пришлось дважды перемонтировать. Первоначально тракция позвоночника производилась за винты в телах ThIX, LI, затем ThX, ThXII. Ламинэктомия ThXI, ThXII; ревизия эпи- и субдурального пространства. При ревизии была затруднена дифференцировка между фиброзной и остатками нервной тканей (рис. 105).

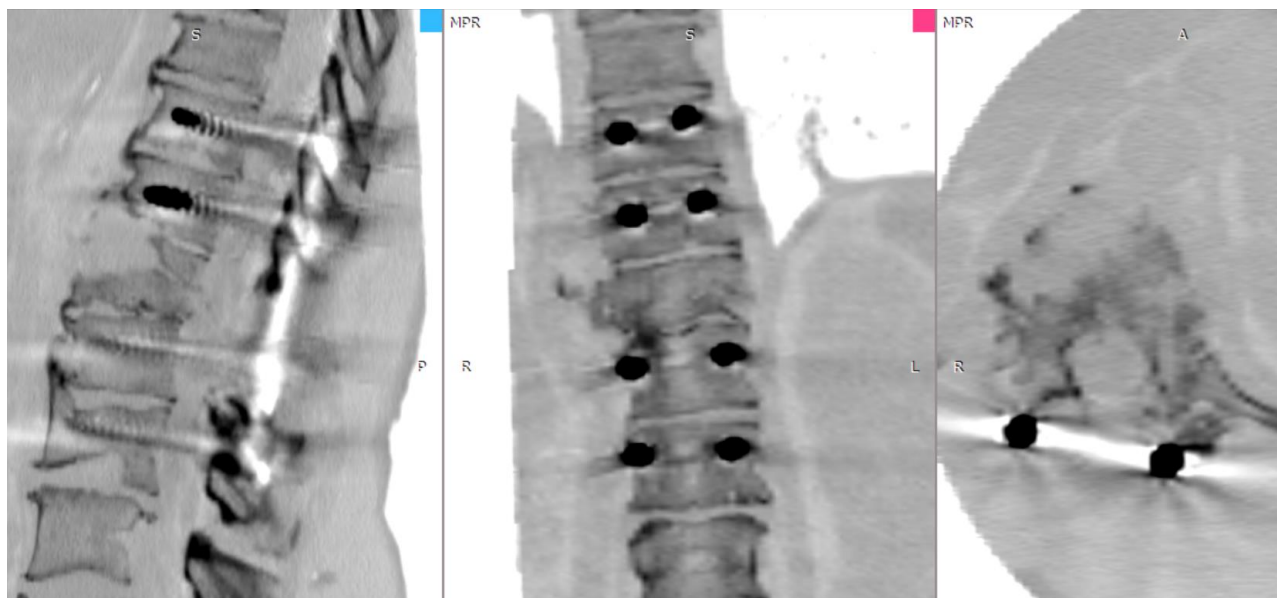


Рисунок 105 – Контрольное СКТ-исследование пациентки В. после операции

С помощью репозиционной системы полностью удалось восстановить поврежденный сегмент позвоночника в двух проекциях. К нашему удивлению началось восстановление неврологических нарушений. Через 2,5 месяца появилась чувствительность в виде гипостезии в ногах, а затем и первые движения. Через полгода пациентка смогла передвигаться по квартире с опорой на трость (степень С по ASIA). Через 2 года и месяц при повторном падении с 5-го этажа пациентка погибла, в связи с чем выбыла из нашего дальнейшего исследования.

Клинический пример пациента П. 24 лет, получившего сочетанную травму в ДТП. При обследовании выявлены нестабильный компрессионно-оскольчатый перелом ThX позвонка (тип С по AOSpine), тяжелый ушиб и сдавление спинного мозга. Нижняя вялая параплегия, анестезия. Нарушение функции тазовых органов по типу задержки (степень А по ASIA). Множественные переломы ребер с двух сторон. Двусторонний гемоторакс. ОЧМТ. Ушиб головного мозга со сдавлением острой субдуральной гематомой справа (рис. 106).



Рисунок 106 – СКТ пациента П. с переломом ThX при поступлении

Пациент поступал с нарушенным сознанием. В экстренном порядке была удалена субдуральная гематома, осуществлено дренирование плевральных полостей. К 10-му дню пациент начал пробуждаться, на 16-й день после травмы выполнена операция в объеме: репозиционный шестивинтовой ТПО на протяжении ThVIII-ThXI; ламинэктомия ThIX, ThX; ревизия эпи- и субдурального пространства с ушиванием дефекта ТМО (рис. 107).

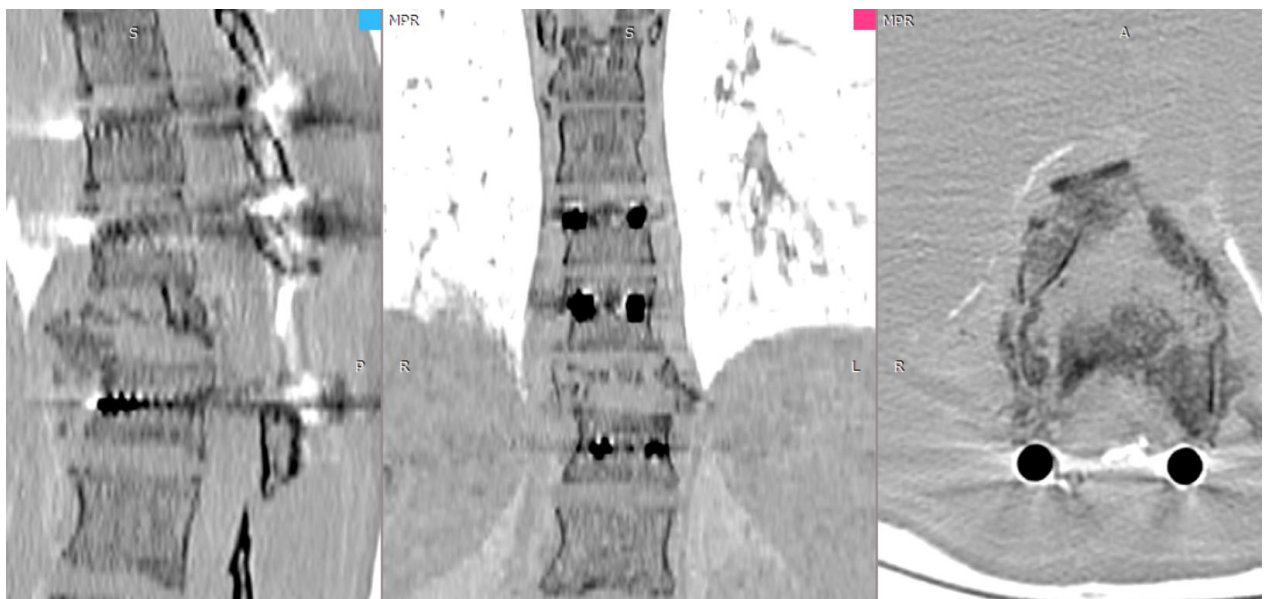


Рисунок 107 – Контрольное СКТ-исследование больного П. после операции

Через 3 месяца пациент поступил повторно в ясном сознании, появились глубокие виды чувствительности (степень В по ASIA). Пациенту выполнен ventральный этап операции. Из правостороннего торакотомного доступа удалены фрагменты дисков ThIX-ThX, ThX-ThXI, осуществлен межтеловой корпородез цилиндрическими кейджами с аутокостью (рис. 108, 109).

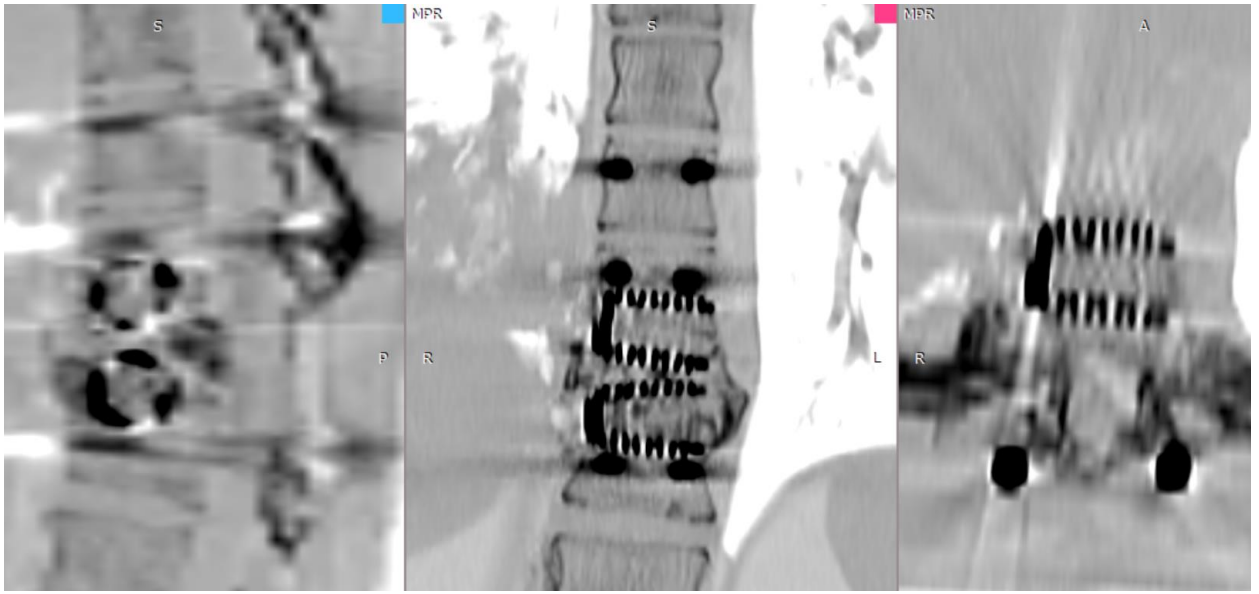


Рисунок 108 – СКТ пациента П. после ventрального этапа операции

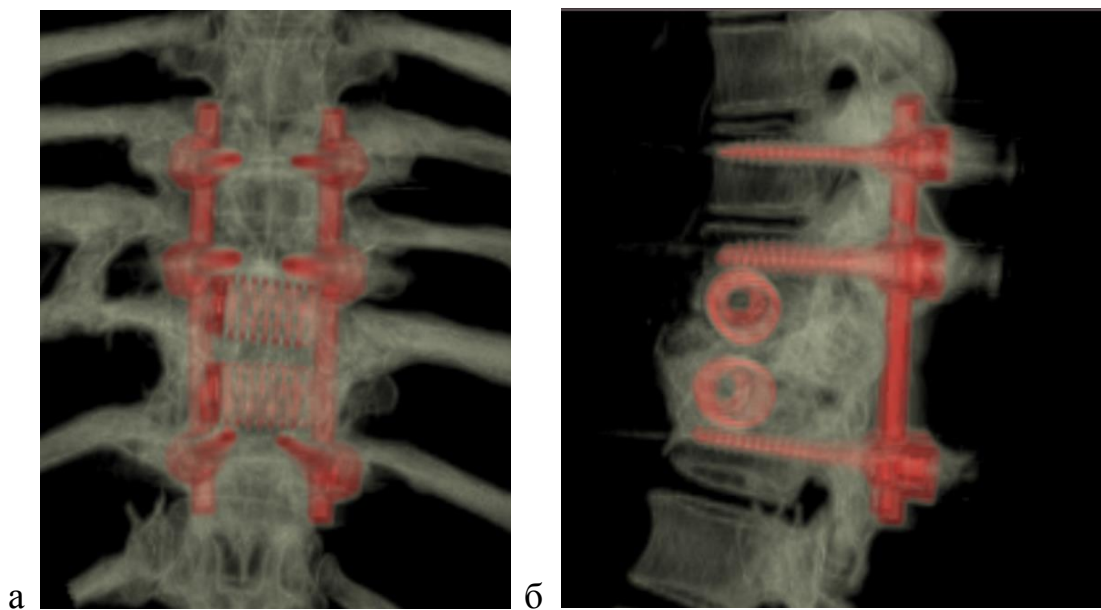


Рисунок 109 – 3D-изображение позвоночника пациента П. после ventрального этапа операции в прямой (а) и боковой (б) проекциях

В процессе дальнейшего наблюдения изменений в неврологическом статусе не было, и пациент остался с грубыми нарушениями степени В.

Клиническое наблюдение пациента 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. 110).



Рисунок 110 – СКТ больного П. после мультипланарной реконструкции при поступлении

На вторые сутки был переведен из ЦРБ, оперирован на третьи сутки с момента травмы.

На первом этапе были выполнены пятивинтовой ТПО, ламинэктомия LII и частично LI (рис. 111).



Рисунок 111 – СКТ больного П. после этапа операции с использованием заднего доступа

Через 5 месяцев больной поступил на вентральный этап операции. Вторым этапом пациенту из переднебокового внебрюшинного доступа была выполнена частичная резекция тела LII с замещением его цилиндрическим эндопротезом с аутокостью (рисунки 112, 113).

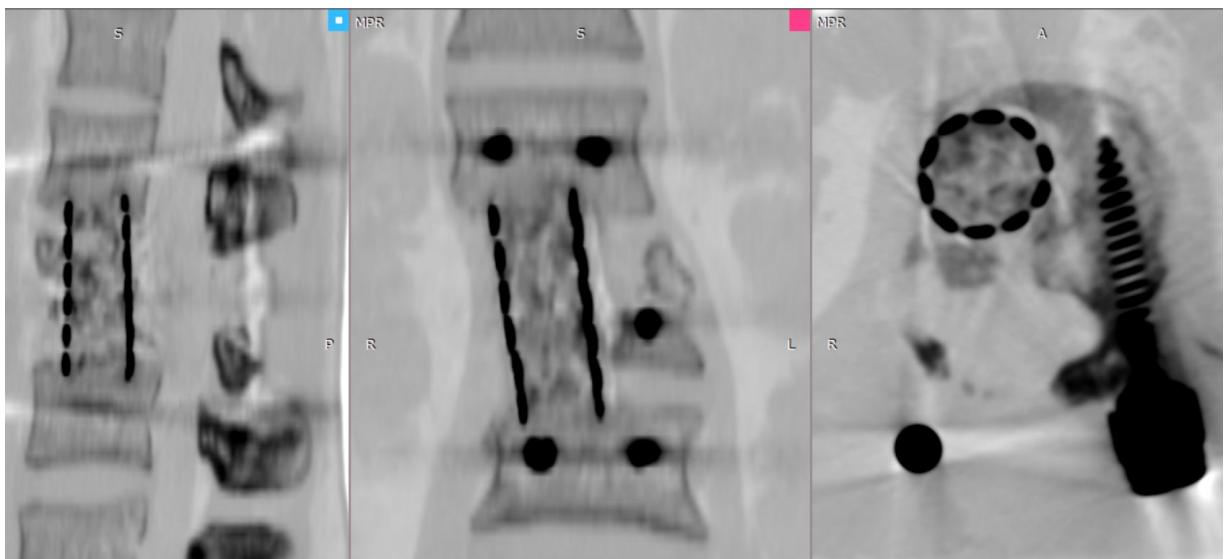


Рисунок 112 – Контрольное СКТ-исследование пациента П. после второго этапа операции

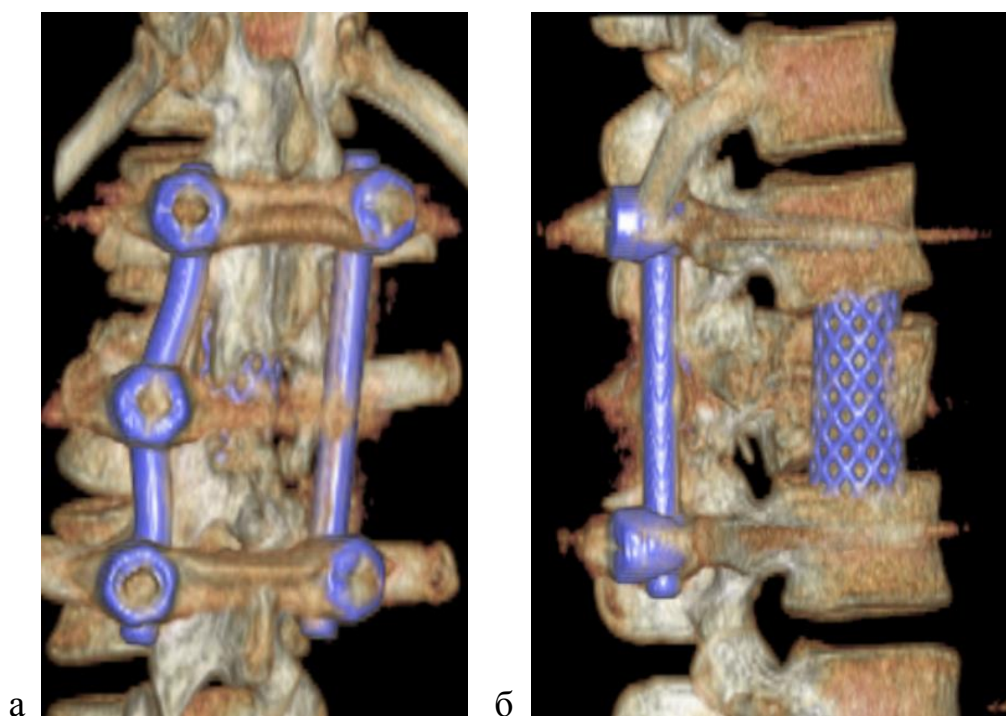


Рисунок 113 – 3D-изображение позвоночника пациента П. после второго этапа операции в прямой (а) и боковой (б) проекциях

В отдаленном периоде произошло восстановление неврологического статуса на одну степень. За счет проксимальной группы мышц бедра с опорой на ходунки пациент начал самостоятельно ходить, выработался автоматизм тазовых функций.

#### **6.4. Сравнительный анализ ближайших результатов лечения пациентов основной и контрольной групп с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

У всех оперированных нами больных для фиксации позвоночника использовали 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 больного.



Использование различных доступов определялось характером повреждений тела позвонка и наличием свободного костного отломка, не связанного с корнями дуг, в просвете позвоночного канала. При наличии связи костного отломка с корнями его дуги введение транспедикулярных винтов в сломанное тело и использование репозиционной системы позволяло устранять как переднюю форму сдавления спинного мозга, так и форму и размеры поврежденного тела позвонка.

Большая часть операций (188 или 87,0%) выполнялась только из дорсального доступа. Малая доля двухэтапных оперативных вмешательств объясняется устранением компрессии спинного мозга и восстановлением опороспособности позвоночника на первом этапе, а также отказом больных от второго этапа лечения в связи с их субъективно хорошим самочувствием.

В двух группах у 100,0% больных были изучены ближайшие результаты лечения в срок до 6 месяцев с момента завершения хирургического лечения.

Результаты оценки болевого синдрома по ВАШ представлены на рисунке 114. Средний балл по ВАШ в основной группе –  $1,8 \pm 0,3$ , в контрольной –  $2,5 \pm 0,5$ .

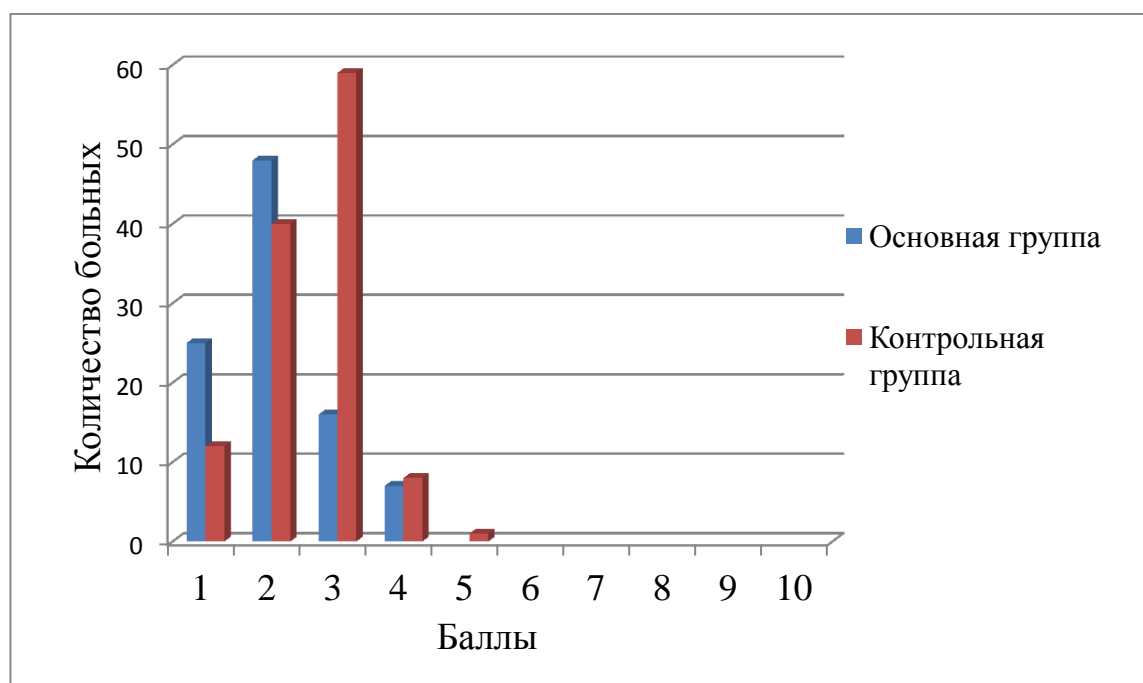


Рисунок 114 – Интенсивность болевого синдрома по ВАШ после операции

Выраженность болевого синдрома у пациентов основной группы была достоверно ниже по сравнению с контрольной группой ( $p=0,027$ ).

Сравнение эффективности лечения пациентов основной и контрольной групп по продолжительности операции и объему интраоперационной кровопотери представлено в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнение длительности операции и объема кровопотери в основной и контрольной группах

Показатель	Основная группа (n=85)	Контрольная группа (n=101)	Значение вероятност и (p)	Достоверность различий
Длительность операции, мин.	132,4±11,9	160,4±12,8	0,041	$p<0,05$
Объем интраоперационной кровопотери, мл	276,0±21,3	452,1±38,2	0,003	$p<0,05$

В исследовании учитывался только первый этап оперативного лечения. За счет предложенных методик в основной группе средняя продолжительность операции была на 28 минут меньше и составила 132,4±11,9 минут, в контрольной – 160,4±12,8 минут ( $p=0,041$ ). Средний объем интраоперационной кровопотери в основной группе был существенно меньше – 276,0±21,3 мл, против 452,1±38,2 мл ( $p=0,003$ ). Как длительность операции, так и объем интраоперационной кровопотери были статистически значимо меньше в основной группе.

Эффективность проводимой репозиции оценивали по дистракции межтеловых промежутков и сегментарному углу. Если в основной группе мы старались интраоперационно достичь размеров рассчитанных параметров, то в контрольной группе это делали ретроспективно по дооперационным и контрольным СКТ. На эффективность закрытой декомпрессии влияли размеры межтеловых промежутков. Передние размеры межтеловых промежутков мы обозначили как  $M_{та}$ , задние –  $M_{тп}$ . Восстановление передних и задних вертикальных размеров вентральной остеолигаментарной колонны происходило в двух группах. Качество

проведенной декомпрессии дурального мешка оценивали по величине оставшегося стеноза по КТ после хирургического лечения. У пациентов, в лечении которых применялась ламинэктомия, качество декомпрессии определяли по величине остаточных дислокаций фрагментов сломанного тела позвонка в просвет позвоночного канала (X). В основной и контрольной группах была выявлена остаточная дислокация костных фрагментов на  $2,7 \pm 0,3$  и  $3,9 \pm 0,4$  мм соответственно. Величина этих дислокаций соизмерима, и ее сопоставление с исходными спондилометрическими параметрами травматического стеноза являлось определяющей для оценки эффективности не прямой репозиционной декомпрессии. Дефицит просвета позвоночного канала после операции сравнивался только у пациентов без ламинэктомии (46 – в основной и 58 – в контрольной группах), а величина дислокации фрагментов сломанного позвонка (X) сравнивалась у всех больных. В основной группе дефицит просвета позвоночного канала составил  $12,8 \pm 2,3\%$ , а в контрольной –  $15,1 \pm 2,4\%$ . На дефицит просвета позвоночного канала, остаточную величину смещения костных фрагментов и на восстановление высоты тела позвонка влияла дистракция межтеловых промежутков. В основной группе передние межтеловые промежутки (Mta) после операции составили  $98,6 \pm 2,1\%$ , а задние (Mtp) –  $99,5 \pm 1,1\%$  от рассчитанных размеров. Это способствовало не только выполнению закрытой декомпрессии позвоночного канала, но и максимальному восстановлению вертикальных размеров тела поврежденного позвонка. В основной группе передняя высота тела позвонка была восстановлена на  $37,6\%$  – до  $95,2 \pm 4,1\%$ , задняя восстановлена на  $7,3\%$  – до  $98,6 \pm 2,2\%$ . В контрольной группе ретроспективно выяснили, что передняя высота была восстановлена на  $33,6\%$  – до  $91,8 \pm 4,2\%$ , а задняя – на  $4,8\%$  – до  $96,5 \pm 2,8\%$  (табл. 21).

В процессе оперативного лечения угол сегментарной деформации был исправлен в основной группе на  $16,9 \pm 2,3$  градусов, а в контрольной группе – на  $14,1 \pm 2,8$  градусов. Учитывая большое индивидуальное многообразие углов деформации в тех же сегментах здорового позвоночника, сравнивать только угол устраненной деформации будет не совсем правильным. В контрольных исследо-

ваниях при сравнении нас будет интересовать приближение достигнутого в результате репозиции угла к рассчитанному углу ( $\Delta\alpha$ ). При целенаправленном стремлении к восстановлению угла деформации разница с рассчитанным углом в основной группе составила  $2,1\pm 0,9$  градуса. В контрольной группе разница составила  $5,8\pm 2,1$  градуса.

Таблица 21 – Параметры сравнения ближайших результатов лечения в основной и контрольной группах

Параметры	Основная группа (n=96)	Контрольная группа (n=120)	Значение вероятности (p)	Достоверность различий
ВАШ, баллы	$1,8\pm 0,2$	$2,5\pm 0,3$	0,027	$p<0,05$
Дефицит просвета позвоночного канала, %	$12,8\pm 2,3$	$15,1\pm 2,4$	0,045	$p<0,05$
Смещение фрагментов в просвет – X, мм	$2,7\pm 0,3$	$3,9\pm 0,4$	0,005	$p<0,05$
Передняя высота тела позвонка, %	$95,2\pm 4,1$	$91,8\pm 4,2$	0,015	$p<0,05$
Задняя высота тела позвонка, %	$98,6\pm 2,2$	$96,5\pm 2,8$	0,046	$p<0,05$
Mta, мм	$98,6\pm 2,1$	$92,8\pm 2,2$	0,000	$p<0,05$
Mtp, мм	$99,5\pm 1,1$	$95,9\pm 3,1$	0,001	$p<0,05$
$\Delta\alpha$ , град.	$2,1\pm 0,9$	$5,8\pm 2,1$	0,000	$p<0,05$

Высокая клиническая эффективность усовершенствованного способа репозиционной декомпрессии позвоночного канала при проведении ТПФ с предоперационным планированием подтверждалась тем, что необходимость в выполнении вентрального этапа хирургического лечения была минимальной.

Восстановление утраченных неврологических функций в большей степени зависело от исходной тяжести повреждения спинного мозга. Динамика неврологических нарушений по шкале ASIA через 3 месяца представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Динамика неврологических нарушений по шкале ASIA  
в ближайшем периоде

Группы сравнения		А	В	С	Д	Е
Основная группа	До операции	13	8	29	28	18
	После операции	13	7	22	29	25
Контрольная группа	До операции	18	7	33	36	26
	После операции	17	8	28	35	32

В основной группе степень А осталась без динамики, один пациент из степени В перешел в степень С, из степени С 8 пациентов восстановились до степени Д, а из степени Д перешли в степень Е 7 пациентов. Близкая картина наблюдалась и в контрольной группе: из степени А один пациент перешел в степень В, из степени В никто не переходил, из степени С переместились в степень Д 5 пациентов, у 6 больных со степенью Д полностью регрессировали неврологические нарушения.

### **6.5 Сравнительный анализ отдаленных результатов лечения пациентов основной и контрольной групп с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов**

Отдаленные результаты лечения изучались в период от 12 месяцев до 20 лет. Средний срок контрольного обследования пациентов этой группы составил  $28,5 \pm 3,2$  месяцев после операции. В указанный период времени удалось проследить результаты лечения у 109 из 216 больных, что составило 50,5% от общего количества пациентов во всех группах. Оценка отдаленных результатов проводилась по таким же клинико-рентгенологическим критериям, как и для ближайших результатов. При этом несколько большее внимание уделяли параметрам, характеризующим стабильность фиксации поврежденных ПДС и регресс неврологических нарушений у больных с ПСМТ.

Отдаленные результаты лечения в основной группе были прослежены у 54 (56,2%) пациентов, в контрольной – у 55 (45,8%). Оценка боли по ВАШ показала добавление разницы в баллах между группами в отдаленном периоде наблюдения (рис. 115). Средний балл в основной группе –  $1,3 \pm 0,2$ , в контрольной –  $2,3 \pm 0,3$  ( $p=0,012$ ).

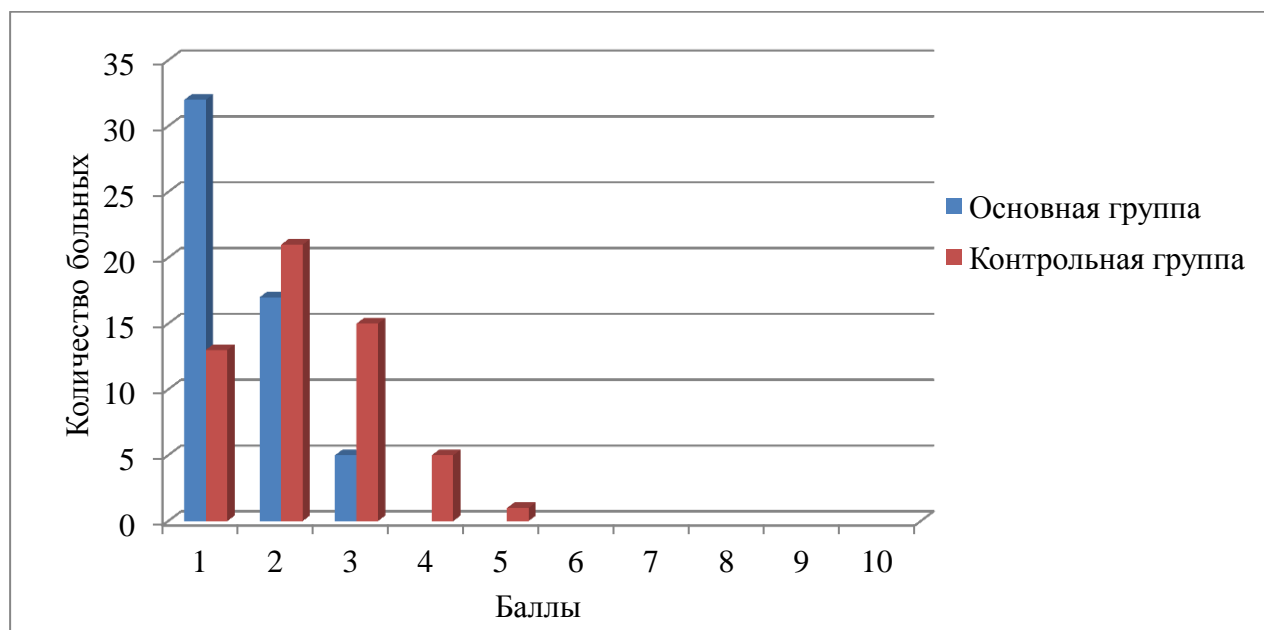


Рисунок 115 – Интенсивность болевого синдрома по ВАШ в отдаленном периоде

В отдаленном периоде наблюдалось изменение морфометрических параметров в двух группах. Размеры передних межтеловых промежутков уменьшились в основной группе на 2,5%, задних – на 1,3%. В контрольной группе размеры уменьшились на 3,4% и 2,2% соответственно. Уменьшение промежутков 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 этого, у 2 пациентов основной и 7 пациентов контрольной группы в связи с дестабилизацией металлоконструкции (перелом винтов или штанг, раскручивание гаек) достигнутые размеры межтеловых промежутков уменьшились в среднем на 1/3 от репонируемого положения. Вместе с размерами межтеловых промежутков уменьшалась и высота тела позвонка. Передняя высота тела позвонка в основной группе снизилась до

94,5±0,9%, задняя – до 97,8±0,8%, в контрольной группе соответственно до 90,1±1,2% и 96,1±0,7%. Задняя высота тела позвонка в отдаленном периоде статистически не отличалась в основной и контрольной группах (p=0,346). Смещение фрагментов в просвет позвоночного канала (X) уменьшилось и почти сравнялось в двух группах. Происходил процесс ремоделирования позвоночного канала. По нашим наблюдениям, в первый год значение X уменьшалось в среднем на 2 мм. Уменьшился и дефицит просвета позвоночного канала. Достоверной разницы в дефиците просвета позвоночного канала в отдаленном периоде мы не выявили (p=0,630). Угол сегментарной деформации увеличился. Потеря достигнутой коррекции в основной группе составила 2,1±1,1 градуса от исправленной на 16,9±2,3 градуса во время операции, в контрольной группе – 3,8±1,3 градуса от исправленной на 14,1±2,8 градуса. Угол сегментарной деформации отличается в основной группе с рассчитанным углом на 4,2±0,8 градуса, в контрольной группе на 9,6±0,9 градуса (табл. 23).

Таблица 23 – Параметры сравнения отдаленных результатов лечения в основной и контрольной группах

Параметры	Основная группа (n=54)	Контрольная группа (n=55)	Значение вероятности (p)	Достоверность различий
ВАШ, баллы	1,3±0,2	2,3±0,3	0,012	p<0,05
Дефицит просвета позвоночного канала, %	11,8±0,8	12,1±1,1	0,630	p>0,05
Смещение фрагментов в просвет – X, мм	2,2±0,2	2,9±0,2	0,036	p<0,05
Передняя высота тела позвонка, %	94,5±0,9	90,1± 1,2	0,028	p<0,05
Задняя высота тела позвонка, %	97,8±0,8	96,1±0,7	0,346	p>0,05
Mta, мм	96,1±1,2	89,5±1,3	0,014	p<0,05
Mtp, мм	98,2±0,7	93,7±1,2	0,001	p<0,05
Δα, град.	4,2±0,8	9,6±0,9	0,000	p<0,05

Картина неврологических нарушений в ближайшем и отдаленном периодах наблюдения представлена в таблице 24.

Таблица 24 – Неврологические нарушения по шкале ASIA в ближайшем и отдаленном периодах

Группы сравнения	Периоды обследования	A	B	C	D	E
Основная группа	Ближайший	13	7	22	29	25
	Отдаленный	2	1	15	16	20
Контрольная группа	Ближайший	17	8	28	35	32
	Отдаленный	1	1	16	20	17

Сравнение отдаленных исходов лечения для оценки боли, экономического и функционального статуса по шкале R.G. Watkins представлено в таблице 25 (приложение Д). В абсолютных числах больше отличных и меньше плохих результатов лечения отмечено в основной группе. Отличных исходов лечения было получено достоверно больше в основной группе ( $p=0,04$ ), но хорошие ( $p=0,14$ ) и плохие ( $p=0,17$ ) результаты лечения статистически значимо не отличались.

Таблица 25 – Отдаленные исходы лечения по шкале R.G. Watkins

Исход лечения	Основная группа n=54	Контрольная группа n=55	Значение $\chi^2$	Значение P
Отличный	32 (59,3%)	22 (40,0%)	4,041	0,04
Хороший	21 (38,9%)	29 (52,7%)	2,104	0,14
Плохой	1 (1,8%)	4 (7,3%)	1,829	0,17

Показатели качества жизни пациентов в основной и контрольной группах оценены по опроснику MOS SF-36 (табл. 26).



Таблица 26 – Показатели качества жизни по шкале MOS SF- 36 в основной и контрольной группах

Разделы шкалы SF-36	Основная группа n=54	Контрольная группа n=55	Значение вероятности (p)	Достоверность различий
Физическая активность (PF)	55,5±9,9	52,2±12,2	0,208	p>0,05
Роль физических проблем в ограничении жизнедеятельности (RP)	48,8±8,4	44,4±9,1	0,362	p>0,05
Физическая боль (P)	32,2±6,6	35,1±7,8	0,450	p>0,05
Общее восприятие здоровья (GH)	58,8±6,5	63,8±6,1	0,258	p>0,05
Жизнеспособность (VT)	53,9±5,7	56,7±5,4	0,380	p>0,05
Социальная активность (SF)	48,6±7,6	47,2±8,1	0,462	p>0,05
Роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности (RE)	55,1±11,2	55,5±11,1	0,842	p>0,05
Психологическое здоровье (MH)	47,6±5,7	44±7,4	0,672	p>0,05

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 больных с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов и определение мер по их профилактике и лечению**

У 22 (10,2%) оперированных больных выявлены осложнения, связанные с ошибками при выполнении транспедикулярного остеосинтеза: в 9 (4,2%) случаях – переломы металлоконструкции; в 3 (1,3%) – проведение винтов мимо анатомических ориентиров; по 3 (1,3%) случая – прорезание винтов и миграция элементов конструкции; в 3 (1,3%) – воспалительный процесс в глубоких тканях раны; у 1 (0,5%) пациента образовался ликворный свищ. В осложнения не включались воспалительные изменения в поверхностных тканях, как не повлиявшие на фиксацию, проведение реабилитации и результаты лечения. Осложнения в основной группе выявлены у 5 больных, что составило 22,7% от всех осложнений. Статистически чаще осложнения случались в контрольной группе (значение  $\chi^2$  – 4,678, значение  $P$  – 0,030). В двух случаях были переломы металлоконструкции, по одному случаю – прорезание винтов в теле вышележащего позвонка и миграция штанги, в одном случае развился воспалительный процесс в глубоких тканях раны.

Самыми частыми осложнениями были переломы и миграция металлоконструкции, которые были выявлены в среднем через  $28,2 \pm 4,5$  месяцев после операции. Средний возраст 9 пациентов (4 женщины и 5 мужчин) с переломами металлоконструкции составил  $32,1 \pm 3,5$  лет. В 7 из 9 случаев у данных пациентов при поступлении были диагностированы сочетанные повреждения. Переломы металлоконструкции были выявлены в грудопоясничном переходе и поясничном отделе позвоночника. Осложнения выявлялись при контрольных исследованиях и клинически сопровождалась у 6 пациентов дискомфортом в месте операции. Только у 3 пациентов были жалобы на локальные боли в области раны. Переломы металлоконструкции происходили при переломах типов А3, А4 у 5 больных и у 4 больных при переломах типов В1–С. Возможно, этому послужило отсутствие вентрального этапа хирургического лечения, от которого воздержались пациенты.

Но у 2 пациентов переломы произошли и при двухэтапном лечении. По локализации повреждений переломы распределились следующим образом: переломы LI позвонка – у 4; LII – у 1; вывих в сегменте LI-LII – у 1 пациента; вывих LII-LIII – у 2; вывих LIV-LV – у 1 (табл. 27). Выше ThXII позвонка переломов металлоконструкции не отмечалось.

Таблица 27 – Анализ пациентов с переломами металлоконструкции

Пол/ возраст	Тип перелома по АО	Локализация	ASIA	Операция	Осложнение	Выявление перелома/ месяцев
М/20	B2	LII-LIII	C	6 винтов; ламинэктомия	Перелом винта в LIV справа	36
Ж/27	A4	LI	D	6 винтов	Сломались штанги – слева над LII, справа под ThXII	24
М/58	A4	LI	C	2 винта справа и 3 слева; ламинэктомия	Перелом винта в LII слева	48
М/24	A4	LI	D	6 винтов	Перелом винта в LII слева	18
М/28	C	LII-LIII	C	6 винтов; ламинэктомия; корпорорез	Перелом винта в LII справа	30
Ж/25	A3	LI	D	4 винта	Перелом винта в LII слева	19
Ж/35	C	LI-LII	D	6 винтов	Перелом винтов в LI справа и LII слева	18
Ж/21	B3	LIV-LV	D	4 винта; ламинэктомия; корпорорез	Сломались винты в SI	36
М/50	A4	LII	C	6 винтов; ламинэктомия	Перелом штанг над винтами в LIII	25

Не найдено зависимости между временем, прошедшим с момента травмы до операции, и переломом конструкции. Осложнения выявлены у физически более активных пациентов без грубых нарушений неврологического статуса. По шкале ASIA переломы металлоконструкции были: тип С – у 3; тип D – у 6 пациентов. Причиной травмы у 7 пациентов было падение с высоты и у 2 – ДТП. Сочетанные повреждения чаще возникали при падении с высоты.

Ламинэктомия не всегда способствовала переломам металлоконструкции и была выполнена только у 5 больных. При переломах типов А3 и А4 тело позвонка разрушалось в большей степени. Размеры передней стенки поврежденного позвонка перед операцией при повреждениях А3 и А4 составили в среднем  $46,5 \pm 3,4\%$ , задней –  $86,2 \pm 2,8\%$ ; при повреждениях типов В1–С, размеры передней стенки составляли –  $68,3 \pm 2,6\%$ , задней –  $95,8 \pm 1,6\%$ .

Во время операции передние межтеловые промежутки были разведены до  $94 \pm 2,1\%$ , а задние – до  $97,6 \pm 0,9\%$  от рассчитанных для восстановления исходной анатомии. После операции передние размеры тела позвонка у данных больных были восстановлены при повреждениях типа А3 и А4 до  $89,7 \pm 2,2\%$ , а при повреждениях типа В1–С1 – до  $90,6 \pm 2,1\%$ . Задние размеры тел позвонков были восстановлены при типах повреждения А3 и А4 до  $96,6 \pm 0,5\%$ , а при типах повреждений В1–С1 – до  $98,1 \pm 0,6\%$ . Угол кифотической деформации был исправлен на  $12,2 \pm 1,2$  градуса. Сколиотическая деформация исправлена в среднем на  $3,9 \pm 0,9$  градуса.

Переломы продольных штанг наблюдались несколько реже, чем винтов, и составили  $33,3\%$  от всех переломов металлоконструкций. Подобно винтам, штанги ломались в местах максимального напряжения, а именно недалеко от узла фиксации с винтом. При повреждении позвонков от ThXII до LIII одинаково часто ломались элементы конструкции как краниально, так и каудально; при повреждении LIV, LV позвонков ломались только каудальные элементы конструкции. После перелома металлоконструкции потеря коррекции кифотической деформации составила  $5,8 \pm 1,2$  градуса, а сколиотической –  $1,1 \pm 0,3$  градуса.

У 3 (1,3%) пациентов мы наблюдали смещение верхних винтов и миграцию их в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка. В одном случае через 6 месяцев после операции была выявлена резорбция костной ткани вокруг верхних винтов и смещение их под верхнюю кортикальную пластинку. Клинически это проявлялось нестабильностью в сегменте с увеличением кифотической деформации на 8,1 градуса. Пациенту вторым этапом выполнен межтеловой корпорорез цилиндрическим кейджем с аутокостью, от которого он первоначально воздерживался. У двух пациенток 62 и 67 лет при контрольном исследовании через год было выявлено смещение верхних винтов в сторону межпозвонкового диска. Связано это было с исходным снижением минеральной плотности костной ткани. Учитывая отсутствие у больных локальных болей и тип D неврологического статуса, от повторных вмешательств они воздержались.

Проведение винтов мимо анатомических ориентиров было отмечено у 3 (1,3%) больных контрольной группы на среднегрудном отделе позвоночника. Это были пациенты с неврологическим статусом типов А и В. Мы связали мальпозицию винтов с первоначальной грубой деформацией позвоночника. Винты в одном случае прошли над корнем дуги и в двух случаях – латерально, что привело к нарушению стабильности фиксации. Данное расположение винтов было выявлено при выполнении послеоперационного СКТ-контроля, и в ближайшие дни пациенты были реоперированы.

Недостаточно прочное затягивание гайки, прилегание штанги не под прямым углом к винту приводят к неполноценной фиксации штанги и ее последующей миграции. В нашем исследовании это наблюдалось у 3 (1,1%) человек при повреждениях на уровне LI и LII в сроки от 8 месяцев до 1,5 лет. Как и при переломах металлоконструкции, при миграции штанги у всех пациентов были жалобы на локальные боли в области операции. В двух случаях штанга мигрировала краниально и в одном – каудально. После выявления данного осложнения все три пациента были реоперированы.

Воспалительный процесс в глубоких тканях развился через 7 и более месяцев после операции у 3 (1,3%) больных. Предпосылками послужили

социальный статус и нарушение ортопедического режима, а также нарушения в иммунной системе при туберкулезе и ВИЧ. В связи с отсутствием эффекта консервативных методов лечения конструкция у всех пациентов была удалена. В одном (0,4%) наблюдении после операции открылся ликворный свищ. Данное осложнение возникло в результате ранения твердой мозговой оболочки костным фрагментом по переднебоковой поверхности. В момент операции признаков ликвореи не было, и дефект не был выявлен. Признаки ликвореи появились через 2 недели, что потребовало повторной операции с герметизацией ТМО.

Таким образом, при лечении больных с ПСМТ не удалось избежать развития различных осложнений, из которых абсолютное число связано с техническими ошибками. Все осложнения стационарного периода были пролечены, что не повлияло на окончательный исход лечения, а только удлинило его сроки. Комплексная система профилактики неудовлетворительных исходов и оптимизация предоперационного этапа позволят уменьшить количество осложнений и улучшить результаты лечения пациентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации цели и задач диссертационной работы были запланированы и выполнены морфометрическое, экспериментальное и клиническое исследования. Анализ проблемы лечения позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов показывает актуальность дальнейших исследований по ряду направлений. Поэтому диссертационная работа представляет собой совокупность трех взаимосвязанных частей, объединенные одной указанной выше целью.

При решении первой из поставленных задачи был выполнен анализ профильных научных публикаций, посвященных морфометрии грудного и поясничного отделов позвоночника. Важным этапом хирургического лечения для устранения посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов является репозиция позвоночника с коррекцией деформации. Для этого необходимы хорошие знания анатомии, морфологии и биомеханики позвоночника. В отличие от дегенеративных деформаций позвоночника, посттравматические деформации представляют собой локальную сегментарную проблему, а использование при репозиции абсолютных величин в качестве эталона для устранения деформации осложняется широким разнообразием нормальной анатомии позвоночника. Учитывая, что при травмах позвоночника чаще всего повреждается тело позвонка со смежными дисками, то для устранения деформации требуется знание исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла, образованного нижней замыкательной пластинкой вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего от поврежденного позвонка. 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, состоящего из трех тел 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 межтеловых промежутков, 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 образовывался нижней замыкательной пластинкой вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего от поврежденного позвонка. Предложенная нами методика расчетов исходных вертикальных размеров и угла деформации тела позвонка со смежными дисками позволяет использовать ее при хирургическом лечении больных с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. Погрешность между фактическими измерениями и расчетами передних межтеловых промежутков составила  $1,4 \pm 0,4$  мм, задних –  $1,3 \pm 0,5$  мм, а сегментарного угла –  $2,5 \pm 0,6$  градуса. Это указывает на высокую точность предложенных расчетов.

Для решения второй задачи диссертационной работы были проведены ретроспективные клинико-рентгенологические исследования пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов. Для исследования использовались данные СКТ до и после оперативного лечения. В процессе первого ретроспективного исследования (50 больных) изучалось влияние факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла на восстановление поврежденного тела позвонка. Второе ретроспективное исследование включало 45 больных с ПСМТ на уровне L1 позвонка и было направлено на изучение влияния факторов, величин межтеловых промежутков и сегментарного угла на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала. При ретроспективном анализе выявлено, что факторами, влияющими на восстановление передних и задних размеров тела



поврежденного позвонка и закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала, являются давность травмы, величина межтеловых промежутков, сегментарный угол и ширина внутриканального костного фрагмента. Использование для лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов рассчитанных исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла позволило добиться полноценного восстановления передних и задних размеров тела поврежденного позвонка с максимальной декомпрессией содержимого позвоночного канала.

Для облегчения трудоемких расчетов была разработана компьютерная программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668665), которая позволяет производить математические расчеты и архивирование исходных индивидуальных параметров поврежденного тела позвонка со смежными дисками в грудном и поясничном отделах в до-, интра- и послеоперационном периодах. Данной программой удобно пользоваться при анализе данных СКТ-исследований в процессе динамического наблюдения после оперативного лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов. 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 влияния 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.

Транспедикулярный остеосинтез в настоящее время является основным методом хирургической коррекции и фиксации поврежденного отдела позвоночника. Сохраняющиеся технические ошибки, связанные с проведением транспедикулярных винтов, приводят к поиску решений по уменьшению данных осложнений. Применяемые навигационные системы для установки транспедикулярных винтов сложны в использовании, а высокая цена ограничивает их широкое применение. Для повышения точности проведения транспедикулярных винтов в грудном и поясничном отделах при травмах позвоночника разработано и предложено навигационное устройство (патент РФ на полезную модель № 211140), что явилось решением пятой задачи исследования. В основе работы данного устройства лежит создание карты разметки для определения траектории проведения транспедикулярных винтов на этапе предоперационного планирования по данным спиральной компьютерной томографии. Во время операции данные с карты разметки переносятся в навигационное устройство, что позволяет при минимальных затратах обеспечить точность введения винтов с одновременным проведением винтов с двух сторон,

уменьшить лучевую нагрузку на пациента за счет уменьшения количества снимков и уменьшить время оперативного вмешательства. На клиническом материале при использовании разработанного навигационного устройства точность установки винтов составила 94,2% (по классификации Герцбейна-Роббинса), по отношению к 83,5% при установке методом «свободной руки».

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 межтеловых промежутков и сегментарного угла по экрану монитора ЭОПа.

Для решения шестой задачи диссертационного исследования было проведено усовершенствование дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств при позвоночно-спинномозговой травме грудного и поясничного отделов. С помощью транспедикулярной репозиционной системы удавалось устранить значительную часть сколиотической и кифотической деформаций позвоночника. Проведение репозиционных винтов в сломанный позвонок позволяло устранять оставшуюся деформацию позвоночника и переднюю форму сдавления спинного мозга, а также воссоздать сагиттальный профиль поврежденного сегмента, не прибегая к реконструкции передней osteолигаментарной колонны позвоночника. Проведение дополнительного винта обеспечивает возможность редукции тела сломанного позвонка. Таким способом при травмах до двух недель удавалось восстановить форму и размеры деформированного позвонка в среднем на 93,5%, а в более поздние сроки частично удавалось расправлять деформированный позвонок в среднем на 20,0%

от исходного. Усовершенствованный способ закрытой передней декомпрессии содержимого позвоночного канала (патент РФ на изобретение № 2753133) улучшает репозиционные возможности внутренней транспедикулярной системы «Синтез» при оскольчатых переломах и переломовывихах грудного и поясничного отделов позвоночника за счет исключения смещения отломков тела поврежденного позвонка и возникновения неврологических осложнений, повышения точности установки редуцированных винтов в поврежденный позвонок, уменьшения времени оперативного вмешательства.

Большинство способов передней декомпрессии содержимого позвоночного канала из заднего доступа, которые используются в настоящее время, достаточно травматичны. Оперативные вмешательства на передних структурах позвоночника более трудоемки, могут приводить к различным тяжелым осложнениям. Костные отломки тел позвонков в большинстве своем остаются фиксированными к фиброму кольцу межпозвонкового диска, а второй свободный конец в виде «клавиши» выступает в позвоночный канал. Данные костные фрагменты специальными инструментами можно вернуть «на место» после создания резервного пространства. Предложенный способ открытой декомпрессии (патент РФ на изобретение №2798042) позволяет устранять посттравматический стеноз позвоночного канала с помощью инструментов для прямой импрегнации костно-хрящевых фрагментов, смещенных в позвоночный канал. Выполнение предварительной дискэктомии создает резервное пространство для погружения костного фрагмента и освобождает место для выполнения межтелового корпородеза, и избавляет от выполнения вентрального вмешательства вторым этапом. Малая доля двухэтапных оперативных вмешательств объясняется устранением компрессии спинного мозга и восстановлением опороспособности позвоночника на первом этапе.

Дополнительный вентральный этап вмешательства выполнялся при неустраненной 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 двух и более 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, а само лигирование сосудов создает определенный операционный риск.

Седьмая задача диссертационного исследования была связана с разработкой алгоритма усовершенствованной системы лечения пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов на основе разработанных методик на этапах планирования и хирургического лечения. В результате предоперационного планирования мы по размерам смежных тел позвонков и межпозвоночных дисков рассчитываем исходные размеры межтеловых промежутков и сегментарный угол, оцениваем морфологию и степень нестабильности повреждения. На этапе хирургического лечения эффективность данной системы возрастает за счет вышеупомянутого навигационного устройства для введения транспедикулярных винтов и способов закрытой и открытой декомпрессии содержимого позвоночного канала.

Решение восьмой задачи было осуществлено в ходе клинического исследования в двух группах пациентов с ПСМТ грудного и поясничного отделов с использованием известной и усовершенствованной систем лечения.

Ближайшие результаты лечения были изучены в сроки до 6 месяцев с момента завершения хирургического лечения. Выраженность болевого синдрома у пациентов основной группы была достоверно ниже по сравнению с контрольной группой ( $p=0,027$ ). Средний балл по ВАШ в основной группе –  $1,8\pm 0,3$ , в контрольной –  $2,5\pm 0,5$ . За счет предложенных методик в основной группе средняя продолжительность операции была на 28 минут меньше и составила  $132,4\pm 11,9$  минут по отношению к контрольной –  $160,4\pm 12,8$  минут ( $p=0,041$ ). Средний объем интраоперационной кровопотери в основной группе был существенно меньше –  $276,0\pm 21,3$  мл против  $452,1\pm 38,2$  мл ( $p=0,003$ ) в контрольной группе. Эффективность проводимой репозиции оценивали по дистракции межтеловых промежутков и сегментарному углу. Если в основной группе мы старались ин-

траоперационно достичь размеров рассчитанных параметров, то в контрольной группе это делали ретроспективно по дооперационным и контрольным СКТ. На эффективность закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала влияют достигнутые размеры межтеловых промежутков. В основной группе после операции передние размеры межтеловых промежутков (Mta) составили  $98,6 \pm 2,1\%$ , а задние (Mtp) –  $99,5 \pm 1,1\%$  от рассчитанных размеров. Это способствовало не только улучшению закрытой декомпрессии позвоночного канала, но и максимальному восстановлению вертикальных размеров тела поврежденного позвонка. В основной группе передняя высота тела поврежденного позвонка была восстановлена на  $37,6\%$  – до  $95,2 \pm 4,1\%$ , задняя – на  $7,3\%$  до  $98,6 \pm 2,2\%$ . В контрольной группе ретроспективно выяснили, что передняя высота была восстановлена на  $33,6\%$  – до  $91,8 \pm 4,2\%$ , а задняя на  $4,8\%$  – до  $96,5 \pm 2,8\%$ . Качество проведенной декомпрессии дурального мешка оценивали по величине оставшегося стеноза, используя данные СКТ-контроля после хирургического лечения. В основной и контрольной группах остаточная дислокация костных фрагментов выявлена на  $2,7 \pm 0,3$  и  $3,9 \pm 0,4$  мм соответственно. В процессе оперативного лечения сегментарный угол был исправлен в основной группе на  $16,9 \pm 2,3$  градуса, а в контрольной группе –  $14,1 \pm 2,8$  градуса. Высокая клиническая эффективность усовершенствованного способа репозиционной декомпрессии позвоночного канала при проведении ТПФ с предоперационным планированием подтверждалась тем, что необходимость в выполнении вентрального этапа хирургического лечения была минимальной. Восстановление утраченных неврологических функций в большей степени зависело от исходной тяжести повреждения спинного мозга. Отмечено, что заметное влияние на глубину неврологических нарушений оказывает сужение позвоночного канала. Улучшение неврологического статуса в ближайшем периоде на одну степень по ASIA отмечено у 16 (20,5%) больных основной и у 12 (12,6%) пациентов контрольной группы.

Отдаленные результаты лечения изучались в период с 12 месяцев до 20 лет. Оценка отдаленных результатов проводилась по таким же клиничко-

рентгенологическим критериям, как и для ближайших результатов. При этом несколько большее внимание уделяли параметрам, характеризующим стабильность фиксации поврежденных ПДС и регресс неврологических нарушений у больных с ПСМТ. Оценка боли по ВАШ показала добавление разницы в баллах между группами в отдаленном периоде наблюдения. Средний балл в основной группе –  $1,3 \pm 0,2$ , в контрольной –  $2,3 \pm 0,3$  ( $p=0,012$ ). В отдаленном периоде наблюдалось изменение морфометрических параметров в двух группах. Потеря достигнутой коррекции в основной группе составила  $2,1 \pm 1,1$  градуса от исправленной на  $16,9 \pm 2,3$  градуса на операции, в контрольной группе –  $3,8 \pm 1,3$  градуса от исправленной на операции на  $14,1 \pm 2,8$  градуса. Достигнутый сегментарный угол отличается в основной группе с рассчитанным углом на  $4,2 \pm 0,8$  градуса, в контрольной группе – на  $9,6 \pm 0,9$  градуса. Сравнение отдаленных исходов лечения для оценки боли, экономического и функционального статуса по шкале R.G. Watkins показало, что отличных исходов лечения было получено статистически значимо больше в основной группе – на 59,3% ( $p=0,04$ ). Статистически значимой разницы в показателях качества жизни в отдаленном периоде по шкале MOS SF-36 мы не выявили.

Усовершенствование транспедикулярных конструкций и технологий их установки за счет лучшего понимания биомеханических характеристик привело к снижению частоты ошибок и осложнений. Отказ от вентрального спондилодеза после транспедикулярной фиксации не увеличил количества переломов металлоконструкции. В основной группе статистически меньше получено осложнений (значение  $\chi^2$  – 4,678, значение  $P$  – 0,030).

У 22 (10,2%) оперированных больных выявлены ошибки или осложнения, связанные с транспедикулярным остеосинтезом: в 9 (4,2%) случаях – переломы металлоконструкции; в 3 (1,3%) – проведение винтов мимо анатомических ориентиров; по 3 (1,3%) случая – прорезание винтов и миграция элементов конструкции; в 3 (1,3%) – воспалительный процесс в глубоких тканях раны; у одного (0,5%) пациента образовался ликворный свищ. Все осложнения

стационарного периода были купированы, что не повлияло на окончательный исход лечения.

Таким образом, применение дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих операций при лечении пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов 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 разработанных способов и устройств для декомпрессии содержимого позвоночного канала при ПСМТ грудной и поясничной локализации достоверно улучшило результаты лечения больных и снизило количество послеоперационных осложнений. Профилактика осложнений заключается в дифференцированном хирургическом подходе и соблюдении техники оперативного вмешательства.

В целом, по нашему мнению, можно констатировать, что выполненное нами комплексное диссертационное исследование позволило решить все поставленные задачи и благодаря этому реализовать его цель. Сделанные по итогам выполненной работы выводы и практические рекомендации представлены далее в двух следующих разделах диссертации.



## ВЫВОДЫ

1. При анализе компьютерных томограмм неповрежденного грудного и поясничного отделов позвоночника разработана методика предоперационного планирования, позволяющая применять морфометрию для математических расчетов исходных размеров межтеловых промежутков и сегментарного угла с разницей в достоверности фактических и рассчитанных передних размеров межтеловых промежутков всего на  $1,4 \pm 0,4$  мм, задних – 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 позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов выявлено, что факторами, влияющими на восстановление вертикальных размеров тела поврежденного позвонка, являются давность травмы и величина межтеловых промежутков, а на закрытую декомпрессию содержимого позвоночного канала, дополнительно к вышеуказанным, влияют ширина внутриканального костного фрагмента и сегментарный угол на уровне повреждения.

3. Для математических расчетов исходных линейных и угловых параметров на уровне повреждения у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов разработана компьютерная программа (государственная регистрация программы для ЭВМ №2023668665), которая облегчает расчеты и архивирует полученные данные в до-, интра- и послеоперационном периодах.

4. В ходе стендовых испытаний получены новые данные о жесткости различных продольных штанг в транспедикулярных устройствах, среди них максимальную нагрузку (770 Н) и упругое смещение (12,6 мм) с сохранением своей целостности выдерживают штанги из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм, использование которых, по данным математического моделирования, при нестабильных повреждениях поясничного отдела позвоночника позволяет сохранить достигнутую коррекцию деформации и уменьшить риск переломов данных штанг.

5. Разработано и внедрено в клиническую практику навигационное устройство (патент РФ на полезную модель №211140), позволяющее у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов повысить точность установки винтов до 94,2% по классификации Герцбейна – Роббинса, снизить лучевую нагрузку и уменьшить продолжительность операции за счет проведения двух винтов в позвонок при однократном рентгеноконтроле.

6. Усовершенствованный способ репозиции позвоночника транспедикулярным устройством (патент РФ на изобретение №2753133) повышает точность проведения редуционного винта в тело сломанного позвонка и исключает этап перемонтажа системы, а разработанный способ передней декомпрессии спинного мозга при переломах грудных и поясничных позвонков (патент РФ на изобретение №2798042) позволяет устранить сохраняющуюся вентральную компрессию содержимого позвоночного канала в условиях аппаратной репозиции и выполнить межтеловой спондилодез.

7. Разработан алгоритм усовершенствованной системы лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов, основанный на компьютерно-математическом моделировании предложенных способов и устройств для декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств, а также методики предоперационного планирования, позволивший в 91,8% случаев выполнить весь объем лечения одним этапом из заднего доступа.

8. Сравнительный анализ лечения профильных пациентов показал, что использование усовершенствованной системы лечения по отношению к известной тактике позволило уменьшить продолжительность операции ( $p=0,041$ ), интенсивность болевого синдрома ( $p=0,012$ ) и количество осложнений ( $p=0,03$ ), а также статистически значимо больше добиться отличных результатов лечения ( $P=0,04$ ) по шкале R.G. Watkins и получить сопоставимые функциональные исходы лечения по шкале MOS SF-36 в двух изучаемых клинических группах.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При планировании оперативного вмешательства по восстановлению исходных размеров поврежденного тела позвонка со смежными дисками у пациентов с одноуровневыми переломами на грудном и поясничном отделах рекомендуется применять предложенную методику математических расчетов с использованием индивидуальных размеров смежных тел позвонков и межпозвоночных дисков.

2. Для математических расчетов исходного сегментарного угла при одноуровневых переломах в грудной и поясничном отделах позвоночника необходимо использовать передние и задние размеры межтеловых промежутков и размер верхней замыкательной пластинки тела нижележащего от поврежденного позвонка.

3. При оперативном вмешательстве у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудного и поясничного отделов установку редуцированного винта в тело сломанного позвонка целесообразно проводить после выполненной дистракции межтеловых промежутков до рассчитанных величин в соответствии с предложенным методом репозиции позвоночника.

4. При выполнении репозиции позвоночника транспедикулярным устройством у пациентов с одноуровневыми переломами тел позвонков в грудном и поясничном отделах для максимального восстановления вертикальных размеров тела поврежденного позвонка и закрытой декомпрессии содержимого позвоночного канала рекомендуется использовать индивидуальные рассчитанные размеры межтеловых промежутков и сегментарного угла.

5. Во время оперативного вмешательства у пациентов с одноуровневыми переломами позвоночника в грудном и поясничном отделах при восстановлении размеров межтеловых промежутков необходимо на экране монитора ЭОПа учитывать коэффициент увеличения, который рассчитывается по размерам верхней замыкательной пластинки тела, нижележащего от поврежденного позвонка.

6. Для оценки деформации позвоночника при одноуровневых повреждениях в грудном и поясничном отделах целесообразно использовать сегментарный угол, образованный нижней замыкательной пластинкой тела вышележащего и верхней замыкательной пластинкой тела, нижележащего от поврежденного позвонка, учитывая, что его исходные значения можно рассчитать.

7. Пациентам с нестабильными переломами в поясничном отделе позвоночника для транспедикулярной фиксации целесообразно использовать конструкции из титана ВТ6 диаметром 7,0 мм, исходя из проведенных нами стендовых испытаний.

8. У пациентов с переломами позвоночника в грудном и поясничном отделах типов А3 и А4 по классификации AOSpine при восстановлении во время операции из дорсального доступа рассчитанных вертикальных размеров поврежденного тела позвонка и устранении передней формы сдавления содержимого позвоночного канала в условиях транспедикулярного остеосинтеза межтеловой корпородез из вентрального доступа является необязательным.

**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 ком Глазго

ЭОП – электронно-оптический преобразователь

ASIA – American Spine Injury Association

AVH (La) – передняя высота тела позвонка

ISNCSCI – International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

LSC – Load-sharing classification (классификация распределения нагрузки)

Mta – передние межтеловые промежутки

Mtp – задние межтеловые промежутки

PVH (Lp) – задняя высота тела позвонка

TLICS – Thoracolumbar injury classification and severity score

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абдрахманов, Р.Р. Минимально инвазивные методы хирургического лечения переломов груднопоясничного 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 Измайлович. – 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 грудо-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. 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.

72. 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.

73. 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.

74. 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.

75. 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.

76. Корнилов, Н.В. Повреждения позвоночника. Тактика хирургического лечения / Н.В. Корнилов, В.Д. Усиков. – Санкт-Петербург : АВ МОРСАР, 2000. – 231 с.

77. 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.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. Крылов, В.В. Травма позвоночника и спинного мозга. Клинические рекомендации / В.В. Крылов, А.А. Гринь, В.Х. Тимербаев. – Москва, 2014.

82. 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.

83. Лавруков, А.М. Остеосинтез аппаратом внешней фиксации у больных с повреждениями и заболеваниями позвоночника / А.М. Лавруков, А.Б. Томилов. – Екатеринбург, 2002. – 207 с.

84. 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.

85. 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.

86. 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.

87. 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.

88. Луцик, А.А. Передние декомпрессивно–стабилизирующие операции при осложненной травме грудного и грудопоясничного отделов позвоночника / А.А. Луцик, Г.Ю. Бондаренко, В.Н. Булгаков, А.Г. Епифанцев // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 3. – С. 8-16.

89. Макаревич, С.В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы / С.В. Макаревич // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 95-106.

90. 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.

91. 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.

92. 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.

93. 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.

94. 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.
95. 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.
96. Михайловский, М.В. Хирургия позвоночника по Цивьяну / М.В. Михайловский // *Хирургия позвоночника*. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 6–19.
97. 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.
98. 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.
99. 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.
100. Морозов, И.Н. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор) / И.Н. Морозов, С.Г. Млявых // *Медицинский альманах*. – 2011. – № 4. – С. 157-159.
101. 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.
102. Николаев, Н.Н. Передний транспедикулярный спондилодез опороспособными ауто трансплантатами при декомпрессивно стабилизирующих операциях их заднего доступа / Н.Н. Николаев, А.А. Гринь, В.В. Крылов // *Журнал нейрохирургии*. – 2008. – № 1. – С. 32-38.

103. Орлов, С.В. Математический расчет прочности позвоночного столба при хирургическом лечении нестабильных переломов позвоночника / С.В. Орлов, А.Ю. Каныкин, В.П. Москалев [и др.] // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. – 2009. – Т. 168, № 2. – С. 61-64.

104. 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.

105. 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.

106. 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.

107. 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.

108. 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.

109. Рамих, Э.А. Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника / Э.А. Рамих // Хирургия позвоночника. – 2008. – № 2. – С. 95-114.

110. 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.

111. 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.

112. 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.

113. 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.

114. 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.

115. 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.

116. 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.

117. 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.

118. 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.

119. 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.

120. 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.

121. 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.

122. 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.

123. 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.

124. Томилов, А.Б. Ортопедическая коррекция посттравматических деформаций позвоночника / А.Б. Томилов, Н.Л. Кузнецова // Гений ортопедии. – 2012. – № 1. – С. 60-63.

125. Томилов, А.Б. Управляемая коррекция посттравматических деформаций позвоночника / А.Б. Томилов, Н.Л. Кузнецова // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, №1. – С. 44-48.

126. Тулупов, А.Н. Тяжелая сочетанная травма / А.Н. Тулупов. – Санкт-Петербург, 2015. – 314 с.

127. Угрюмов, В.М. Повреждения позвоночника и спинного мозга и их хирургическое лечение / В.М. Угрюмов. – Москва: Медгиз, 1961. – 247 с.

128. Ульрих, Э.В. Вертебрология в терминах, цифрах, рисунках / Э.В. Ульрих, А.Ю. Мушкин. – Санкт-Петербург : ЭЛБИ-СПб, 2005.– 187 с.

129. 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.

130. 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.

131. 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.

132. 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.

133. Усиков, В.Д. Реконструктивно-стабилизирующие вмешательства при повреждениях позвоночника: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Усиков Владимир Дмитриевич. – Санкт-Петербург, 1998. – 40 с.

134. 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.

135. Усиков, В.Д. Руководство по транспедикулярному остеосинтезу позвоночника / В.Д. Усиков. – Санкт-Петербург: Гиппократ; 2006. – С. 176.

136. 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.

137. 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.

138. 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. Монашенко // Хирургия позвоночника. – 2022. – Т.19, № 3. – С. 38–48.

139. 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.

140. 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.

141. 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.

142. 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.

143. Цивьян, Я.Л. Повреждения позвоночника / Я.Л. Цивьян. – Москва : Медицина, 1971. – 312 с.

144. 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.

145. 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.

146. 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.

147. 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.

148. 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.

149. 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.

150. 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.

151. 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.

152. Aarabi, B. Efficacy of Early ( $\leq 24$  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.

153. 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.

154. 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.

155. 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.

156. 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.

157. American Spinal Injury Association. Standards for neurological classification of spinal injury patients. – Chicago: ASIA, 1982.

158. 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.

159. 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.

160. 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

161. 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.

162. 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.

163. 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.

164. 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.

165. 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.

166. 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.

167. 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.

168. 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.

169. 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.

170. 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.

171. Cengiz, S.L. Timing of thoracolumber 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.

172. 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.

173. 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.

174. 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.

175. 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.

176. 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.

177. 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.

178. 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.
179. Cotrel, Y. New universal instrumentation in spinal surgery / Y. Cotrel, J. Dubousset, M. Guillaumat // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1988. –N 227. – P. 10-23.
180. 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.
181. 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.
182. 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.
183. 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.
184. 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.
185. Dick, W. The “fixatuer interne” as a versatile implant for spine surgery / W. Dick // *Spine.* – 1987. – Vol. 12. – P. 882-900.
186. 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.
187. 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.

188. 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.

189. 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.

190. 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.

191. 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.

192. 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.

193. 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.

194. 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.

195. 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.

196. 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.

197. 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.

198. 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.

199. 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.

200. 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.

201. 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.

202. Fylos, A.H. Magnetic resonance morphometry of the adult normal lumbar intervertebral space / A.H. Fylos, D.L. Arvanitis, A.H. Karantanas [et al.] // *Surg. Radiol. Anat.* – 2018. – Vol. 40, N 9. – P. 1055-1061.

203. 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.

204. 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.
205. 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.
206. 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.
207. 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.
208. 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.
209. 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.
210. Guerra, J. Vertebral burst fractures: CT analysis of the retracted fragment / J. Guerra, S.R. Garfin, D. Resnick // *Radiology.* – 1984. – Vol. 153, N 3. – P. 769-772.
211. 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.
212. 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.



213. 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.
214. 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.
215. 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.
216. 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.
217. 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.
218. 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.
219. 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.
220. 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.
221. Harrington, P.R. Reduction of severe spondylolisthesis in children / P.R. Harrington, H.S. Tullos // *South Med. J.* – 1969. – Vol. 62. – P. 1–7.
222. 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.

223. 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.

224. 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.

225. 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.

226. 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.

227. 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.

228. 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. Spiegel, R. Paetzold [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2020. – Vol. 15, N 1. – P. 412. – DOI: 10.1186/s13018-020-01807-2.

229. 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.

230. 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.

231. 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. Exp Med.* – 2015. – Vol. 8, N 2. – P. 2754-2759.

232. 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.

233. 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.

234. 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.

235. 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.

236. International standards for neurological and functional classification of spinal cord injuries // International Medical Society of Paraplegia – ASIA/IMSOP, 1992: American Association for Spinal Injuries.

237. 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.

238. 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.

239. 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.

240. 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.
241. 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.
242. 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.
243. 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.
244. 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.
245. 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.
246. 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.
247. 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.
248. 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.

249. 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.

250. 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.

251. 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.

252. 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.

253. 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.

254. 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.

255. Kitamura, K. Temporary Monosegmental Fixation Using Multiaxial Percutaneous Pedicle Screws for Surgical Management of Bony Flexion-Distractoin 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.

256. 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.

257. 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.

258. 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.

259. 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.

260. 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.

261. 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.

262. 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.

263. 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.

264. 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.

265. 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.

266. 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.

267. 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.

268. 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.

269. 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.

270. 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.

271. 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.

272. 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.

273. 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.

274. 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.

275. 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.00000000000007873.

276. 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.

277. 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.

278. 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.

279. 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.

280. 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.

281. 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.

282. 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.

283. 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.
284. 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.
285. Magerl, F. External spinal skeletal fixation / F. Magerl // *Fixateur Externe – Fixateur Interne* . – New York: Springer-Verlag, 1985. – P. 290-370.
286. 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.
287. Marie-Hardy, L. Evaluation of disc degeneration adjacent to AOspine 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.
288. 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.
289. 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.
290. 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.
291. 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.

292. 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.
293. 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.
294. 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.
295. 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.
296. 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.
297. 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.
298. 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.
299. 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.
300. 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.
301. 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.

302. 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.

303. 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.

304. 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.

305. 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.

306. 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.

307. 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.

308. 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.

309. 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.

310. 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.

311. 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.

312. 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.

313. 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.

314. 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.

315. 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.

316. 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.

317. 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.

318. 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>

319. 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.

320. Ren, E.H. Anterior versus posterior decompression for the treatment of thoracolumbar fractures with spinal cord injury: Meta-analysis / E.H. Ren, Y.J. Deng, Q.Q. Xie [et al.] // *Zhongguo Gu Shang.* – 2019. – Vol. 32, N 3. – P. 269-277.

321. 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.

322. 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.

323. 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.

324. 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.

325. 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.

326. Sabre, L. Mortality and causes of death after traumatic spinal cord injury in Estonia / L. Sabre, T. Rekan, T. Asser, J. Kõrv // *J. Spinal Cord Med.* – 2013. – Vol. 36, N 6. – P. 687-694.

327. 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.

328. 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.

329. 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.

330. 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.

331. 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.

332. 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.

333. 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.00000000000030965.

334. 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.

335. 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.

336. 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.
337. 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.
338. 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.
339. 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.
340. 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. – DOI: <https://10.1186/s12891-020-03550-5>.
341. 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.
342. 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.
343. 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.



344. 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.

345. 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.

346. 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.

347. 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.

348. 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.

349. 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.

350. 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.

351. 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.

352. 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.
353. 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.
354. 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. Spiegl, H. Ekkerlein [et al.] // *Global Spine J.* – 2018. – Vol. 8, 2 Suppl. – P. 34-45.
355. 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.
356. 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.
357. 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.
358. 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.
359. 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.
360. 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.

361. 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.

362. 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.

363. 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.

364. 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.

365. 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.

366. 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.

367. 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.

368. 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.

369. 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.

370. 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.

371. 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.

372. Yamada, H. Strength of biological materials / H. Yamada, F.G. Evans. – Hingtington (N.Y.): Kriger, 1973.

373. 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.

374. 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.00000000000007893.

375. Yoshihara, H. Indirect decompression in spinal surgery / H. Yoshihara // *J. Clin. Neurosci.* – 2017. – Vol. 44. – P. 63-68.

376. 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.

377. 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.

378. 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.

379. 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.

380. 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.

381. 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.

382. 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.

383. 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.

384. 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.

385. 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.

386. 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.

387. 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Визуальная аналоговая шкала для оценки болевого синдрома



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б****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 В

### Классификация повреждений позвоночника AO Spine

Компрессионные повреждения (тип А):

- А0 – перелом отсутствует или минимальные костные повреждения (дужка, остистый отросток);
- А1 – компрессионный перелом в области одной из концевых пластин, не затрагивающий задний опорный комплекс;
- А2 – перелом, проходящий через обе концевые пластины без отломков и повреждения заднего опорного комплекса;
- А3 – оскольчатый перелом в области одной из концевых пластин со смещением в канал и возможным повреждением заднего опорного комплекса;
- А4 – 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.).

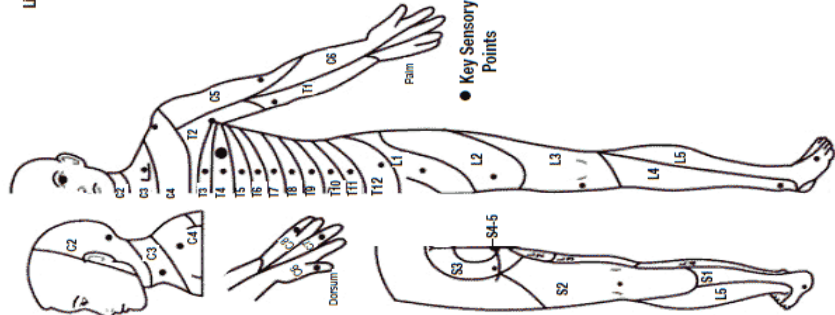
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Шкала неврологических нарушений ASIA/ISCS

Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_



RIGHT		LEFT	
MOTOR KEY MUSCLES	SENSORY KEY SENSORY POINTS	MOTOR KEY MUSCLES	SENSORY KEY SENSORY POINTS
UER (Upper Extremity Right) Elbow flexors C5 Wrist extensors C6 Elbow extensors C7 Finger flexors C8 Finger abductors (little finger) T1 Comments (Non-Key Muscles? Reason for NT? Pain?)	C2 C3 C4 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11 T12 L1	UEL (Upper Extremity Left) Elbow flexors C5 Wrist extensors C6 Elbow extensors C7 Finger flexors C8 Finger abductors (little finger) T1	C2 C3 C4 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11 T12 L1
LER (Lower Extremity Right) Hip flexors L2 Knee extensors L3 Ankle dorsiflexors L4 Long toe extensors L5 Ankle plantar flexors S1	S2 S3 S4-5	LEL (Lower Extremity Left) Hip flexors L2 Knee extensors L3 Ankle dorsiflexors L4 Long toe extensors L5 Ankle plantar flexors S1	S2 S3 S4-5
(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No) <input type="checkbox"/>		(DAP) Deep Anal Pressure (Yes/No) <input type="checkbox"/>	
RIGHT TOTALS (MAXIMUM) (50)		LEFT TOTALS (MAXIMUM) (50)	
MOTOR SUBSCORES: UER + UEL = UEMS TOTAL (50); LER + LEL = LEEMS TOTAL (50)		MOTOR SUBSCORES: PPR + PPL = PPTOTAL (56)	
SENSORY SUBSCORES: LTR + LTL = LSTOTAL (56)		SENSORY SUBSCORES: LTR + LTL = LSTOTAL (56)	



1. SENSORY LEVELS (Steps 1-5 for classification as on reverse)

2. MOTOR LEVELS (Steps 1-5 for classification as on reverse)

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE? (In complete injuries only)

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) (Most caudal level with any innervation)

NEUROLOGICAL LEVELS: R L

1. SENSORY: R L

2. MOTOR: R L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY: R L

4. COMPLETE OR INCOMPLETE? R L

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS): R L

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 11/15

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д****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 Е****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, занятия 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 (P)	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.