

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И. РАЗУМОВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи



Лихачев Сергей Вячеславович

**Оптимизация методик хирургической реконструкции при повреждениях
переходных отделов позвоночника с применением современных
возможностей биомеханического моделирования**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Научный консультант:
доктор медицинских наук, профессор
Норкин Игорь Алексеевич

Саратов – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	19
1.1. Принципы поиска и анализа литературных источников	19
1.2. Понятие о переходных отделах позвоночника	20
1.3. Шейногрудной переходный отдел	27
1.4. Грудопоясничный переходный отдел.....	48
1.5. Поясничнокрестцовый переходный отдел	62
1.6. Биомеханика и информационные технологии в планировании спондилосинтеза	77
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	85
2.1. Дизайн исследования	85
2.2. Методы обследования пациентов	86
2.3. Биомеханическое моделирование	102
2.4. Характер выполненных хирургических вмешательств	106
2.4.1. Шейногрудной переходный отдел	107
2.4.2. Грудопоясничный переходный отдел.....	110
2.4.3. Поясничнокрестцовый переходный отдел	124
2.5. Методы статистического анализа	127
ГЛАВА 3. ШЕЙНОГРУДНОЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА.....	129
3.1. Дизайн исследования	129
3.2. Результаты биомеханического моделирования	131
3.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала.....	131
3.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме.....	132
3.2.3. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при переломе С7 позвонка типа А с фиксацией пластиной с различными вариантами расположения винтов и установленным межтеловым заменителем MESH.....	133

3.2.4. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при повреждении С7 позвонка типа С (состояние после устранения подвывиха С7 позвонка и установке межтелового кейджа типа MESH) с фиксацией пластиной с различными вариантами расположения винтов.....	141
3.2.5. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при переломе С7 позвонка с применением MESH различных диаметров (9, 11 и 13 мм)	145
3.2.6. Биомеханическое моделирование комбинированного спондилосинтеза: передний спондилодез, дополненный дорсальной фиксацией при переломе С7 позвонка типа А	147
3.2.7. Биомеханическое моделирование комбинированного переднего спондилодеза и транспедикулярной фиксации при повреждении С7-Th1 типа С после спондилосинтеза	148
3.3. Исследование грудинно-шейного угла для определения оптимального доступа к шейногрудному переходу.....	150
3.4. Факторы риска несостоятельности фиксации	159
3.5. Разработка алгоритма лечения	176
3.6. Обсуждение результатов.....	179
ГЛАВА 4. ГРУДОПОЯСНИЧНЫЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ	
ПОЗВОНОЧНИКА	187
4.1. Дизайн исследования	187
4.2. Результаты биомеханического моделирования	189
4.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала.....	189
4.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме и при патологии..	190
4.2.3. Биомеханическое моделирование короткосегментарной транспедикулярной фиксацией, стандартной полисегментарной транспедикулярной фиксацией (8 винтов) и оптимизированной полисегментарной транспедикулярной фиксацией (6 винтов)	197
4.2.4. Биомеханическое моделирование короткосегментарной «транспедикулярной фиксации, дополненной промежуточным винтом» и стандартной короткосегментарной транспедикулярной фиксации.....	202

4.2.5. Биомеханическое моделирование короткосегментарной транспедикулярной фиксации без промежуточных винтов, с двумя (стандартная методика) и одним промежуточным винтом (модифицированная методика)	208
4.2.6. Биомеханическое моделирование эксцентрического позиционирования имплантатов типа MESH по сравнению со стандартной методикой	212
4.2.7. Биомеханическое моделирование различных диаметров имплантатов типа MESH при дорсально-вентральном вмешательстве и вентральной фиксации.....	220
4.2.8. Биомеханическое моделирование транспедикулярной фиксации и вентрального спондилодеза	228
4.3. Факторы риска несостоятельности фиксации	233
4.4. Разработка и обоснование алгоритма лечения	254
4.5. Обсуждение результатов.....	271
ГЛАВА 5. ПОЯСНИЧНОКРЕСТЦОВЫЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА	282
5.1. Дизайн исследования	282
5.2. Результаты биомеханического моделирования	284
5.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала.....	284
5.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме и при патологии..	285
5.2.3. Биомеханическое моделирование при изолированном переломе L5 без инструментирования, с транспедикулярной фиксацией 4 винтами, транспедикулярной фиксацией с 1 или 2 промежуточными винтами и транспедикулярной фиксацией с 4 винтами и MESH	289
5.3. Результаты хирургического лечения	292
5.4. Разработка алгоритма лечения	306
5.5. Обсуждение результатов.....	309
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	315
ВЫВОДЫ	331
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	333

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	336
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	338
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	394
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	395
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	397
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	398
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	399
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	402

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Повреждения позвоночника составляют от 5 до 20% всех травм скелета [12]. Увеличение доли высокоэнергетической травмы вследствие урбанизации, развития скоростного транспорта, популяризации экстремальных видов спорта к началу XXI века привело к тому, что во всем мире ежегодно повреждения позвоночника получают более чем 5 миллионов человек [254]. Социальную значимость проблемы подчеркивает тот факт, что пострадавшими, как правило, являются мужчины [212] трудоспособного возраста [447]. При этом неврологически осложненный характер травмы имеет место в 0,7–8% случаев [32]. В Российской Федерации при скелетной травме причиной стойкой утраты трудоспособности в 20,6% случаев является повреждение позвоночника [86]. Неосложненные повреждения позвоночного столба приводят к стойкой инвалидизации в 31–33,3%, при позвоночно-спинномозговой травме данный показатель составляет 83–100% [33, 41, 57, 63].

Наиболее часто повреждаются переходные отделы позвоночника: на долю грудопоясничного переходного отдела (Th11-L2) приходится до 58% травм, при этом в 30–70% случаев сопровождается наличием критического дефицита просвета позвоночного канала и/или неврологическим дефицитом вследствие повреждения его структур [79, 325, 421]. Несвоевременная или неадекватная хирургическая помощь практически исключает регресс неврологической симптоматики.

Переходные отделы позвоночника – отделы, расположенные на стыке противоположно направленных сагиттальных изгибов позвоночника, на стыке ригидных и мобильных отделов позвоночника – обладают уникальными особенностями биомеханики, анатомии и испытывают повышенные механические нагрузки [24]. Отсутствие терминологического единства в отечественной и зарубежной литературе, посвященной переходным отделам позвоночного столба, также говорит о недостаточной систематизации данных о патологии и методиках реконструктивной хирургии шейногрудного, грудопоясничного и

поясничнокрестцового переходных отделов позвоночника [80, 467]. Кроме того, по данным литературы, на сегодняшний день не сформировалось четкого понимания о количестве позвонков, включаемых в состав переходных отделов [87, 440]. При этом исследователю доступны все инструменты для определения границ данных анатомо-функциональных образований. На сегодняшний день накоплен колоссальный клинический материал, отработаны методологии морфометрического и рентгенометрического, биомеханического исследований, позволяющие решить эту задачу.

Среди повреждений позвоночника самым распространенным являются переломы позвонков, входящих в переходный грудопоясничный отдел позвоночника (ГПП) [124, 451]. По литературным данным, до 90% всех повреждений и от 10 до 20% взрывных переломов локализованы на уровне Th11-L2 [97, 119, 458]. Последние (burst fractures в англоязычной литературе) зачастую сопровождаются значительным снижением функциональных возможностей пациентов и их качества жизни [217]. С восьмидесятых годов XX века и по сегодняшний день в литературе продолжаются дискуссии о тактике хирургического лечения пациентов с осложненной и неосложненной травмой грудопоясничного перехода. Поводом для полемики служат противоречивые сведения о сопоставимости отдаленных функциональных результатов хирургического и консервативного лечения данных повреждений [216]. Полярность мнений разнится от отсутствия необходимости в оперативном пособии при неосложненных повреждениях в связи с неубедительностью его эффективности по сравнению с корсетотерапией до позиции авторов оперировать всю тораколюмбарную травму в связи с риском возникновения отсроченного неврологического дефицита [209, 245, 450]. Хирургическое лечение при травме ГПП направлено на профилактику или создание условий для регресса неврологического дефицита, на исправление локальной посттравматической деформации позвоночника, на достижение максимально стабильного спондилосинтеза, и на обеспечение скорейшей активизации оперированного пациента. Выбор наиболее подходящего хирургического метода, особенно при

выраженной потере высоты передней колонны и выраженного сегментарного кифоза, остается дискуссионным [192, 203, 341]. Недостаточная освещенность в доступной литературе, особенно в отечественной, алгоритмов выбора оптимальной протяженности фиксации при повреждениях переходного грудопоясничного отдела, опыта применения дополнительных (промежуточных) винтов (intermediate pedicle screw fixation или intermediate screw at the fracture level в англоязычной литературе) [150, 341], введенных в поврежденный позвонок при тораколюмбарной травме, а также выполнению вентрального спондилодеза при наличии транспедикулярных систем подобной компоновки, дает основание продолжать исследования в данном направлении. В настоящее время вектор научных исследований при травме грудопоясничного отдела позвоночника сместился в сторону поиска предикторов риска развития нестабильности металлоконструкции (МК) и подбора оптимальной системы фиксации с учетом биомеханических преимуществ тех или иных конструкций. Несмотря на пристальное внимание к биомеханике развития взрывных переломов переходного грудопоясничного отдела позвоночника [471], в доступных отечественных и зарубежных источниках не обнаружено работ, делающих акцент на компьютерном моделировании всех позвоночно-двигательных сегментов переходного грудопоясничного отдела позвоночника и оценки напряжений и перемещений в них в норме и при повреждающих нагрузках [275]. Также отсутствуют исследования биомеханики развития переломов и переломовывихов, классифицирующихся как тип В и С по AOSpine, которые формируются при дистракционном и дистракционно-ротационном механизме травмы. Кроме того, результаты ряда исследований, основанных на биомеханическом моделировании, в определенной мере противоречат клинической практике. В частности – устанавливаемый рядом метаанализов примат короткосегментарной транспедикулярной фиксации над другими компоновками фиксирующих систем в ходе моделирования не выглядит оптимальным решением.

Степень разработанности темы исследования

Изолированная травма шейногрудного перехода (ШГП) – редкая патология. Опубликовано лишь несколько работ, посвященных хирургическому лечению травмы этого отдела позвоночника, и в большинстве случаев – это клинические примеры или малые серии пациентов [10, 114, 179, 227, 333, 345]. Тактика лечения травмы ШГП до сих пор остается дискуссионной. Продолжают разрабатываться способы доступа к ШГП, изучаются различные стабилизирующие конструкции, аккумулируется клинический опыт для оценки отдаленных результатов. Все это позволяет продолжать считать изучение травм ШГП актуальной научной проблемой. Отсутствие большого мирового коллективного клинического опыта делает биомеханическое моделирование незаменимым для анализа различных вариантов лечения, применения различных медицинских технологий, оценки предикторов возможных осложнений при этой редкой патологии.

Изолированная травма поясничнокрестцового переходного отдела встречается достаточно редко. Переломы пятого поясничного позвонка составляют до 1,6% всех повреждений позвоночника [90, 238, 270]. Малая распространенность повреждений «компенсируется» сложностью хирургической реконструкции этой зоны. Информация о них в доступной литературе, как правило, представлена описанием единичных клинических случаев или серий из 3–5 пациентов [166, 339, 445]. В зарубежных публикациях информация о травме данной локализации ограничивается описаниями серий случаев, наибольшая из которых представлена 14 пациентами [419]. В доступной отечественной литературе подобных публикаций не найдено. На сегодняшний день отсутствует единообразие во взглядах на тактику лечения пациентов с изолированным повреждением L5 позвонка [195]. Серьезной проблемой видится значительный риск развития осложнений (псевдоартрозы, потеря коррекции), связанных с неадекватностью фиксации переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника (ПКП, поясничнокрестцовый переход) при травме. Частое несращение переломов, формирование кифотической деформации, нарушения сагиттального баланса

сопровождается формированием хронического болевого синдрома и снижением качества жизни. Несостоятельность МК и миграция опорного имплантата – основная причина неудовлетворительных результатов переднего спондилодеза. Тесная топографо-анатомическая взаимосвязь поясничнокрестцового перехода с крупными сосудами в забрюшинном пространстве усугубляет хирургический риск вентральных реконструкций. Общая частота повреждения сосудов при переднем доступе к телу L5 позвонка колеблется от 7,9 до 13,8% [104, 106, 265, 461, 462]. В доступной литературе обнаружено ограниченное количество работ, сравнивающих безопасность и эффективность использования только переднего, заднего или комбинированного передне-заднего доступов при травме L5 [160, 215, 260, 282, 288, 344].

Известны работы, включающие компьютерное моделирование поясничнокрестцового перехода, оперированного по поводу дегенеративно-дистрофических заболеваний [157, 358], однако, на сегодняшний день в доступной литературе исследований, посвященных биомеханике поврежденного переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника после спондилосинтеза, не найдено.

Таким образом, в настоящее время существуют альтернативные хирургические техники, позволяющие осуществить реконструкцию при повреждениях переходных отделов позвоночника. Обращают на себя внимание схожие клинические результаты применения различных по травматичности и стабильности фиксации методик при однотипных разрушениях позвонков. Следует подчеркнуть, что, учитывая сложность топографической анатомии переходных отделов позвоночника, высокие требования к стабильности спондилосинтеза ввиду повышенных нагрузок на оперированные сегменты, высокий риск осложнений при проведении ревизионных операций, задачей хирурга становится выбор оптимального способа хирургической реабилитации пациента. Многие аспекты спондилосинтеза переходных отделов позвоночника требуют дальнейшей разработки. В последнее время компьютерное моделирование поврежденного и синтезированного позвоночника можно отнести к одному из инструментов предоперационного планирования. При этом существующие расхождения между

результатами клинических и экспериментальных исследований, а также отсутствие клинических исследований высокого уровня доказательности, посвященных применению результатов компьютерного биомеханического моделирования в выборе способа спондилосинтеза позволяют говорить о необходимости продолжения работ в этом направлении. Существующие методики хирургической реконструкции переходных отделов позвоночника отличаются большим многообразием и отсутствием единого подхода, что вызвано в значительной степени сложностью биомеханических соотношений в этих анатомических зонах. Распространенные варианты хирургической тактики основаны преимущественно на эмпирических подходах и традиционных техниках спондилосинтеза без учета специфических биомеханических особенностей переходных зон. Немногочисленные клинические исследования, посвященные применению в клинической практике хирургических техник, основанных на результатах математического моделирования, не имеют достаточного уровня доказательности. Вместе с тем проблема эффективного лечения пациентов с повреждениями переходных отделов позвоночника остается весьма актуальной, так как результаты проведенного лечения по-прежнему остаются недостаточно удовлетворительными. Это и обусловило необходимость проведения данного исследования.

Цель и задачи исследования

Цель: Улучшение результатов лечения пациентов с повреждениями переходных отделов позвоночника за счет оптимизации хирургической тактики.

Задачи:

1. Провести анализ причин развития нестабильности фиксации у пациентов с повреждениями переходных отделов позвоночника.
2. На основе виртуальных биомеханических моделей переходных отделов позвоночника изучить напряженно-деформированные состояния систем «костная ткань позвонков – имплантированная металлоконструкция» при различных нагрузках.

3. Оптимизировать процесс определения типов переломов позвонков за счет взаимной адаптации распространенных классификаций.
4. Разработать систему персонифицированного предоперационного планирования для пациентов с повреждениями позвонков переходных отделов.
5. Определить на основе математической модели оптимальные варианты спондилосинтеза переходных шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового отделов позвоночника.
6. Разработать оригинальные способы хирургического лечения оскольчатых переломов позвонков в переходных отделах.
7. Обосновать эффективность разработанной системы лечения переходных отделов позвоночника на основе анализа результатов ее внедрения в клиническую практику.

Научная новизна

1. Впервые на основе созданных биомеханических компьютерных моделей нормальных, поврежденных и инструментированных переходных зон позвоночника, включающих в себя геометрические твердотельные модели позвонков, межпозвонковых дисков, связок, суставов и стабилизирующих систем с учетом их индивидуальных механических свойств и геометрических параметров, установлены биомеханические особенности переходных зон позвоночника в норме и при патологии, а также в инструментированном состоянии.
2. Впервые для переходных зон позвоночника определены предикторы развития нестабильности спондилосинтеза и остеонекроза позвонков.
3. Впервые для пациентов с переломами позвонков в переходных зонах разработана система предоперационного планирования, включающая использование авторской базы данных «имплантаты» и справочника-переходника по классификациям переломов, защищенных патентами РФ.
4. Впервые разработаны и применены в клинической практике авторские методики хирургического лечения оскольчатых переломов позвонков в области

шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового переходов, защищенные 7 патентами РФ.

5. Впервые показано, что при планировании переднего доступа к переходному шейногрудному отделу позвоночника необходимо оценивать сосудистую анатомию ветвей дуги аорты, а также рентгенологические параметры входа в грудную клетку. Предложен новый рентгенологический показатель – грудинно-шейный угол, позволяющий оценить возможность выполнения переднего доступа без манубриотомии/стернотомии.

6. Впервые установлена целесообразность выбора оптимального вентрального доступа к переходному поясничнокрестцовому отделу позвоночника с учетом расположения бифуркации аорты и нижней полой вены.

7. Разработан и обоснован алгоритм выбора тактики хирургической реконструкции при повреждениях переходных отделов позвоночника с учетом морфологии повреждения, предикторов нестабильности и биомеханических параметров.

Теоретическая и практическая значимость работы

Применение разработанной программы предоперационного обследования пациентов с переломами позвонков в переходных отделах позвоночника повышает точность диагностики повреждений.

Использование разработанного автором «Справочника-переходника по классификациям переломов AO/ASIF и AO Spine», защищенного Патентом РФ, позволяет уточнить место каждого клинического случая перелома позвонков в международной системе классификации, тем самым облегчив выбор оптимальной лечебной тактики.

Планирование спондилосинтеза с учетом выявленных предикторов формирования нестабильности фиксаторов и развития посттравматического остеонекроза позвонков позволяет реализовать персонализированный подход к выбору лечебной тактики, что способствует улучшению результатов лечения.

Предложенная оптимизация хирургических доступов к переходным отделам позвоночника позволяет снизить риск ятрогенных осложнений.

Разработанные автором оригинальные методики спондилосинтеза при оскольчатых переломах позвонков в области грудопоясничного перехода доступны широкому кругу специалистов, не требуют дополнительного сложного оборудования и способны улучшить результаты хирургического лечения пациентов. Результаты полученных исследований рекомендуются для использования в клиниках и центрах, специализирующихся в хирургии травм позвоночника.

Методология и методы исследования

Настоящее исследование посвящено улучшению результатов хирургической реконструкции при повреждениях переходных отделов позвоночника с применением современных возможностей компьютерного биомеханического моделирования, основанного на методе конечных элементов. Результаты моделирования и анализ результатов ретроспективного клинического исследования позволили усовершенствовать алгоритм хирургического лечения травмы шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового переходных отделов позвоночника.

Объектом исследования в данной работе является совершенствование методик хирургического лечения пациентов с повреждением переходных отделов позвоночника. Предметом исследования – современные методы биомеханического моделирования и клиническая оценка результатов хирургического лечения пациентов с посттравматическими нестабильными и потенциально нестабильными повреждениями переходных (шейногрудной, грудопоясничной, поясничнокрестцовой) отделов позвоночника, оперированных с 2010 по 2020 гг. В ходе работы проведено биомеханическое математическое моделирование, основанное на методе конечных элементов, для исследования напряженно-деформированного состояния в переходных зонах интактного и поврежденного

позвоночника, а также в системе позвоночник-имплантат при различных нагрузках и вариантах спондилосинтеза. Результаты экспериментальных исследований и клиническая оценка различных методов спондилосинтеза позволили нам разработать новый алгоритм хирургического лечения с учетом типа повреждения, сроков, прошедших с момента травмы и предикторов развития нестабильности МК. Приступая к исследованию, мы исходили из предположения, что оптимизация тактики хирургической реабилитации при повреждениях переходных отделов позвоночника приведет к снижению частоты послеоперационных осложнений и, как следствию, улучшению результатов лечения.

Положения, выносимые на защиту

1. Спондилосинтез повреждений переходных (шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового) отделов позвоночника требует особого подхода с учетом их биомеханических особенностей. Хирургическая тактика должна учитывать распределение напряжений в системе «позвоночник-фиксатор», а также предикторы развития нестабильности металлофиксации и остеонекроза тела поврежденного позвонка.
2. Для корректного проведения предоперационного планирования следует использовать программу диагностики повреждений позвоночника в переходных отделах при помощи разработанного Справочника.
3. Измерение грудинно-шейного угла по разработанной методике дает возможность оптимизации переднего доступа к области шейногрудного перехода. При выполнении хирургического доступа к поясничнокрестцовому и шейногрудному переходам следует учитывать индивидуальные особенности ангиоархитектоники магистральных сосудов.
4. Улучшения результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями переходных отделов позвоночника можно достичь, применяя разработанные алгоритмы, включающие использование оригинальных хирургических методик, защищенных патентами РФ.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия, области науки: медицинские науки, пунктам 2, 3, 4 направлений исследований.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность и объективность работы подтверждена репрезентативностью совокупностей объектов исследования, достаточным объемом наблюдений и использованием адекватных методов исследования, необходимых для получения валидных статистических данных.

Основные положения данной работы были доложены на конференциях: «Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики» (г. Саратов, 2017, 2018, 2019, 2020 гг); VIII съезд межрегиональной ассоциации хирургов-вертебрологов России с международным участием (г. Иркутск, 2017); Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Цивьяновские чтения» (г. Новосибирск, 2017); XI Всероссийский съезд травматологов-ортопедов (г. Санкт-Петербург, 2018); конференция «Новые технологии в нейрохирургии» (г. Великий Новгород, 2018); X съезд ассоциации хирургов-вертебрологов «RASS» (г. Москва, 2019); конференция «Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie» (г. Берлин, Германия, 2019); IV конгресс «Современные технологии в травматологии и ортопедии» (г. Москва, 2019); 75-е заседание Саратовского регионального отделения Ассоциации травматологов-ортопедов России (г. Саратов, 2020); виртуальный конгресс European Academy of Neurology (2020); VIII ежегодная конференция нейрохирургов Северо-Западного Федерального округа (г. Петергоф, 2021); конференция «Осложнения нейрохирургических операций» (г. Санкт-Петербург, 2022); конференция «Международная научно-практическая конференция «Технологические инновации

в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики» (г. Саратов, 2022); конференция «Eurospine» (г. Вена, 2021); XII Съезд Вертебрологов (г. Москва, 2023).

Апробация диссертационной работы проведена на научной проблемной комиссии по травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России (протокол №5 от 6 июня 2023 года).

Внедрение результатов исследования в практику

Полученные результаты исследования и основные положения диссертационной работы внедрены в клиническую практику отделений Научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.

Материалы исследования используются в преподавании курса травматологии и ортопедии студентам, клиническим ординаторам и аспирантам кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.

Личный вклад автора

Автору принадлежит определяющая роль в проведении всех этапов исследования. Соискателем лично сформулирована общая концепция работы, основанная на результатах анализа актуальной научной литературы, определены основные цели и задачи исследования, разработан его дизайн.

Автором создана электронная база данных больных, проведен статистический анализ результатов, сформулированы выводы и научные положения, разработан алгоритм лечения пациентов и практические рекомендации. На оригинальные методики, предложенные автором в диссертации зарегистрировано 7 патентов на изобретения, свидетельство о регистрации базы данных и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 47 печатных работ, в том числе 9 научных статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета/ Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (из них 1 обзор); 8 статей в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus (из них 1 обзор); 5 – иные (2 из них в журнале, включенном в международную базу Scopus); 16 публикаций в сборниках материалов международных научных конференций; 9 патентов.

Структура и объем диссертации

Материалы диссертации представлены на 404 страницах компьютерного текста, включающего введение, главу обзора литературы, 4 глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 484 источника, из которых 88 отечественных и 396 зарубежных, и 6 приложений. Работа иллюстрирована 180 рисунками и 87 таблицами (1 таблица в приложении).

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Принципы поиска и анализа литературных источников

На сегодняшний день существует около 40 000 рецензируемых журналов, при этом наблюдается устойчивый рост их количества до 4% ежегодно. Для стандартизации поиска литературных данных в данной работе использовали четко определенные параметры: временные рамки (основная доля статей 2010–2021 гг.); русскоязычная и иностранная литература; открытый доступ к статье; возрастной диапазон пациентов (старше 18 лет); клинические и экспериментальные исследования. Применение этого протокола способствовало тому, что обзор литературы:

- 1) основан на анализе соответствующей литературы;
- 2) основан на стратегии всеобъемлющего поиска;
- 3) представляет собой анализ результатов лучших современных исследований (Рисунок 1).

Использовались следующие системы поиска: MEDLINE (PubMed), eLIBRARY.RU, Google Scholar. Детали поиска в MEDLINE (PubMed) и Google Scholar: (spine surgery) AND (humans) AND (adult) AND (Fracture) AND ((lumbosacral) OR (thoracolumbar) OR (cervicothoracic) OR (spine biomechanics)). Детали поиска в eLIBRARY.RU: «переходные отделы/зоны позвоночника», «шейногрудной, грудопоясничной, поясничнокрестцовой переходные отделы/зоны позвоночника», «биомеханика позвоночника», «биомеханическое моделирование позвоночника».

В итоге по интересующей нас теме хирургической реконструкции при патологии переходных отделов позвоночника и биомеханического моделирования позвоночника мы нашли 254 полнотекстовые статьи, опубликованные с 1966 по 2021 гг.

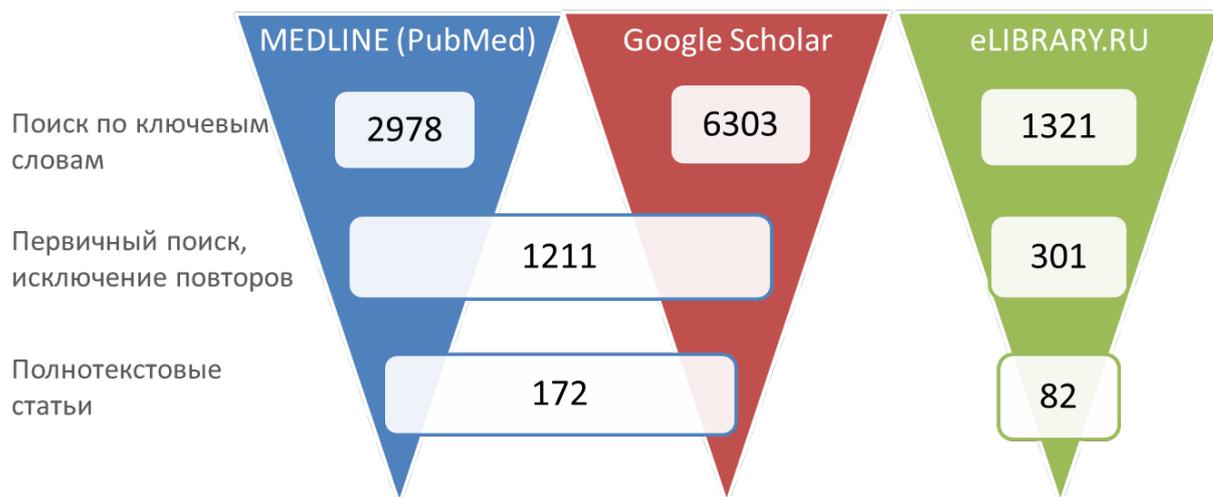


Рисунок 1 – Алгоритм поиска литературы

1.2. Понятие о переходных отделах позвоночника

В настоящее время наиболее актуальным можно считать определение переходных зон (отделов) позвоночника, сформулированное в ходе работы «Симпозиума продвинутого уровня – переходные зоны позвоночника» (Курган, 23–24 июня 2017 г.) ведущими хирургами-вертебрологами общества АО SPINE [61]: «Переходные отделы позвоночника – отделы, расположенные на стыке противоположно направленных сагиттальных изгибов позвоночника, на стыке ригидных и мобильных отделов позвоночника, обладающие уникальными особенностями биомеханики, анатомии и испытывающие повышенные механические нагрузки».

Рассмотрим вопрос литературной освещенности переходных зон позвоночника на примере ГПП как более изученного. В современных литобзорах анализ цитирования является библиометрическим инструментом [159, 405], который используют для количественной оценки влияния статьи на изучение проблемы [433]. Учитывая общедоступность ведущих медицинских журналов в интернете, обзор литературы из источника подробной информации трансформируется в краткое описание основных тенденций и векторов для поиска тематической информации. В настоящее время в литобзорах, выполненных как библиометрический анализ оптимальным считается использование числа

публикаций, кратного пятидесяти: 50 или 100 [410, 411, 433]. С использованием электронного ресурса Web of Science мы провели поиск и выбрали пятьдесят наиболее цитируемых статей, относящихся к вопросам хирургического лечения повреждений ГПП, оказавших влияние на изучение проблемы [54]. Обращает на себя внимание смещение направленности интересов ученых от частных вопросов хирургической тактики, наблюдавшейся в 1980–1990 гг., к проблемам классификаций, алгоритмических подходов и анализу накопленной информации, обсуждающихся в 2000-х гг. Преобладание на сегодняшний день количества исследований с уровнем доказательности II–IV над исследованиями I уровня (Приложение А), по всей видимости, подтверждает целесообразность дальнейшей работы в данном направлении. Изучение информационного поля через призму часто цитируемых статей позволяет увидеть основные тенденции развития вопросов диагностики, классификации и лечения повреждений этой локализации (Рисунок 2).

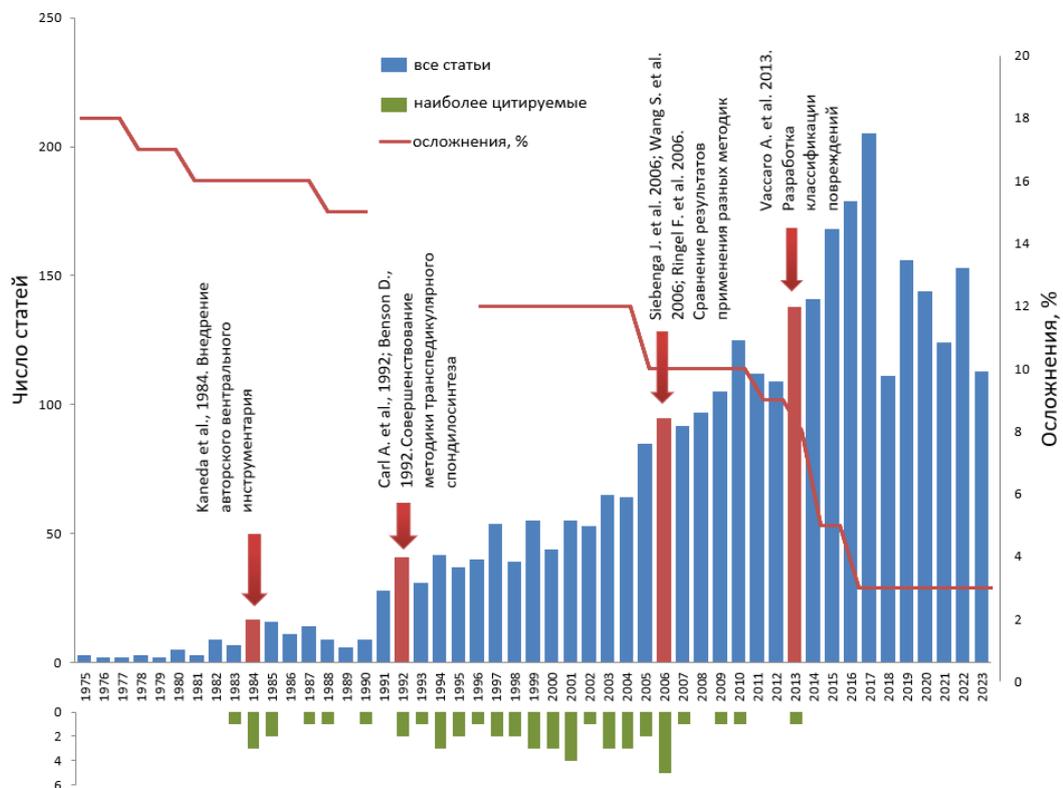


Рисунок 2 – Временная диаграмма публикации статей, посвященных проблемам хирургии груднопоясничного переходного отдела позвоночника, и распределение 50 наиболее цитируемых статей. Диаграмма отражает основные тенденции развития вопросов диагностики, классификации

Первое упоминание о переходных отделах позвоночника в русскоязычной медицинской литературе принадлежит Я.Л. Цивьяну [84]. Повреждениям переходного грудопоясничного отдела позвоночника главу в книге «Рентгенодиагностика заболеваний позвоночника» посвятил в 1983 г. И.Л. Тагер [76]. Фундаментальные отечественные анатомические исследования выявляют закономерности морфометрических параметров позвонков переходных отделов, отличающие их от позвонков других зон позвоночного столба [1].

Термин «опасные зоны», применяемый анатомами, происходит из клинических наблюдений, указывающих, что наиболее часто повреждаются переходные отделы позвоночника: на долю грудопоясничного переходного отдела (Th11-L2) приходится около 60% травм, при этом в 30–70% случаев сопутствуют неврологические осложнения [2, 79, 176, 325].

Н.А. Корж выделяет шейногрудной переход как зону с повышенными требованиями к стабильности МК [25].

В русскоязычных публикациях встречаются синонимические термины: переходный отдел позвоночника, переход позвоночника, переходная зона позвоночника, сочленение позвоночника, шейногрудной, грудопоясничной, поясничнокрестцовый отделы позвоночника [29, 35, 78].

Анализ используемых в англоязычных источниках терминов, обозначающих переходные отделы позвоночника, позволил выявить следующие синонимические ряды: *junction, conversion, transition, transition zone*.

Впервые в одном труде переходные отделы позвоночника – *occipito-cervical, the cervicothoracic, thoracolumbar, and lumbosacral junction* выделяет W. Bailey в статье 1938 года, посвященной аномалиям сегментации позвоночного столба [142]. В контексте повреждений позвоночника приоритет использования *thoracolumbar junction* принадлежит J.D. Ellis, в 1944 отметившим чрезвычайную частоту компрессионных переломов в этой зоне и связавшим это с анатомическими особенностями позвонков, ее составляющих [222]. Впоследствии термин встречается более чем в 15000 статьях рецензируемых журналов, изданных по 2018 г. включительно [256].

Синоним *thoracolumbar conversion* вместе с ранее появившимся *thoracolumbar junction* встречается в 1960 году в контексте аномалий развития скелета в докторской диссертации J.F. Van Pelt, посвященной наследственным болезням обмена веществ [459]. В более поздних источниках термин *thoracolumbar conversion* найти не удалось.

Наиболее раннее упоминание реже используемого определения позвонков переходного грудного и шейногрудного отделов *Thoracolumbar transition* удалось встретить в работах L.E. Kazarian (1975), описывающих типичные повреждения у летчиков [280]. При этом шейногрудной переходный отдел автор называет *cervicothoracic junction*.

Применительно к деформациям позвоночного столба термин *transition* ранее всего использован T. Sahlstrand (1980) в статье о хирургическом лечении идиопатического сколиоза [372]. Всего же в доступной литературе обнаружено более 7000 упоминаний термина *thoracolumbar transition* применительно к переходным отделам позвоночника.

В отношении ПКП анализ источников позволяет говорить о преобладании термина *lumbosacral junction* (более 29000 результатов поиска), причем первая публикация датируется 1914 годом [109]. Z.B. Adams сообщает о роли патологических изменений поясничнокрестцового переходного отдела в формировании сколиотической деформации поясничного отдела позвоночника. Среди доминирующего количества работ, описывающих хирургическое лечение диспластических и дегенеративных изменений данной локализации, всего 89 статей рассматривают травматические разрушения и последующий спондилосинтез люмбосакральной зоны [174, 283, 373].

На втором месте (17 700 источников и 94 оригинальных статьи) по частоте встречаемости находится публикации, в которых ПКП обозначается как *lumbosacral transition* или *lumbosacral transition zone* [211, 397], причем первое упоминание датируется 1961 годом [478]. Основная масса статей шестидесятых-восьмидесятых годов посвящена поясничнокрестцовой стабилизации и диагностике при дегенеративных поражениях ПКП. В 1990–2000-х годах термин

применялся в основном для описания аномалий и вариантов развития L5-S1 перехода [200, 354].

Шейногрудной переходный отдел [345, 480] (безальтернативный термин *cervicothoracic junction* – 381 статья) выделен впервые в 1915 году в обзорной работе, посвященной повреждениям опорно-двигательного аппарата в дорожно-транспортных происшествиях [219]. Лишь в 1980-х годах появились первые сообщения о реконструктивных вмешательствах при травмах и заболеваниях, локализованных в этой области, что связано с развитием к этому времени диагностических и технических возможностей медицины [120, 227].

Обращают на себя внимание различия в количестве позвонков, составляющих переходные отделы. Наиболее наглядно это прослеживается на примере ШГП. В статье Y. Han, посвященной циркулярной реконструкции шейного отдела позвоночника из комбинированного доступа в положении больного сидя, в переходную зону включаются C7, Th1, Th2, Th3 и Th4 позвонки [176]. Основание для этого – сложная топографическая анатомия зоны, скелетотопически соответствующей C7-Th4 позвонкам, высокий риск ятрогенного повреждения органов шеи и средостения. В поисках биомеханически оптимального способа металлофиксации ШГП J. T. Hong использует кадаверный материал C7-Th2 позвонков [475]. Ограничивая шейногрудной переход тремя позвонками, автор основывается на уникальности биомеханики зоны, расположенной на переходе шейного лордоза в грудной кифоз, и, как следствие, легко возникающей и трудно устранимой нестабильности в результате травматического повреждения или литических процессов различной этиологии. Статьи, посвященные хирургическому лечению дегенеративно-дистрофических процессов в ШГП, рассматривают последний как C7 и Th1 позвонки [183, 337]. Применяя предоперационную КТ в планировании передней транспедикулярной фиксации, L. Zhao et al. под шейногрудным переходным отделом понимают C6-C7-Th1-Th2 позвонки [117]. В исследовании безопасности лучевой терапии при метастатическом поражении позвонков шейногрудного перехода M. Sharma et al. понимают под этим отделом позвоночника зону с C5 по Th1 позвонок [261].

Схожая «терминологическая анархия» встречается и в работах, посвященных патологии ГПП. М.К. Ahsan et al. в работе, посвященной сравнению сегментосохраняющего и полисегментарного спондилосинтеза при нестабильных взрывных переломах ГПП, включили в исследование пациентов с повреждениями Th10-L2 позвонков [385]. S. Hoppe et al. в 2017 году публикуют исследование результатов хирургического лечения пациентов со взрывными переломами ГПП [382]. Авторы расширяют число позвонков, входящих в данный переход до 6, от Th10 до L3 включительно. Отечественные авторы придерживаются концепции о ГПП, состоящем из четырех позвонков: Th11-L2 [15]. Обоснованием этого служат особенности рентгенометрии и морфометрии, частота встречаемости повреждений, типичные именно для данных позвонков особенности морфологии перелома. В диссертации, посвященной оптимизации тактики хирургического лечения травматических повреждений в переходном грудопоясничном отделе позвоночника, А.Е. Шульга выявляет особенности строения, а также закономерность разрушения Th11-L2 позвонков под воздействием высокоэнергетической травмы, позволяющие вычленить ГПП в отдельную анатомо-функциональную единицу [15].

По данным литературы все упоминания о ПКП как в контексте травматических повреждений [374], так и дегенеративных и диспластических процессов [327, 330] определяют его как совокупность L5 и S1 позвонков. Исключение составляют аномалии данного отдела: в его состав может включаться переходный поясничнокрестцовый позвонок или L5-L6 позвонки (в зависимости от номенклатуры, которой придерживается автор) [22, 391].

В отечественных клинических рекомендациях по лечению острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых 2013 года ШГП и ГПП по тактике хирургической реконструкции не обособляются, однако приведено подробное описание хирургической тактики при нестабильном переломе L5 позвонка (типы А2, А3, В1-В3, С1-С3). Предлагается транспедикулярный спондилосинтез L3-4-S1, дополненный при разрушении тела L5 передним минимально инвазивным корпородезом L4- S1 лифтовым протезом

тела позвонка и аутокостью. При возможности сохранения тела L5 позвонка предлагается выполнить дискэктомию L4-5 и L5-S1 и заместить эти диски костными трансплантатами [65].

В клинических рекомендациях по лечению перелома (вывиха) грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника, утвержденных в 2021 году ассоциацией травматологов-ортопедов России (АТОР), также не индивидуализирован подход к спондилосинтезу переходных зон позвоночного столба. Акцентируется внимание на отсутствие различий в эффективности различных подходов (транспедикулярный спондилосинтез, вентральный и циркулярный спондилосинтез) в отношении эффективности лечения пациентов с травмой позвоночника [23].

В электронном ресурсе международной Ассоциации Ортопедов AO Surgery Reference в разделе, посвященном диагностике, классификации, определении хирургической реконструкции при травме позвоночника, не уделено отдельного внимания переходным шейногрудному, грудопоясничному и поясничнокрестцовому отделам [134]. При этом авторы портала признают существование переходных отделов, описывая передний и задний доступы к шейногрудному переходу, называя его как *cervico thoracic junction*, так и *thoraco cervical junction* на одной веб-странице и приводя некоторые варианты инструментирования переходной зоны в разделе, посвященной переломам C3-C7 позвонков. Подробно описан передний хирургический доступ к L4-L5-S1 позвонкам. И ГПП, и ПКП отделам отказывается в индивидуальных приемах спондилосинтеза.

Отсутствие терминологического единства в мировой литературе, посвященной переходным отделам позвоночного столба, говорит о недостаточной систематизации данных о патологии и методиках реконструктивной хирургии ШГП, ГПП и ПКП. Кроме того, по данным литературы, на сегодняшний день не сформировалось четкого понимания о количестве позвонков, включаемых в состав наиболее подверженного повреждению ГПП и чрезвычайно сложного для хирургической реконструкции ШГП. В отечественных клинических и зарубежных

рекомендациях по выбору тактики лечения пациентов с травмой позвоночника не алгоритмизирован подход к спондилосинтезу при повреждениях ШГП, ГПП и ПКП. При этом исследователю доступен огромный объем посвященных этой теме литературных источников и все инструменты для уточнения границ данных анатомо-функциональных образований. На сегодняшний день накоплен значительный клинический материал, отработаны методологии морфометрического и рентгенометрического, биомеханического исследований, позволяющие решить эту задачу.

1.3. Шейногрудной переходный отдел

Шейногрудной переход (ШГП) – область позвоночника, характеризующаяся биомеханическим переходом от подвижного шейного лордоза к малоподвижному грудному кифозу [266]. Согласно определению Wang et al., ШГП включает в себя С7 и Th1, диск между ними и связки данных позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) [472]. Другие исследователи дополнительно включают Th2 и иногда, Th3 позвонки при обсуждении ШГП. При повреждениях, затрагивающих Th2 и Th3 позвонки, хирурги часто сталкиваются с аналогичными трудностями при переднем доступе. Кроме того, протяженность фиксации при травме ШГП, часто предполагает инструментирование позвонков Th2 и/или Th3.

По данным различных авторов, переломы ШГП составляют от 2 до 9% всех переломов шейного отдела позвоночника [227, 333, 345, 385]. D.K. Evans в 1983 г. опубликовал данные одной из крупнейших серии случаев повреждений шейного отдела позвоночника (ШОП) за 26-летний период, в котором он выявил 14 случаев поражения ШГП из 587 (2,4%) [227] (Таблица 1).

Причиной травмы ШГП в большинстве случаев является дорожно-транспортное происшествие [300] и ныряние на мелководье [331], реже – низкоэнергетическая травма при болезни Бехтерева [389]. D.K. Evans отметил, что почти 2/3 повреждений не диагностированы при первичном обследовании [227]. Частота нераспознанных поражений ШГП колеблется от 4,5% до 33% [161, 415].

Таблица 1 – Частота повреждения ШГП (С7-Th1) при травме ШОП

Автор	Год	Период	Всего травм ШОП	Травма ШГП	
Evans D.K. [227]	1983	26 лет	587	14	2,4%
Nichols C.G. et al. [333]	1987	5 лет	397	37	9%
Gisbert V.L. et al. [263]	1989	5 лет	1100	22	2%
Amin A. et al. [114]	2005	5 лет	156	7	4,5%

Травма ШГП – редкая патология, требующая своевременной диагностики и лечения для достижения оптимальных результатов и профилактики неврологического дефицита. Эта область вследствие особенностей ее биомеханики является потенциально более опасной в отношении развития первично нестабильного (по F. Denis) повреждения, так же как грудопоясничный и поясничнокрестцовый переходы (ГПП, ПКП) [210].

Нестабильное повреждение на уровне С7-Th1 приводит к увеличению кифоза с последующим сужением позвоночного канала и повреждением спинного мозга. Это связано со сдавлением нервных структур на фоне малого диаметра позвоночного канала и незначительностью резервных пространств спинномозгового канала в верхнегрудном отделе позвоночника, а также с сосудистой недостаточностью и ишемическим повреждением спинного мозга из-за плохого кровоснабжения нижнешейного отдела. Позднее выявление травмы ШГП приводит к формированию или усугублению неврологического дефицита [226]. Таким образом, при подозрении на травму ШГП следует проводить дополнительные визуализирующие методы исследования, такие как рентгенография в позе ныряльщика, компьютерная томография (КТ) или магнитно-резонансная томография (МРТ) [440]. При острой травме МРТ может оказаться особенно полезна для выявления повреждения спинного мозга и оценки повреждения связок [250, 417], а также для выявления травматической грыжи диска и оценки положения поврежденного диска С7-Th1 до репозиции [114]. Также описано применение цифровой рентгенографической системы EOS, позволяющей получить изображение всего осевого скелета со значительным снижением дозы облучения [469].

Отдельную проблему представляет собой экстраполяция существующих классификаций на повреждения переходных отделов позвоночника [69, 70]. Говоря о классификации травмы ШГП, следует рассмотреть подход к систематизации субаксиальных повреждений в совокупности с повреждениями грудных позвонков. В доступной литературе выявлено несколько публикаций, которые позволяют классифицировать повреждения С7-Th1 позвонков [14]. В.L. Allen и R.L. Ferguson в 1982 г. создали на основании 165 случаев классификацию, подразделяющую все травмы на 6 групп: компрессионно-сгибательные, вертикально-компрессионные, дистракционно-сгибательные, компрессионно-разгибательные, дистракционно-разгибательные и латерально-сгибательные травмы [92]. Позднее М. Aebi et al. [110] для субаксиальных травм применили несколько видоизмененную классификацию повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника AO/ASIF (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation), которая в дальнейшем была неоднократно усовершенствована [83, 136, 301]. Классификация AO/ASIF spine базируется на особенностях приложения травмирующей силы и морфологии травмы. Все повреждения подразделяются на 3 типа – А, В и С. Каждый тип в свою очередь подразделяется на три подтипа, которые в свою очередь включают в себя по три подгруппы (Приложение Б) [110].

Классификация AO/ASIF, несмотря на общепризнанность, не лишена ряда недостатков: громоздкость – на конце алгоритмического дерева находится 27 вариантов, что крайне неудобно для практической работы, низкая повторяемость [139]. Эта классификация основана на данных рентгенологического исследования и не использует возможности современных высокоинформативных методов диагностики (КТ, МРТ). Нет рекомендаций по оптимальному методу лечения при том или ином типе повреждения. Классификация не учитывает неврологический статус, который является важным компонентом определения тактики лечения [9, 479]. Для устранения этих недостатков в 2007 г. были предложены другие классификации, основанные на бальной системе оценки травмы шейного отдела позвоночника: SLIC (the subaxial injury classification); CSISS (cervical spine injury

severity score) [9, 14, 172, 177, 182]. Обе классификации позволяют определить стабильность повреждения и тактику лечения (Приложение В).

В 2007 году P. Anderson et al. предложили систему CSISS с балльной оценкой на основе повреждения каждой из четырех опорных колонн шейного отдела позвоночного столба (передняя, задняя, правая и левая боковые) [172]. Повреждения костей и связок оценивают по каждой колонне по 5-балльной шкале. При сумме баллов 7 и более рекомендовано хирургическое лечение [172, 481]. Эта система позволяет избежать субъективных критериев и использует данные КТ и МРТ для определения характера перелома. Классификация не позволяет выбрать конкретный метод лечения для каждого типа повреждений [14].

A.R. Vaccaro et al. разработали классификацию SLIC, которая основана на оценке шести следующих критериев: уровень травмы, морфология повреждения, костные повреждения, повреждения межпозвонкового диска, передней и задней продольных связок, межкостистые связки, суставная капсула и желтая связка, неврологический статус, сопутствующая патология [423]. Хирургическое лечение показано при сумме баллов более 4; при сумме менее 4 баллов – ортезотерапия (Приложение В).

При сравнении различных классификаций наибольшая воспроизводимость и наиболее точные и объективные данные были получены при использовании классификаций SLIC и CSISS [172, 424].

При выявлении травмы ШГП основными задачами лечения являются немедленная иммобилизация, хирургическая репозиция и фиксация фрагментов и ранняя реабилитация. Различия в анатомии шейного и грудного отдела позвоночника делает травму ШГП сложной хирургической задачей, важной частью которой является достижение биомеханической устойчивости конструкции [345]. Все варианты спондилосинтеза ШГП до сих пор служат объектом для дискуссии [40, 454].

При травме ШГП обычно наблюдается повреждение связок и дугоотростчатых суставов, что является причиной дислокаций [28, 110, 336, 394]. Известно применение для закрытой репозиции вытяжения за кости черепа [394].

По данным литературы, спондилосинтез обычно удается осуществить в течение 3 дней после травмы [336, 394].

Историю активного лечения травмы шейного отдела позвоночника можно начать с 1886 г., когда американский хирург Н.Л. Burrell использовал при лечении травмы шейного отдела позвоночника тракцию и иммобилизацию гипсовой повязкой [165]. Н.Л. Burrell обосновал необходимость декомпрессивной ламинэктомии и опубликовал результаты лечения 244 пациентов с подобными травмами. В 1929 г. А.С. Taylor при травме шейного отдела позвоночника предложил метод вытяжения петель, фиксированной к голове, с последующей иммобилизацией гипсовым воротником [407]. Halo-фиксатор является наиболее часто используемым устройством для иммобилизации при нестабильности шейного отдела позвоночника, однако описаны неудовлетворительные результаты иммобилизации Halo-фиксатором в нижнешейном отделе – инфицирование в месте введения штифтов, пролежни, повреждение периферических нервов, повреждение твердой мозговой оболочки, дисфагия, выраженный дискомфорт от штифтов и обезображивающие рубцы [476].

Эволюция методов погружного хирургического остеосинтеза ШГП началась с задней фиксации (Рисунок 3). В.Е. Hadra [252] в 1891 году первым описал метод задней фиксации с использованием проволочного серкляжа вокруг остистых отростков С5/6 позвонков, используемый до сегодняшнего дня в различных модификациях [161, 369].

Следующим этапом стала разработка в 1960 г. переднебокового шейного доступа [141] и развитие методов передней фиксации. Из-за формирования в послеоперационном периоде вторичного кифоза с неврологическими осложнениями [309] было предложено дополнять проволочный серкляж опорным межтеловым трансплантатом [184]. Еще в 1984 г. задний серкляж считался «методом выбора» [169]. Тактика лечения изменилась к концу XX века, когда повсеместно передний доступ с опорным корпородезом стал предпочтительным методом лечения [164, 302].



Рисунок 3 – Эволюция методов хирургической фиксации шейногрудного перехода

В начале 1970-х годов стала очевидной необходимость применения фиксации для профилактики вывиха трансплантата. Внедрены различные варианты пластин для передней фиксации. Следующим этапом стала разработка пластин с угловой стабильностью [326, 343]. Одним из существенных недостатков аутокостного трансплантата является потенциальная возможность его резорбции и потери достигнутой коррекции [398]. Этапом развития хирургии стало использование для межтелового спондилодеза титановых сетчатых кейджей (MESH). Подобные имплантаты стали широко использоваться с 1986 г. [296]. Также, помимо конструкций из титана и его сплавов, появились новые опорные имплантаты из биоинертных материалов типа РЕЕК (полиэфирфиркетон) и имплантаты с остеointegrационными свойствами [199, 247, 431]. В настоящее время подобные имплантаты стали неотъемлемой частью передней фиксации при травме ШГП.

История задней винтовой фиксации при травме шейного отдела позвоночника началась с предложенной Roy-Camille установки винтов в латеральные массы на уровне С2-С6 [268]. В дальнейшем было предложено

множество модификаций задней винтовой фиксации [328, 349]. В 1994 г. K. Abumi предложил транспедикулярную фиксацию на уровне С3-С7 [436]. Трансламинарная стабилизация с введением винта в С7 позвонки предложили в 2008 г. J.T. Hong et al. [475]. Первое клиническое исследование по оценке безопасности и эффективности систем задней винтовой фиксации при травме ШГП было проведено В. Jeanneret в 1996 году [274]. Из-за анатомической особенности ШГП проблемой такой фиксации является сложность монтажа стержня или пластины к винту, введенному в боковые массы или в дугу позвонка на уровне С7 к транспедикулярному винту на уровне Th1 позвонка. На очень коротком расстоянии между головками винтов существует значительное поперечное смещение. Проблема была решена с помощью применения полиаксиальной системы винт-стержень [392].

Существенным препятствием для успешного хирургического вмешательства на шейногрудном переходе является сложность интраоперационной визуализации. Достижения в технологиях визуализации и применение современных систем интраоперационной навигации оказали хирургам существенное подспорье при лечении травм ШГП [107, 108, 257].

Доступы к ШГП можно разделить на 4 основные группы: задний, заднебоковой, передний и переднебоковой [95]. Задний доступ (ламинэктомия, транспедикулярный доступ) может использоваться при биопсии или удалении опухоли, вызывающей разрушение задних элементов позвоночника, но имеет ограниченное применение при лечении травм из-за плохой экспозиции передних элементов позвоночника [236, 336, 389, 394]. Заднебоковой доступ (костотрансверзэктомия и боковой внеполостный доступ) менее инвазивный, чем торакотомия, и может быть предпочтителен при биопсии, доступе к межпозвоночным дискам [379] и при поражении латеральной части тела позвонка, особенно у соматически тяжелых пациентов, которым противопоказана торакотомия [144, 394]. Однако лопатка существенно ограничивает боковой внеполостной доступ к верхнегрудным позвонкам. В 1991 году R.G. Fessler et al. [291] описали боковой экстраплевральный доступ, который обеспечивает доступ

ко всем верхним грудным позвонкам от Th1 до Th4 при декомпрессии, корпорэктомии и реконструкции позвонков. Недостатком такого доступа являются длительность операции (10–12 часов), большая кровопотеря и невозможность экспозиции C7 позвонка.

Задний доступ позволяет добиться прочной стабилизации, избегая при этом риска повреждения органов средостения при переднем доступе [331, 396, 472]. Задняя фиксация позволяет восстановить большую часть стабильности при двухколонном повреждении ШГП, но не при трехколонном повреждении [440]. Ограничением дорсального подхода является не только невозможность реконструировать разрушенную переднюю колонну, но и необходимость применения полисегментной системы фиксации [396, 454]. Известны варианты коррекции трехколонной травмы на уровне ШГП с применением транспедикулярной фиксации (ТПФ) и последующей установкой кейджа без передней стабилизации [396]. Переходная анатомия нижнешейного и верхнегрудного отделов позвоночника усложняет задачу инструментирования ШГП [345]. Внедрение методов интраоперационной КТ-навигации увеличило безопасность транспедикулярного спондилосинтеза на уровне ШГП [108].

Описано несколько вариантов задней фиксации при травме ШГП [95]. P.J. Wilson et al. предлагают компоновку дорсальных фиксирующих систем, включающую транспедикулярное инструментирование верхнегрудных позвонков, фиксацию субаксиального отдела позвоночника винтами, проведенными через боковые массы позвонков, и интраламинарное введение винтов в C7 позвонок [477]. Кадаверное биомеханическое исследование R.M. Kretzer et al. не выявило значительных различий в стабильности подобной фиксации при добавочном вентральном инструментировании. Трансламинарная фиксация верхнегрудных позвонков (Th1, Th2) менее предпочтительна, чем транспедикулярная [414]. При этом трансламинарная фиксация в переходной C7-Th1 зоне может рассматриваться и как альтернативная при утрате анатомических ориентиров в ходе ревизионных вмешательств или нестабильности ранее установленных опорных элементов [475]. В кадаверном исследовании J.M. Rhee et al. изучили множество вариантов задней

фиксации в шейногрудном переходе и пришли к выводу, что транспедикулярная фиксация винта в С7 обеспечивает максимальную стабилизацию ШГП. Однако, если инструментирование ножки С7 невозможно, то выполнение двухуровневой трансламинарной фиксации С6 и С7 позволит получить конструкцию с аналогичной жесткостью, за исключением осевого сжатия [363]. Хотя в биомеханическом исследовании *in vitro* M.J. McGirt et al. показали, что и трансламинарные, и транспедикулярные винты обеспечивают одинаково стабильную фиксацию на ШГП [152].

A.B. Bayoumi et al. в своем обзоре, посвященном биомеханическим исследованиям задней фиксации в области ШГП (22 статьи), показали, что позвонок С7 может адаптироваться к различным вариантам заднего инструментирования [345]. Выбор правильной техники и инструмента необходимо планировать индивидуально в соответствии с предоперационной визуализацией для снижения риска повреждения нервных и сосудистых структур [180, 345]. Значительное улучшение стабильности было отмечено при использовании трансламинарных или транспедикулярных винтов вместо крючков [154].

Травмы ШГП, к счастью, явление редкое. Это, увы, компенсируется возникающей в большинстве случаев потребностью в работе непосредственно на телах позвонков. Особенности топографической анатомии по ходу вентрального доступа предполагают высочайший уровень хирургической техники [440]. Передние доступы к ШГП включают нижнешейный, трансклюичный, трансманубриальный, транстернальный, модифицированный транстернальный доступ, комбинированный шейный и грудной и трансторакальный доступ [95].

Эффективность переднего доступа при поражении ШГП общеизвестна [483]. J.W. Fielding and W.T. Stillwell [237] впервые сообщили о переднем нижнешейном доступе к ШГП в 1976 году. H.S. An et al. [394] опубликовали большую серию (36 пациентов) с поражением ШГП в 1994 году, в которой использовали ту же технику у 7 пациентов. Многие авторы предлагают использовать такой доступ для достижения нижнешейных и верхнегрудных позвонков [95, 359]. Однако, хотя этот подход мало травматичен, он не позволяет получить хорошую визуализацию и

выполнить реконструкцию ниже Th1-Th2 позвонка, особенно при выраженной кифотической посттравматической деформации, врожденном высоком расположении рукоятки грудины и короткой шее [95, 406]. Этот доступ рекомендуется для простой дискэктомии и межтелового спондилодеза на уровне C7-Th1 или при биопсии опухоли [95].

Особенности выполнения переднего доступа обусловлены кифозом верхнегрудного отдела позвоночника, который затрудняет локализацию тел позвонков из-за глубины их расположения в операционной ране, а наличие сосудисто-нервных и костных препятствий ограничивает передний хирургический доступ к ШГП [173, 286, 303, 319]. Повреждение брахиоцефальных вен, грудного протока и возвратных гортанных нервов – серьезное осложнение [438]. A.D. Sharan et al. показали, что тела позвонков Th2 и Th3 в большинстве случаев соответствуют уровню яремной вырезки рукоятки грудины [377], а Th4-Th5 позвонки – уровню синхондроза рукоятки с телом грудины [236]. Считается, что стандартный нижнешейный доступ по Cloward обеспечивает достаточную экспозицию до Th2 позвонка, доступ с пересечением рукоятки грудины – до Th3 позвонка, а латеральный трансторакальный доступ – ниже Th3 позвонка [95]. Несмотря на то, что большинством авторов описывается возможность при нижнешейном доступе инструментирования Th1 и даже Th2 позвонка [95, 218, 320, 406], но в реальной клинической практике мы сталкиваемся с индивидуальными анатомическими особенностями [95, 320, 406].

Известно несколько рентгенографических показателей нижнешейного отдела позвоночника: линия межпозвонкового диска, угол входа в грудную клетку (TIA – thoracic inlet alignment), проекционный угол (Рисунок 4).

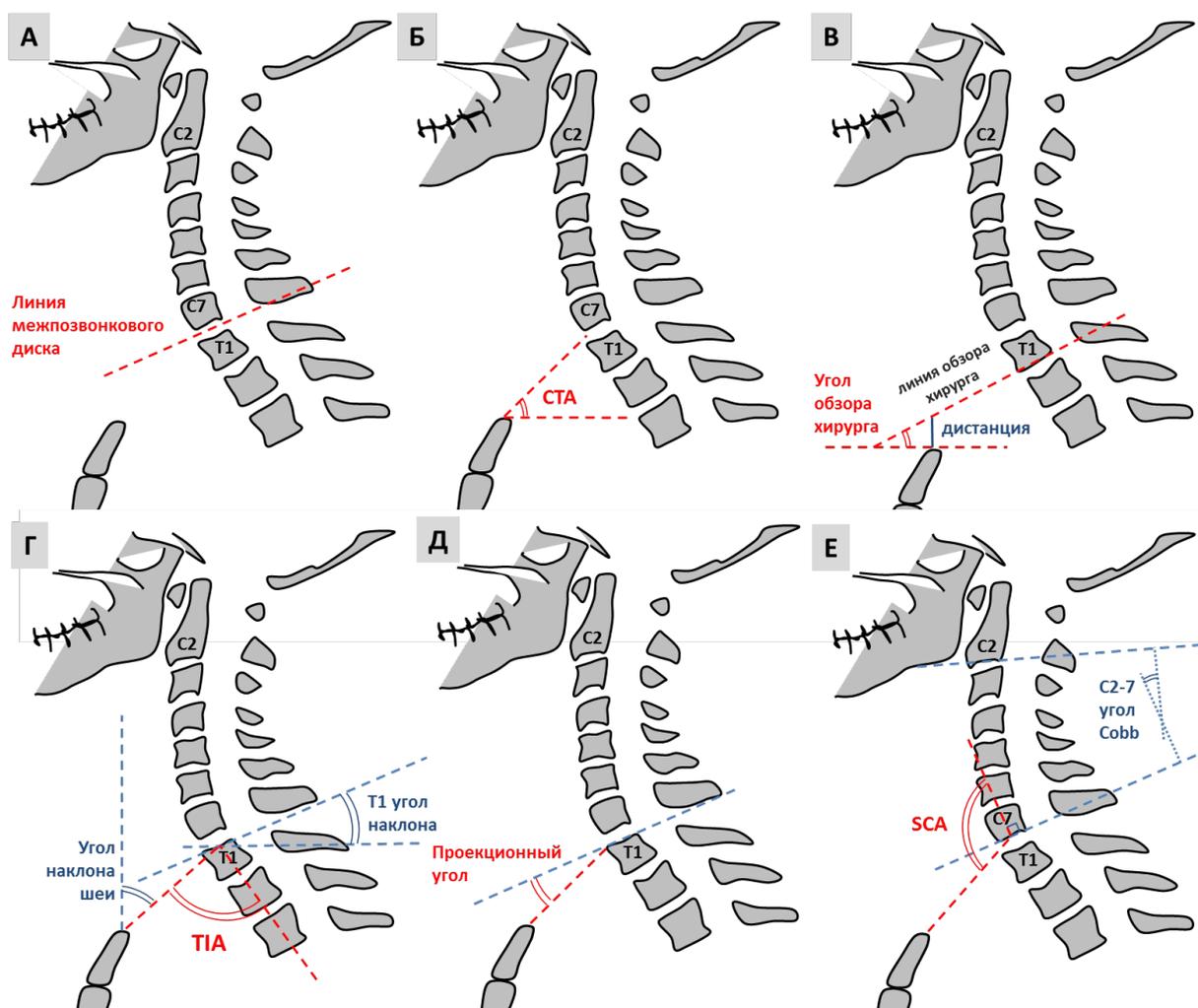


Рисунок 4 – А – линия межпозвонкового диска. Б – шейногрудной угол. В – угол обзора хирурга. Г – угол входа в грудную клетку. Д – проекционный угол. Е – грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle)

Самым простым рентгенологическим параметром является *линия межпозвонкового диска* (прямая линия, проходящая параллельно через дисковое пространство и над рукояткой грудины). По данным I.O. Karikari et al. доступ к C7-Th1 через простой нижнешейный доступ возможен у 77% пациентов (Рисунок 4) [279].

Н. Teng et al. в 2009 г. предложили для определения объема операции в зависимости от локализации поражения использовать *шейногрудной угол* (CTA – cervicothoracic angle) между горизонтальной линией от вырезки рукоятки грудины до переднего края соответствующего позвонка и линией, соединяющей рукоятку грудины и середину передней границы межпозвонкового диска C7/Th1. У большинства пациентов с поражением ШГП применим стандартный

нижнешейный супрастернальный доступ или комбинированный доступ с манубриотомией и сохранением грудино-ключичных суставов [400].

В 2011 г. A. Falavigna et al. представили идею так называемой «*линии обзора хирурга*» (параллельную нижней замыкательной пластины здорового позвонка или позвонка над грыжей межпозвонкового диска) в качестве ориентира при принятии решения о необходимости манубриотомии [234]. Эта линия похожа на линию межпозвонкового диска, но более точна.

Н.М. Xu et al. проанализировали 222 МРТ ШГП в срединно-сагиттальном срезе [305]. Авторы исследовали угол между линией обзора хирурга и горизонтальной линией, проходящей через верхнюю точку рукоятки грудины, а также дистанцию между рукояткой грудины и линией обзора хирурга (Рисунок 4).

S.H. Lee et al. в 2012 г. описали *угол входа в грудную клетку* (ТИА) как угол, образованный линией от вершины рукоятки грудины к середине верхней замыкательной пластинки Т1 позвонка и линией, перпендикулярной верхней замыкательной пластинке (Рисунок 4) [418]. Высока корреляция нового показателя с другими параметрами сагиттального баланса. В связи с относительной неподвижностью комплекса грудина-ребра-Th1 позвонков, ТИА является фиксированным параметром, не зависящим от положения тела.

В 2021 г. J.F. Baker [143] предложил еще один параметр для оценки переднего доступа к ШГП. *Проекционный угол* – угол, образуемый линией, проходящей вдоль верхней замыкательной пластинки тела позвонка (С7-Th2), и линией, проходящей от передневерхнего угла тела позвонка к рукоятке грудины (Рисунок 4). Проекционный угол был положительным, если проекция находилась над рукояткой. Авторы сделали вывод, что по мере приближения ТИА к 105 градусам доступ к С7/Th1 может оказаться более сложным.

Если требуется доступ к поражению до уровня Th3, как правило, применяется трансстернальный или трансманубриальный доступ [95, 218]. Стернотомия как способ обеспечить адекватный обзор операционной раны впервые предложена J. Cauchoux et al. в 1957 г. при хондросаркоме Th3 позвонка [170] (Рисунок 5). Предпосылками к разработке доступа явились невозможность спуститься ниже Th1

позвонка из стандартного доступа к шейному отделу позвоночника, а также из трансплеврального доступа к верхнегрудным позвонкам – подняться к нижнешейным. A.R. Hodgson et al. [130] отметили 40%-ную смертность при использовании стернотомии и рекомендовали переднебоковую торакотомию для доступа к шейногрудному переходу, при которой смертность составила всего 4%. Однако при переднебоковой торакотомии лопатка и верхние ребра ограничивают доступ к нижнешейному отделу позвоночника. R. Louis [298] для доступа к C2-Th5 позвонкам предложил объединить срединную стернотомию с передним доступом Смита-Робинсона [368].

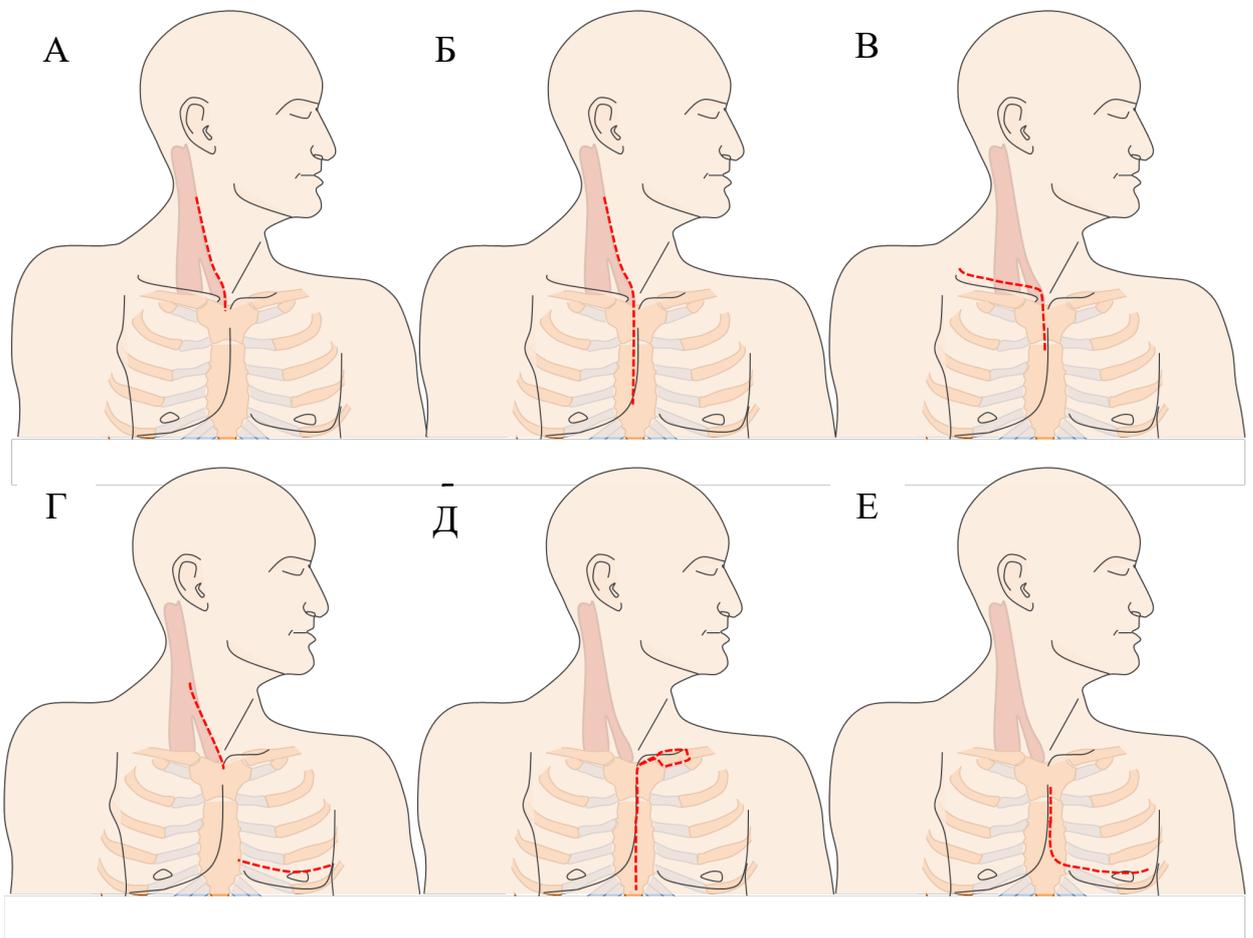


Рисунок 5 – Варианты переднего доступа к шейногрудному отделу позвоночника:

А – нижнешейный доступ [237]; Б – стандартный нижнешейный доступ и срединная стернотомия [170]; В – надключичный доступ с манубриотомией [286];

Г – стандартный нижнешейный доступ и переднебоковая торакотомия [130];

Д – частичная верхняя стернотомия с резекцией медиальной трети ключицы [399];

Е – частичная стернотомия и переднебоковая торакотомия по 4 межреберью [329]

В 1984 г. N. Sunderasan et al. [399] повторно популяризировали транстернальный доступ с некоторыми модификациями. Они выполняли Т-образный разрез, резецируя часть рукоятки грудины и пересекая ключицу (Рисунок 5). Они использовали этот подход у 7 пациентов с опухолевым поражением на уровне ШГП с нулевой операционной летальностью.

L.T. Kurz et al. предложили надключичный доступ с манубриотомией [286]. Известно использование только односторонней манубриотомии или сохранение прикрепления грудинно-ключичнососцевидной мышцы к ключице [99, 300]. F. Lesoin et al. [99] выкраивали лоскут путем двусторонней остеотомии медиальной трети ключицы и центральной части рукоятки для сохранения грудино-ключично-сосцевидной мышцы. Эти доступы успешно применялись при поражении на уровне Th3 [95, 99, 127, 300, 303]. Необходимость пересечения ключицы и риск несращения ее остается значимой проблемой [158]. Предложенные модифицированные трансманубриальные доступы G.E. Darling et al. [208] и Z.M. Xiao et al. [404] позволяют достигнуть уровня Th4, а иногда и Th5 позвонка. Однако при этом обеспечивается довольно узкий доступ к позвоночнику шириной не более 4 см [319]. K.D. Luk et al. [303] применили двустороннюю манубриотомию, которая обеспечивает ширину операционного поля около 8 см, но при этом необходима поперечная остеотомия грудины и перевязка внутренних грудных артерий с обеих сторон. Стернотомия, резекция части ключицы и рукоятки грудины могут вызвать хроническую боль, расхождение грудины, несращение ключицы и нестабильность грудино-ключичного сочленения [174, 297]. H.Q. Lee et al. предложили модифицированный передний доступ с манубриотомией по J-типу [199]. Доступ обеспечивает подход к шейногрудному переходу без полной срединной стернотомии.

При поражении ниже уровня Th4, необходимо выполнять торакотомию [187, 359]. Описано применение переднебоковой торакотомии [123, 243] или бокового экстраплеврального параскапулярного доступа [290]. Доступ может вызвать денервацию нижней части трапецевидной мышцы и нарушение подвижности лопатки [312].

Описаны некоторые модифицированные специфические доступы, такие как создание «люка» (Trap door) [329], доступ через окно между аортой и поллой веной [131], надманубриальный эндоскопический доступ [315], трансклюичный доступ [285]. Описанный J.M. Nazzaro et al. доступ включает вертикальный разрез, стернотомию от рукоятки грудины до четвертого межреберья и горизонтальный разрез в том же межреберье [329]. Для подавляющего большинства поражений позвоночника такая широкая экспозиция излишняя. В большинстве случаев достаточно частичной резекции рукоятки грудины в области яремной вырезки [59].

Травматичность переднего доступа, необходимость участия торакального хирурга, проблемы со сращением грудины заставляют искать менее инвазивные альтернативы [314, 315]. Описаны торакоскопические вмешательства на уровне Th4 и каудальнее [95], предложены модификации малоинвазивных доступов к шейногрудному переходу, в том числе с интраоперационной КТ-навигацией [318].

При анализе литературы, посвященной хирургическому лечению ШГП, обращает на себя внимание преобладание описания единичных клинических случаев и исследований *in vitro* (Таблица 2). Связано это с редкостью подобных повреждений и со сложностью хирургических вмешательств, что затрудняет набор больших групп пациентов для клинических исследований. Сравнение результатов передней и задней фиксации затруднительно из-за того, что в то время, когда преобладали задние вмешательства (1960–1990-е года), не существовало общепринятых параметров оценки биомеханики и функции имплантатов шейного отдела позвоночника [169, 249, 454]. До середины 1980-х годов термин «спондилодез» повсеместно использовался при всех операциях вне зависимости от наличия фиксации или без нее. Простую имплантацию аутокостного трансплантата, конечно, нельзя сравнивать с современными методами передней фиксации [454].

Таблица 2 – Статьи, посвященные хирургическому лечению травмы переходного шейногрудного отдела позвоночника

Автор	Год	п всего (травма)	Уровень	передняя фиксация	задняя фиксация	комбинированная
LeSoin F. et al. [99]	1986	8 (2)	Th1-Th4	2		
An H.S. et al. [394]	1994	36 (18)	C7-Th3	3	13	2
Chapman J.R. et al. [343]	1996	23 (23)	C7-Th4		23	
Sapkas G. et al. [336]	1999	10 (6)	C7-Th1		3	3
Resnick D.K. [359]	2002	8 (3)	C7-Th4	3		
Amin A. et al. [114]	2005	7 (7)	C6-Th1		2	1
Kaya R.A. et al. [95]	2006	17 (10)	C7-Th3	5	3	2
Lenoir T. et al. [331]	2006	30 (30)	C7-Th3		30	
Prabhakar M.M. et al. [351]	2006	14 (2)	C6-Th2	2		
Pointillart V. et al. [127]	2007	30 (2)	Th1-Th4	2		
Ramieri A. et al. [396]	2011	33 (21)	C7-Th3	1	16	4
Wilson P.J. et al. [477]	2017	10 (6)	C7		6	
Tobin M.K. et al. [370]	2019	7 (7)	C7-Th1		7	
Obeidat M. et al. [334]	2019	12 (6)	C4-Th2		6	
Liu K. et al. [294]	2019	93 (93)	C3-Th1	63		30
Alsofyani M.A. et al. [440]	2020	1 (1)	C6-Th2			1
Balestrino A. et al. [403]	2021	36 (36)	C7-Th1		36	

Проведено несколько исследований, сравнивающих переднюю и заднюю фиксацию при поражении нижнешейного отдела позвоночника [117, 187, 360]. Задний доступ позволяет добиться репозиции шейного отдела позвоночника при хорошем послеоперационном восстановлении. Он может сопровождаться неадекватной визуализацией тела позвонка, необходимостью полисегментарной фиксации и потребностью в дополнительной передней фиксации, ухудшением неврологического статуса, длительными послеоперационными болями [95, 158, 286, 329, 406]. Передняя фиксация, по мнению ряда авторов, помимо большей стабильности, обладает такими преимуществами как: меньшее ятрогенное повреждение мышц, низкая частота инфекций, снижение риска вторичного

повреждения спинного мозга [115, 208, 399]. В.К. Kwon et al. (уровень доказательности исследования 1) выделили преимущества переднего доступа: меньший болевой синдром после операции, меньше инфекционных осложнений, более высокий уровень сращения [96]. С ним солидарны К. Arumalla et al. (2021) [126].

В проспективном рандомизированном контролируемом исследовании проведено сравнение передней и задней стабилизации у 52 пациентов с нестабильными повреждениями шейного отдела позвоночника и миелопатией [190]. D.S. Brodke et al. не выявили значительных различий в неврологическом статусе, результатах спондилодеза, послеоперационной боли и осложнениях. Однако при двусторонних переломовывихах и особенно застарелых повреждениях частота неудачной репозиции при переднем доступе может достигать 25–40% [100, 399], что требует дополнительного заднего доступа. В ретроспективном исследовании J.A. Voockvar et al. в 2001 г. [360] передняя стабилизация ШГП сопровождалась несостоятельностью МК, что потребовало ревизии в 36%. Мужской пол, многуровневое поражение и применение аллотрансплантата являются значимыми факторами риска несостоятельности конструкции, и одна только передняя реконструкция может и не обеспечить необходимой биомеханической стабильности этой области позвоночника [360].

Выбор передней или задней фиксации зависит от опыта и предпочтений хирурга, а также от типа перелома [73].

Комбинированные передне-задние методики показаны при крайне нестабильных или особо сложных травмах нижнешейного отдела позвоночника [440]. При травме ШГП или в случае болезни Бехтерева оправданно принято решение в пользу комбинированных методов, как одноэтапных, так и двухэтапных. По мнению ряда авторов, комбинированный подход имеет несколько показаний:

- 1) травма в сочетании с анкилозирующим спондилитом (болезнь Бехтерева);
- 2) нестабильное трехколонное поражение ШГП;
- 3) политравма с длительной искусственной вентиляцией легких [378, 454].

Одноэтапная комбинированная задне-передняя декомпрессия и стабилизация при свежем и тяжелом трехколонном поражении ШГП обеспечивает хорошую репозицию шейного отдела позвоночника [181, 220]. Это позволяет добиться первичной послеоперационной стабильности, адекватной декомпрессии, что дает преимущества при уходе за пациентом, при проведении функциональных упражнений, и, соответственно, улучшает прогноз восстановления функций спинного мозга при неврологически осложненной травме. При застарелой травме необходимость релиза из переднего доступа оправдывает сложность скелетирования позвоночника, так как для эффективной коррекции деформации предполагается 2-х или 3-этапное вмешательство [181]. Фиксирующая система имплантируется из стандартного дорзального доступа, корпорэктомия – из вентрального [336]. Y. Nan et al. получили оптимистичные результаты, проведя 7 реконструктивных вмешательств на ШГП в положении больного сидя [176] с вертикальной Halo-тракцией, что позволило избежать необходимости изменять положение пациента на операционном столе после выполнения первого этапа операции.

В последние годы появились сообщения о новых методиках, позволяющих выполнять сложные репозиции позвоночника только из переднего доступа. K. Liu et al. показали, что только передний доступ с двумя техниками репозиции, включая кифотическую парамедианную дистракцию дистрактором Caspar и переднюю фасетэктомию, позволил добиться 100%-ной эффективности и вызывал меньшее количество осложнений по сравнению с комбинированным подходом [294]. Предложенная M. Aramomi et al. технология передней транспедикулярной винтовой фиксации для нижнешейного отдела позвоночника [129] получила подтверждение эффективности в исследовании L. Zhao et al. [117]. Преимущество передней ТПФ заключается в выполнении передней декомпрессии и реконструкции ШГП с прочной трехколонной стабилизацией одноэтапно только через передний доступ. Авторы предлагают использовать данную технологию, в частности, в следующих случаях:

- 1) пациенты, нуждающиеся в ревизии после переднего / комбинированного переднезаднего доступа;
- 2) пациенты, которым по какой-либо причине невозможно проведение комбинированного доступа.

Среди осложнений, описанных при хирургическом лечении травм ШГП, чаще других в литературе встречаются: псевдоартроз позвоночника, параплегия, гематома шеи, медиастинит, псевдоменингоцеле, паралич голосовых связок, дисфония, дисфагия и синдром Горнера, раневая инфекция, ликворея, инфекция мочевыводящих путей, пролежни, тромбоз глубоких вен, пневмония [13, 394]. H.S. An et al. [394] пришли к выводу, что осложнения являются частыми, и тщательная предоперационная оценка и планирование в сочетании с прецизионной хирургической техникой и послеоперационным уходом важны для предотвращения этих осложнений.

V. Pointillart et al. в 2007 г. отметили следующие осложнения после переднего доступа к шейногрудному переходу без стернотомии: 4 тяжелых осложнения (параплегия, гематома шеи, медиастинит, псевдоартроз позвоночника), 3 случая легких осложнений, 2 случая преходящей дисфонии, 1 случай интраоперационного повреждения грудного лимфатического протока [127]. В исследовании A. Ramieri et al. 2011 г. (33 операции на шейногрудном переходе C7-Th3) нестабильность МК зарегистрирована у двух пациентов после корпорэктомии Th1 и передней фиксации пластиной C7-Th2 [396]. Периоперационные осложнения выявлены у восьми пациентов (24%). Два пациента (6%) имели сердечно-легочные осложнения после дорсальной операции. У двух пациентов (6%) наблюдалась инфекция раны, потребовавшая вторичной хирургической обработки. У трех пациентов (9%) наблюдалась ликворея, и у одного пациента (3%) – преходящий синдром Горнера [396]. Остеотомия с резекцией ножки C7 и задняя фиксация шейногрудного перехода, особенно у пациентов с предоперационным стенозом в зоне C7-Th1, сопровождаются повышенным риском неврологических осложнений [350]. Для минимизации риска этого осложнения необходима широкая фораминальная декомпрессия. Синдром Горнера чаще возникает после переднебоковых доступов

к среднему и нижнему уровням шейного отдела позвоночника [350]. Синдром Арлекина – состояние, характеризующееся асимметричным потоотделением и покраснением в верхней грудной области, шеи и лица, – возникает при повреждении вегетативной нервной системы [253].

М.Р. Steinmetz et al. [357] изучали факторы, связанные с неэффективностью лечения при хирургии ШГП. В большой серии из 593 пациентов они наблюдали неудовлетворительные результаты лечения у 14 пациентов (2,3%). Безинструментальная ламинэктомия и вентральная многоуровневая корпорэктомия (два или три уровня) были связаны с неудачей спондилодеза в 38% и 16,7%, соответственно. Авторы рекомендовали использовать дорзальную МК и спондилодез в случаях многоуровневой корпорэктомии, задней нестабильности или дорсальной шейно-грудной ламинэктомии до Th1-Th2 позвонков. Кроме того, неэффективность лечения также была связана с предшествующими операциями на шейном отделе позвоночника, коррекцией деформации и курением.

Ряд авторов отмечает большее количество осложнений после заднего доступа при полисегментарной фиксации [221, 262, 264, 472]. По сравнению с передним доступом задний был связан с более серьезными респираторными осложнениями, послеоперационными инфекциями, гематомами и повышенной потребности в переливании крови [26, 262], чаще развивается синдром смежного сегмента, нестабильность металлофиксации, требующие ревизионного вмешательства [148, 475]. ТПФ в области ШГП технически сложна и потенциально опасна, поскольку дужки шейных позвонков небольшого размера и окружены латерально позвоночной артерией, медиально спинным мозгом, соседними нервными корешками выше и ниже [30, 122, 258, 278]. У 1,5–4,5% пациентов позвоночная артерия входит в канал поперечных отростков на уровне С7-позвонка, соответственно, у данной категории больных введение винта через ножку на этом уровне анатомически опасна [355, 437]. Компьютерные навигационные системы помогают в безопасном проведении винтов, но при этом мало распространены, финансово затратны и увеличивают время хирургического вмешательства [103, 138].

Современным и удобным инструментом для изучения биомеханики интактного и инструментированного позвоночника является компьютерное моделирование, основанное на методе конечных элементов. В доступных источниках обнаружена одна статья X. Ma et al. (2010), описывающая создание модели шейногрудного отдела позвоночника (C6-Th1) на основе данных КТ здорового добровольца с помощью трехмерного метода конечных элементов. Авторами получены результаты, сопоставимые с моделью *in vitro*, предлагается применять данную методику оценки биомеханики в клинической практике [225]. Дальнейших исследований в отношении ШГП авторы не проводили.

Резюме: на сегодняшний день современные возможности биомеханического моделирования мало используются в отношении ШГП. Травма позвоночника в этой зоне сопряжена с плохим неврологическим прогнозом и высокой летальностью. Повреждение ШГП может быть не диагностировано из-за плохой визуализации при стандартной рентгенографии. В сомнительных случаях следует использовать рентгенографию в позе ныряльщика, КТ или МРТ [336]. Различные анатомические характеристики позвонков на уровне шейногрудного перехода в сочетании с присущей им биомеханической вариабельностью требуют выбора адекватной хирургической техники. Выбору передней, задней или циркулярной фиксации уделено недостаточно внимания [360, 472]. Спондилосинтез из переднего доступа, как и спондилосинтез из заднего доступа могут сопровождаться высоким (до 36% и до 19,4% соответственно) уровнем осложнений, связанных с нарушением стабильности фиксации, что связано с особенностями биомеханики и топографической анатомии этой зоны [5]. Определение предпосылок возникновению таких осложнений, а также осложнений, связанных непосредственно с выполнением доступа, является ключем к оптимизации хирургической стабилизации ШГП. Несмотря на то, что передний доступ является предпочтительным при травме ШГП [454], этот доступ потенциально опасен из-за расположенных рядом жизненно важных структур. Большинство авторов склоняется к необходимости комбинированных методик при трехколонных повреждениях или многоплоскостных посттравматических деформациях ШГП

[440]. Биомеханические исследования показали, что при трехколонной травме задней фиксации недостаточно [343, 347]. В доступных источниках, задачей которых является алгоритмизация процесса принятия решений в хирургии повреждений позвоночника (клинические рекомендации, онлайн-сервисы), не обнаружено информации о спондилосинтезе ШГП.

1.4. Грудопоясничный переходный отдел

Среди повреждений позвоночника самым распространенным являются переломы позвонков, входящих в ГПП [123, 451]. По литературным данным, до 90% всех повреждений локализованы на уровне Th11-L2 [97, 119, 458]. Оскольчатые переломы (*burst fractures* в англоязычной литературе) составляют до 20% подобных травм и зачастую сопровождаются значительным снижением функциональных возможностей пациентов и их качества жизни [217]. Среди этих повреждений есть как травматический спондилоптоз, представляющий высшую степень травматического нестабильного повреждения позвоночного столба с разрушением трех опорных колонн с полным вывихом позвоночника и его осевой дислокацией (по данным А. Mishra et al. в 55% травматический спондилоптоз локализован в тораколюмбарной зоне), так и переломы типа А 1.1 по F. Magerl, не требующие, как правило, хирургического лечения [306, 446].

По данным исследования L. Pora et al., материалом для которого послужили данные 605 пациентов с переломами Th11-L2 позвонков, повреждения в большинстве своем (56,2%) получены при дорожно-транспортных происшествиях и в 45,62% случаев являются сочетанными [102, 420]. S.R. Gnanenthiran et al. в метаанализе, посвященном тактике лечения неосложненных переломов Th10-L3, первое место ставит кататравму (34–59%), отводя дорожно-транспортным происшествиям вторую позицию (25–43%) [245]. Доля нестабильной травмы при этом разнится от 10 до 20% повреждений, в 50% случаев она, по данным метаанализа, является осложненной. Неврологический дефицит сопровождает, по данным разных авторов, от 15 до 67% переломов грудопоясничного переходного

отдела позвоночника, при этом подчеркивается тот факт, что основной массой пострадавших являются люди трудоспособного возраста [420, 430]. С восьмидесятых годов XX века и по сегодняшний день существуют противоречивые сведения о сопоставимости отдаленных функциональных результатов хирургического и консервативного лечения данных повреждений [216]. Полярность мнений разнится от отсутствия необходимости в оперативном пособии при неврологически неосложненных повреждениях в связи с неубедительностью его эффективности по сравнению с корсетотерапией до позиции авторов оперировать всю тораколумбарную травму в связи с риском возникновения вторичного неврологического дефицита [209, 245, 450].

За последние 100 лет было предложено несколько систем классификации травм груднопоясничного отдела позвоночника [352]. Все системы имели ограничения, и ни одна из классификационных систем не прошла строгий процесс проверки и валидации, и поэтому их часто было трудно воспроизвести. Стандартизация описания картины повреждения позвонков груднопоясничного переходного отдела позвоночника оптимально с применением морфологической классификации F. Magerl 1994 года [91], основанной на механизме травмы и морфологии повреждения, а также ее модернизаций – TLICS и AOSTLIC, учитывающие неврологический статус пациента и включающие модификаторы, описывающие степень повреждения связок позвоночного столба (по данным МРТ) и сопутствующую патологию, влияющую на тактику лечения (например, анкилозирующий спондилоартрит или ожоги кожи в области хирургического доступа) [98, 412, 429]. Многочисленные исследования I–III уровня доказательности подтверждают эффективность применения данных классификационных систем в процессе принятия решения о тактике лечения, высокую повторяемость результатов классифицирования и безопасность применения этих классификаций с позиции частоты врачебных ошибок [194, 338, 412, 413].

Преимуществом нового поколения (2008–2016 гг.) классификационных систем является возможность принятия с их помощью решения о необходимости

спондилосинтеза на основании анализа совокупности клинических и интраскопических методов исследования.

Практическое применение TLICS предполагает суммирование балльной оценки морфологии перелома. В контексте применения TLICS пациентов можно разделить на 3 категории: больные с суммой баллов ≤ 3 , подлежащие консервативному лечению. Хирургическое лечение показано при ≥ 5 баллах. В промежуточной группе (4 балла) решение об операции принимается в зависимости от предпочтений врача и с учетом пожеланий пациента. Вид вмешательства также может быть определен с использованием алгоритмического подхода, заложенного в TLICS. При этом мнение авторов классификации относительно необходимости декомпрессии содержимого позвоночного канала и техники вмешательства на сегодняшний день не приходится считать истиной в последней инстанции. Это объясняется наличием публикаций, демонстрирующих отсутствие корреляции между устранением ретропульсии фрагментов тела поврежденного позвонка в позвоночный канал и регрессом неврологического дефицита [159, 321, 428], а также публикаций, посвященных результатам устранения вентрального компримирующего фактора из заднего доступа [383], сравнимых с исходами вентральной декомпрессии. В клинических рекомендациях по лечению острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых 2013 года, утвержденных на заседании Правления Ассоциации нейрохирургов, индивидуальной тактики хирургической реконструкции груднопоясничного переходного отдела не выделено [64]. Выбор способа спондилосинтеза и наличие показаний к переднему опорному корпорорезу обусловлены типом перелома по классификации F. Magerl et al., 1994 г. [91]. В актуальных на сегодняшний день клинических рекомендациях лечения переломов и вывихов грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника, разработанных в 2021 году ассоциацией травматологов-ортопедов России (АТОР), предлагается алгоритм принятия решений о хирургическом лечении повреждений на основании классификации AOSpine и обширном личном опыте членов рабочей группы с учетом коллективного опыта хирургов-вертебрологов мира, позволяющие, отталкиваясь

от классификационного типа AOSpine, произвести клиническую классификацию повреждений позвоночника для принятия лечебно-тактических решений [23]. Авторы указывают, что при всех неосложненных повреждениях возможно консервативное лечение, а при всех неосложненных нестабильных повреждениях – хирургическое. Наличие абсолютно нестабильного повреждения или тяжелого взрывного перелома склоняет врача в сторону хирургии. Относительно нестабильные переломы отличаются наибольшей неопределенностью в отношении выбора между консервативной и хирургической тактикой. В предложенном алгоритме спондилосинтез показан взрослым пациентам с нестабильным переломом (вывихом) грудного и поясничнокрестцового отдела позвоночника с целью профилактики неврологического дефицита. Рекомендуется артродез позвоночника и передний корпородез взрослым пациентам с тяжелым взрывным переломом грудного и пояснично-крестцового отдела позвоночника, которым в процессе хирургического лечения не удалось реконструировать тело поврежденного позвонка. При повреждениях ГПП индивидуальной тактики реконструкции не предложено, тип репозиционно-стабилизирующего спондилосинтеза и вариант переднего опорного корпородеза не уточнен.

Анатомические предпосылки для выделения Th11-L2 позвонков в отдельный переходный отдел выявлены в диссертационном исследовании А.Е. Шульги [15, 87, 88]. Впервые в отечественной литературе А.Е. Шульга предлагает и обосновывает в ходе клинического исследования дифференцированный подход к спондилосинтезу переломов переходного грудопоясничного отдела в зависимости от морфологии перелома по классификации F. Magerl et al. (1994), используя коротко- и полисегментарные транспедикулярные и вентральные винтовые системы [11], симультанный и отсроченный передний корпородез имплантатами типа MESH [15, 87, 88].

Хирургическое лечение при травме ГПП направлено на предотвращение или создания условий для регресса неврологического дефицита, на коррекцию локальной деформации позвоночника, на получение наиболее стабильной фиксации и на обеспечение быстрой мобилизации пациента [17, 21, 45, 66]. Выбор

наиболее подходящего хирургического метода, особенно при значительной потере высоты передней колонны и выраженном кифозе, остается дискуссионным [192, 203, 341].

По данным литературы, на сегодняшний день «золотым стандартом» объема операции при этом виде повреждений является короткосегментарная ТПФ, характеризующаяся низкой кровопотерей, небольшой продолжительностью и минимальным числом блокируемых позвоночно-двигательных сегментов [384, 408, 435]. К сожалению, вышеперечисленные преимущества данной компоновки фиксирующей системы отчасти «уравновешиваются» существенным (до 54% случаев) риском развития нестабильности МК и рецидива посттравматической кифотической деформации [39, 54, 293, 311, 465].

На сегодняшний день альтернативой короткосегментарному инструментированию является использование полисегментарных конструкций [391], а профилактикой дестабилизации при потере опороспособности тела позвонка – дополнение дорзальной фиксации опорным вентральным корпородезом [97]. Методикой, сочетающей высокую стабильность системы кость-металлоконструкция с относительно низкой травматичностью, можно считать короткосегментарную и полисегментарную ТПФ, дополненные билатеральным введением транспедикулярных винтов в поврежденный позвонок [188, 346]. Одно из ограничений использования подобных компоновок систем ТПФ проявляется при развитии в условиях короткосегментарной фиксации посттравматического остеонекроза тела поврежденного позвонка и его реколлапса [4, 287]. Выполнение необходимого в этом случае переднего опорного корпородеза потребует предварительного ремонта дорзальной конструкции с целью удалить из поврежденного позвонка препятствующие костной резекции винты [20, 72].

Значительную роль в развитии алгоритмов принятия решений в реконструктивной хирургии переходного грудопоясничного отдела играют результаты биомеханических исследований. Так, в работе A. Sait et al., выполненной *in vitro*, изучена биомеханическая стабильность поврежденного позвоночника, синтезированного с применением циркулярной или

короткосегментарной, дополненной введением дополнительных винтов в поврежденный позвонок, транспедикулярной системы. Получены сравнимые параметры стабильности фиксации, что ввиду меньшей травматичности и трудоемкости делает более привлекательной дорзальную методику [151]. Авторы оценивают только диапазон движений инструментированного позвоночника телят, не адаптированного к вертикальным нагрузкам, что ставит под сомнение корректность исследования.

Известны исследования адекватности металлофиксации ГПП, проведенные на трупном материале. Работа M. Pekmezci et al. посвящена изучению усталостных процессов в материалах системы кость-металлофиксатор [191]. Сравнивались кейджи с фиксированной длиной и раздвижные кейджи. Применение последних сопровождалось сравнительно более высоким уровнем развития нестабильности МК. Это связано с гипердистракцией кейджа при установке, что влечет за собой повреждение замыкательной пластинки позвонков и перенос нагрузки с фиксирующей винтовой системы на кейдж.

Подобные исследования имеют ряд ограничений: не всегда объемы резекции поврежденного позвонка соответствуют типичной интраоперационной (к примеру, в выше приведенном исследовании «поврежденный» позвонок резецирован тотально, тогда как в практической деятельности чаще выполняется резекция по типу паза). В случае любого биомеханического исследования *in vitro* также неизбежны ограничения из-за отсутствия физиологических сил, создаваемых мышцами.

В исследовании A.J. Grossbach et al., выполненном на трупном материале, проведено сравнение полисегментарной фиксации при оскольчатом переломе грудопоясничного перехода с короткосегментарной транспедикулярной фиксацией, а также короткосегментарной транспедикулярной фиксацией, дополненной вертебропластикой тела поврежденного позвонка. Выявлено, что наиболее стабильной фиксацией является полисегментарная. Дополнительно укрепленная костным цементом короткосегментарная система превосходит по стабильности позвоночник, синтезированный только ТПФ. При этом

преимуществом короткосегментарной конструкции, аугментированной костным цементом, перед полисегментарной является сохранение при использовании последней подвижности двух позвоночно-двигательных сегментов [466]. Экстраполируя результаты данного исследования на практическое здравоохранение, нельзя не учитывать биологию кости. При клиническом использовании костного цемента при синтезировании оскольчатых переломов [408] нельзя исключить остеонекротические процессы в отдаленном послеоперационном периоде, нивелирующие эффект от повышенной стабильности подобной системы в ранние сроки после вмешательства [447]. В результате данные *in vitro* и клинических исследований зачастую противоречивы [151, 270].

Проведению экспериментов на кадаверном материале или материале животного происхождения сопутствуют известные этические и технические ограничения (сложность с получением материала, ограниченное количество экспериментов на одном препарате, индивидуальная изменчивость образцов, отсутствие воздействия паравертебральной мускулатуры на объект исследования, различие анатомии человека и используемых материалов животного происхождения) [229]. Одним из первых авторов, переведших биомеханический эксперимент в плоскость информационных технологий, является M.J. Silva (1998). В работе применен базирующийся на данных компьютерной томографии анализ биомеханических свойств тела позвонка с использованием в качестве математической основы метода конечных элементов [388]. Несмотря на пристальное внимание к биомеханике развития взрывных переломов переходного груднопоясничного отдела позвоночника [471], в доступных отечественных и зарубежных источниках не обнаружено работ, посвященных моделированию всех позвоночно-двигательных сегментов переходного груднопоясничного отдела позвоночника и оценки напряжений и перемещений в них в норме и при повреждающих нагрузках [275]. Также отсутствуют исследования биомеханики развития переломов и переломовывихов, классифицирующихся как тип В и С по AOSpine, которые формируются при дистракционном и дистракционно-ротационном механизме травмы.

Результаты ряда исследований по биомеханическому моделированию в определенной мере противоречат клинической практике. В хирургическом лечении пациентов с нестабильными повреждениями тораколумбарной зоны «золотым стандартом» считается короткосегментарная транспедикулярная фиксация. При этом известно немало публикаций, посвященных распространенному (до 54% случаев) развитию несостоятельности короткосегментарных стабилизирующих систем, наступающей до консолидации перелома [54, 233, 293, 311, 341, 465]. Однако, одно из последних исследований R. Basaran et al. (2019) сообщает о высокой эффективности короткосегментарной фиксации при переломе типа А3 [238]. Компоновка дополнена двумя промежуточными винтами, введенными в поврежденный позвонок. Применение же полисегментарной системы обеспечивает снижение общего уровня напряжений в позвоночнике, а также снижение осевой нагрузки на поврежденный позвонок на 20%. Негативным аспектом использования полисегментарных конструкций является более высокий по сравнению с короткосегментарной фиксацией риск развития синдрома смежного сегмента.

Хотя ТПФ в настоящее время и является стандартной процедурой в хирургии позвоночника [31, 60, 75, 323], а с улучшением качества инструментария, применением винтов и титановых стержней и совершенствованием хирургических методик за последние два десятилетия частота несостоятельности металлоконструкций, связанная с переломом или миграцией винтов и стержней, несколько снизилась, однако феномен нестабильности фиксации остается серьезной клинической проблемой. Частота развития нестабильности ТПФ варьирует в пределах от 4 до 60% [90, 313, 323]. В литературе все чаще появляются статьи, посвященные поиску предикторов несостоятельности фиксации [365, 366, 465]. Нет единого мнения о значимости того или иного предиктора. Опубликовано мало исследований с качественно проведенным многофакторным анализом, посвященных предикторам и факторам риска развития остеонекроза травмированного позвонка после операции и связанной с этим нестабильностью фиксации и прогрессирующей кифотической деформации.

Таким образом, в настоящее время вектор научных исследований, посвященных травме грудного отдела позвоночника, направлен в сторону поиска предикторов риска развития нестабильности фиксации и подбора оптимальной компоновки МК с учетом биомеханических преимуществ тех или иных конструкций. Учитывая преимущественную локализацию повреждений позвоночника в его переходном грудном отделе, хирургия этой зоны получила наибольшее развитие. На сегодняшний день известны дорзальные, вентральные и комбинированные способы спондилосинтеза грудного перехода. Базовой методикой хирургического лечения пациентов со взрывными переломами Th-L локализации является дорзальная стабилизация. В последнее время ей противопоставляется комбинированная (дорзовентральная) стабилизация как превосходящая дорзальную по механической стабильности. Одним из факторов, исследование динамики изменений которого в послеоперационном периоде позволяет оценить эффективность применяемой методики, является качество жизни. Подчас анализ качества жизни дает парадоксальные результаты. Так, исследование D. Briem et al. демонстрирует результаты дорзальных и дорзовентральных вмешательств у 20 больных с неосложненными взрывными переломами Th12 и L1 позвонков [232]. Несмотря на значимую потерю через 4 года достигнутой интраоперационно коррекции в группе, подвергнутой ТПФ, качество жизни этих пациентов согласно данным опросника SF-36 не отличается от таковой у больных, прооперированных с применением дорзовентральной методики [232]. Сравнение качества жизни у пациентов с нестабильными переломами переходного грудного отдела позвоночника, прооперированных в объеме короткосегментарной и полисегментарной транспедикулярной фиксации, проведенное D. Sankaya et al., демонстрирует преимущество короткосегментарной компоновки транспедикулярной системы [145], авторы связывают это с большей травматичностью вмешательства и ограничением подвижности позвоночника при его протяженном инструментировании.

Игнорировать лучшие рентгенографические результаты и меньший риск развития нестабильности МК при полисегментарной фиксации и

короткосегментарной фиксации, дополненной вентральным спондилодезом по сравнению с изолированным применением короткосегментарной транспедикулярной фиксации не представляется возможным [62]. Одной из наиболее масштабных на сегодня работ, посвященных анализу результатов применения различных хирургических техник реконструкции при повреждениях ГПП, принадлежит перу J.K. Scheer et al. [228]. Современные тенденции в спондилосинтезе этой зоны тезисно можно охарактеризовать следующим образом: выполнение заднего спондилодеза при короткосегментарной дорзальной фиксации не улучшает отдаленные результаты хирургического лечения [205]. Полисегментарная ТПФ, дополненная задним спондилодезом, не имеет преимуществ в отношении клинической и рентгенологической динамики перед техникой, не предполагающей костно-пластических манипуляций [295]. Транскутанная установка транспедикулярных систем снижает интраоперационную кровопотерю, укорачивает время вмешательства и сроки госпитализации, снижает интенсивность болевого синдрома в послеоперационном периоде и улучшает функциональное восстановление. По сравнению с транскутанной методикой установка конструкции из открытого параспинального доступа обеспечивает лучшую коррекцию кифотической деформации и реклинацию позвонка [189]. Выполненная в первые 4 дня после травмы коррекция и стабилизация поврежденных ПДС при взрывных переломах позволяет достичь более эффективной декомпрессии за счет эффекта лигаментотаксиса [453]. Но в 1995 году M.J. Vornanen et al., выполнив спондилосинтез в эти же сроки с применением дистракторов Харрингтона, получили ремоделирование позвоночного канала, сравнимое с результатами, полученными при современном транспедикулярном спондилосинтезе [470]. Короткосегментарная транспедикулярная стабилизация в сочетании с транспедикулярной пластикой тела поврежденного позвонка костным трансплантатом не дает рентгенологических и функциональных преимуществ по сравнению со стандартной методикой [384]. Выполненная из заднего доступа транспедикулярная или с применением ламинарных крюков-упоров стабилизация сопровождается меньшей кровопотерей, меньшей продолжительностью

вмешательства и лучшим косметическим эффектом чем вмешательства из вентрального доступа. При этом различий в функциональных результатах и регрессе неврологического дефицита в послеоперационном периоде не выявлено. Предлагается применять дорзальную фиксацию при экстренных вмешательствах ввиду меньших кровопотери и времени вмешательства [128]. При этом многие исследователи отмечают отсутствие в послеоперационном периоде корреляции между данными опроса пациентов с применением визуально-аналоговой шкалы [342] и опросника SF-36 с данными рентгенологического контроля степени коррекции [132].

Описано сочетание ТПФ с трансфораминальным (TLIF) введением монокортикального ауто трансплантата, взятого из гребня подвздошной кости при оскольчатых переломах груднопоясничной локализации. Группа исследователей, возглавляемая R. Schmid, сравнивали результаты данной техники с торакоскопическим вентральным спондилодезом трикортикальным ауто трансплантатом или титановым кейджем [186]. Результаты коррекции посттравматической деформации одинаковы в обеих группах пациентов, лучшую декомпрессию обеспечивает задняя стабилизация в сочетании с трансфораминальным введением ауто трансплантата, однако она же сопровождается более выраженной потерей коррекции через 1 год после вмешательства.

J. Allain (2011) в обзорной статье анализирует литературу, посвященную применению переднего доступа в 1054 случаях лечения травмы ГПП. Показания к вентральному спондилосинтезу определены как передняя компрессия структур позвоночного канала костными фрагментами тела позвонка и посттравматический дефицит костной массы тела позвонка. Вентральным операциям реже сопутствовали инфекционные осложнения по сравнению с дорзальными методиками, потеря коррекции не превышала в среднем 5 градусов. Минусами применения переднего доступа являются большая продолжительность операции, кровопотеря, наличие специфических легочных осложнений. Автор предполагает уменьшение травматичности передней хирургии позвоночника за счет внедрения

эндоскопических методик [112]. Сравнению результатов хирургического лечения больных, прооперированных по поводу оскольчатых переломов из дорзального и вентрального доступов, посвящен метаанализ, проведенный G.J. Xu et al. (2013) [133]. Проанализировав результаты 7 исследований, включающих 179 пациентов, прооперированных из переднего, и 152 из заднего доступов, авторы не обнаружили разницы между группами по срокам регресса неврологического дефицита и возвращения к прежней трудовой деятельности, количеству осложнений, динамики кифотической деформации. Декомпрессия содержимого позвоночного канала, выполняемая из переднего доступа эффективнее, чем из заднего. Хирургические вмешательства, выполняемые из переднего доступа, сопровождаются большей продолжительностью вмешательства, большей кровопотерей, а также стоимостью операции по сравнению с дорзальным спондилосинтезом. A. Roblesgil-Medrano et al. (2021) в систематическом обзоре литературы (7 источников), посвященном сравнению вентральных (155 пациентов) и дорзальных методик (167 пациентов) спондилосинтеза при взрывных переломах груднопоясничного перехода, статистически значимым негативным отличием применения переднего доступа выделяет большие на 597 мл кровопотерю и на 89 минут время операции. При этом продолжительность госпитализации, количество осложнений, частота реопераций, неврологические исходы, послеоперационная остаточная кифотическая деформация, а также стоимость вмешательства не зависят от типа спондилосинтеза. При этом авторы признают, что при выборе методики хирургической реконструкции врач должен руководствоваться своим опытом, учитывать тип перелома и неврологический статус пациента [427]. Международная Ассоциация Ортопедов на портале-ассистенте принятия решений AO Surgery Reference, в разделе, посвященном хирургическому лечению переломов грудного и поясничного отделов (ГПП не дифференцируется), предлагает на базе собственной AOSpine классификации при большинстве типов повреждений выполнять короткосегментарную транспедикулярную фиксацию. При сегментарной кифотической деформации предлагается вместо транспедикулярных винтов камертонного типа применять стержни Шанца, обладающие более высокими

репозиционными возможностями. Выполняемая из переднего доступа декомпрессия, репозиция и фиксация показана, по мнению АО, только при неврологически осложненной травме позвоночника. Циркулярная хирургическая реконструкция из комбинированных доступов не представлена [134].

Итак, по литературным данным [3, 54] в современной хирургии повреждений ГПП можно выделить 5 типов репозиционно-стабилизирующего спондилосинтеза: ТПФ и задняя декомпрессия за счет лигаментотаксиса [37]; ТПФ и открытая задняя декомпрессия (ляминэктомия, резекция и/или импакция ретропульсированных фрагментов тела позвонка); передняя декомпрессия и фиксация и корпородез через вентральные доступы; ТПФ и циркулярная декомпрессия плюс межтеловой спондилодез из заднебокового доступа, а также декомпрессия и спондилодез из комбинированных доступов [6, 81, 82]. Спорными являются взгляды на вопрос лечения неосложненной травмы позвоночника. Ряд исследований сообщает о сравнимых результатах функционального восстановления при хирургической и консервативной тактиках ведения таких пациентов при большей безопасности и меньшей стоимости последней. В условиях осложненной травмы к консенсусу относительно методики декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства мировое вертебрологическое сообщество также не пришло. Оптимальным большинству авторов видится поли- или короткосегментарная фиксация, выполняемая из параспинального или транскутанного доступов, не сопровождаемая выполнением спондилодеза. Хирургия заднего доступа, на первый взгляд, является более предпочтительной в отношении риска осложнений относительно вентральной или комбинированной методик. На сегодняшний день гетерогенность морфологии оскольчатых переломов позвонков переходного грудопоясничного отдела позвоночника вследствие различных механизмов травмы не позволяет сформировать универсальную тактику хирургического лечения данных повреждений.

Резюме: таким образом, на сегодняшний день возможности биомеханического моделирования, основанного на методе конечных элементов недостаточно широко, учитывая распространенность повреждений этой

локализации, используются в отношении изучения интактного, поврежденного и инструментированного ГПП. В литературе акцентируется внимание на особых биомеханических условиях функционирования Th11-L2 позвоночно-двигательных сегментов, что и обуславливает высокую (до 90% всех травм позвоночника) частоту их повреждения и повышенные требования к стабильности спондилосинтеза. Несмотря на это, в актуальных на сегодняшний день клинических рекомендациях нет индивидуального подхода к хирургической реконструкции при повреждениях ГПП, что приводит к принятию лечебно-тактических решений при хирургической реконструкции этой зоны на основании стандартных для позвонков Th1-L5 зоны подходов. Актуальные систематические обзоры литературы и предлагаемые алгоритмы хирургии травмы грудного и поясничного отделов позвоночника при неврологически неосложненных переломах отдают предпочтение хирургии заднего доступа, в частности – короткосегментарной транспедикулярной фиксации. При этом вероятность развития нестабильности подобной фиксации при повреждениях Th11-L1 позвонков достигает 30–50%. Роль спондилосинтеза из переднего доступа при наличии предикторов развития нестабильности фиксации недостаточно разработана. При крупнооскольчатых переломах (split переломы, тип A2 по AOSpine) не описаны методы фиксации, позволяющие обеспечить репозицию фрагментов тела позвонка. Улучшение результатов спондилосинтеза на основании принятия во внимание при алгоритмизации процесса принятия лечебно-тактических решений предикторов развития нестабильности фиксации и посттравматического остеонекроза тела поврежденного позвонка с использованием отличных от 4-х винтовой короткосегментарной ТПФ компоновок МК видится перспективным направлением развития хирургии ГПП.

1.5. Поясничнокрестцовый переходный отдел

Травматические повреждения поясничнокрестцового переходного отдела позвоночника (ПКП) являются последствиями высокоэнергетической травмы и относятся к категории редких [304]. Компрессионно-оскольчатые переломы тела пятого поясничного позвонка составляют до 1,6% всех повреждений позвоночного столба [91, 239, 271]. Малая распространенность повреждений «компенсируется» их тяжестью и сложностью хирургической реконструкции [55]. Информация о них, как правило, представлена описанием единичных клинических случаев или серий из 3–5 пациентов [166, 339, 445]. В зарубежной литературе информация о травме данной локализации ограничивается описаниями серий случаев, наибольшая из которых представлена 19 пациентами [419]. В доступной отечественной литературе обращает на себя внимание публикация Л.Ю. Слинякова и соавт. (2017), посвященная хирургическому лечению пациента с травматическим спондилолистезом L5 позвонка [17], серия обзорных работ по позвоночно-тазовой фиксации М.С. Ветрилэ и соавт. (2021) [55, 56], а также публикация М.С. Ветрилэ и соавт. (2021), демонстрирующая результаты клинического применения позвоночно-тазовой фиксации при различной патологии, в том числе опыт хирургической реконструкции у 10 больных с повреждениями поясничнокрестцового переходного отдела с использованием позвоночно-тазовой фиксации (ПТФ) [38]. Ориентировочные данные о роли переломов ПКП в общей структуре травмы позвоночника позволяет получить исследование С.А. Finn et al., в котором говорят об 1,2% переломов нижнепоясничной локализации относительно всех повреждений позвоночника [239]. Перелом L5 позвонка, по данным D.G. Kang et al., составляет до 1% всех переломов позвоночника [277]. К повреждениям ПКП можно отнести изолированные повреждения L5 и S1 позвонков [284], а также травматические поясничнокрестцовые дислокации [441, 442, 443, 457]. Описано также смещение L5 позвонка при повреждениях заднего опорного комплекса L5-S1 сегмента, формирующееся в поздние сроки после травмы [290].

Если эпидемиология повреждений ПКП в большинстве доступных источниках не отражена, то известно, что корпорэктомия L5 в 44% случаев выполняется по поводу нестабильных переломов, при этом до 47% оперированных больных обращаются в дальнейшем с жалобами, индуцированными нестабильностью МК [386]. Авторы связывают это с биомеханическими особенностями, типичными для переходного отдела позвоночника.

Механизм изолированной травмы L5 в большинстве случаев связан с дорожно-транспортным происшествием [332], однако, также описаны падение с высоты, авария на сельскохозяйственной технике, удар тяжелым предметом. Повреждения поясничнокрестцового переходного отдела позвоночника являются следствием высокоэнергетической травмы, включающей компрессию, ротацию, флексию при фиксированном тазе [206, 340]. Чаще встречаются взрывные или компрессионные переломы типа А по классификации Magerl [91], в то время как сгибательно-дистракционные переломы (тип В) и переломы с ротацией/вывихом (тип С) встречаются редко [240]. Патогенез травмы включает в себя разрыв диска L5-S1, дестабилизирующий поясничнокрестцовое сочленение, и почти всегда ассоциируется с выраженным неврологическим расстройством [304].

Существующие классификации, как правило, базируются на данных об уровне поражения, направлении смещения, состоянии мягких тканей, степени дислокации, а также морфологии перелома L5. Последняя может быть классифицирована по Magerl 1994 [91]. Для поясничнокрестцовой же дислокации на сегодняшний день существуют 2 классификации: Т. Aihara et al. [240] и R. Vialle et al. [439].

В практической деятельности чаще применяется классификация Vialle, основанная на оценке взаимоотношений в дугоотростчатых суставах L5-S1 и смещении L5 позвонка (Рисунок 6).

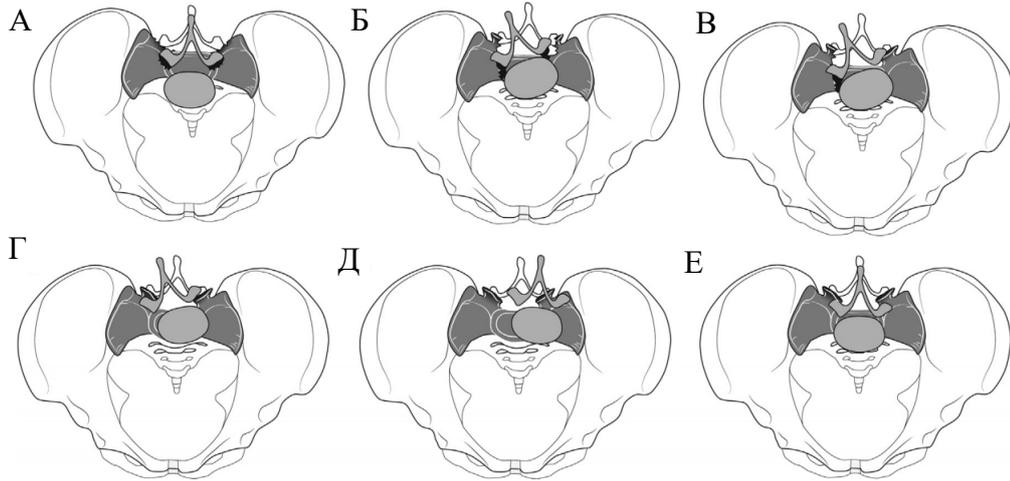


Рисунок 6 – Классификация поясничнокрестцовых дислокаций R. Vialle: А – двусторонний переломовывих с антелистезом L5; Б – двусторонний переломовывих без антелистеза; В – односторонний переломовывих; Г – односторонний ротационный подвывих; Д – двусторонний подвывих с боковым смещением; Е – двусторонний подвывих с антелистезом L5 (по Н. Pascal-Mousselard) [439]

Менее распространенная классификация Aihara [240] касается переломовывихов L5 позвонка. На основании анализа 57 случаев авторы разделили подобные повреждения на 5 типов (Рисунок 7).

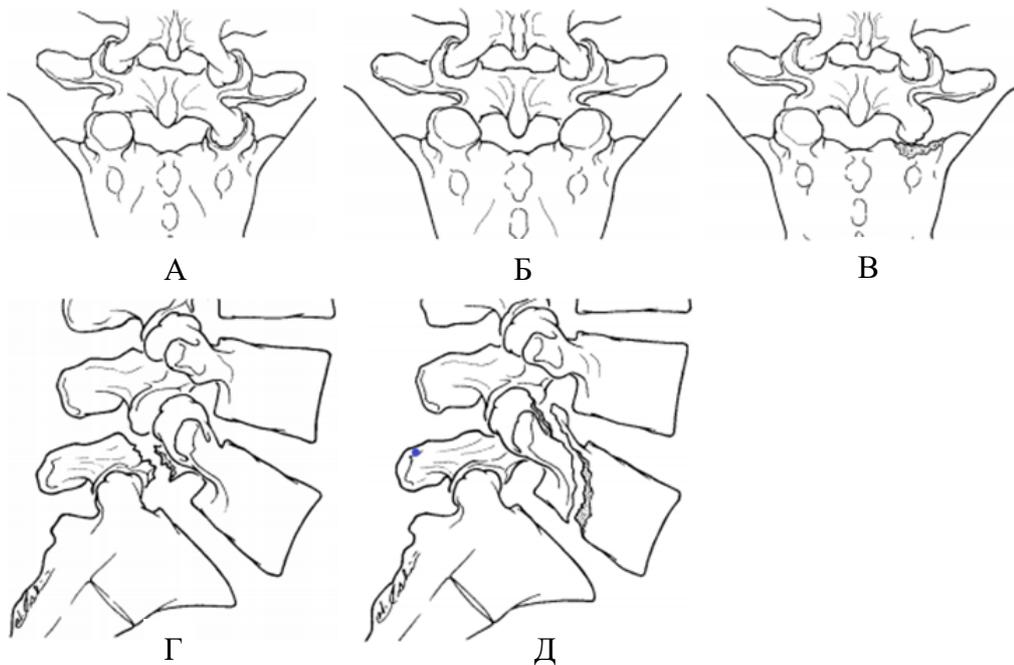


Рисунок 7 – Классификация поясничнокрестцовых дислокаций Т. Aihara et al. [240]

Авторы обеих классификаций предлагают дифференцированный подход к хирургическому лечению данной категории повреждений в зависимости от типа травматической деструкции позвоночно-двигательного сегмента.

Первой комплексной классификацией, упоминающей повреждения ПКП, является система AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification [224].

Основываясь на различиях в биомеханических особенностях ГПП и нижнепоясничных позвонков, ряд авторов считает последние менее опасными в контексте формирования нестабильных повреждений и посттравматических кифозов [239, 299, 419]. Комбинация «сдвигающих» и компрессирующих усилий на уровне L5-S1 предъявляет повышенные требования к стабильности спондилосинтеза при повреждениях этой локализации [288, 289, 402]. Анализируя роль отдельных позвоночно-двигательных сегментов в формировании нормального поясничного лордоза, M.P. Abdel et al. выявили, что до 50% лордоза обеспечивается уровнями L4-L5 и L5-S1 [101]. Это подчеркивает важность адекватной хирургической реконструкции нормальных взаимоотношений в поясничнокрестцовом переходе. При этом ни в одной из доступных работ не описан процесс планирования параметров восстановления высоты тела L5 позвонка при его значительной компрессии (переломы A3, A4 AOSpine).

На уровне L5 позвоночный канал широкий, а нервные корешки более устойчивы к компрессии, чем спинной мозг [300]. Поражения нервных корешков на уровне L5 позвонка аналогичны поражениям периферических нервов, и прогноз выздоровления является вполне обнадеживающим [168]. По этой причине неврологический дефицит менее распространен при переломах L5, и рекомендации по его лечению противоречивы.

Хирургическое лечение повреждений ПКП освещено в литературе, как правило, в контексте реконструктивных вмешательств при поясничнокрестцовых дислокациях, полученных в результате высокоэнергетической травмы (падение с высоты, минно-взрывная травма) [335, 362]. Большинство авторов сходятся в необходимости металлоостеосинтеза подобных повреждений для более ранней активизации пострадавших, однако сообщают о высоком – до 13% случаев – уровне

риска развития инфекционных осложнений вмешательств [299]. По данным P.M. Formby et al., на сегодняшний день большинство задач по восстановлению опорной функции ПКП можно решить из заднего доступа [335]. Как правило, сочетают транспедикулярное инструментирование нижних поясничных позвонков и винты, введенные в подвздошные кости. В представленной серии клинических случаев вмешательства из переднего доступа представлены как методика лечения сочетающихся с позвоночно-тазовыми дислокациями оскольчатых переломов L3, L4 позвонков. Оптимальным сочетание ТПФ L4 и L5 позвонков с введением 2–4 винтов в подвздошные кости при позвоночно-тазовых повреждениях считает также F. De Iure et al. [304], подтверждая адекватность подобной компоновки МК удовлетворительными результатами 9-летнего динамического наблюдения за прооперированными больными.

Хороший клинический и рентгенологический результат получили D.H. Baek et al. при травматическом спондилоптозе L5 позвонка, сочетавшимся с нестабильным повреждением тазового кольца [140]. Авторы отмечают достаточную эффективность дорзального инструментария, включающего транспедикулярно введенные в L4, L5 и S1 позвонки винты в сочетании с подвздошными винтами в отношении фиксации позвоночника, однако недостаточную в отношении стабилизации таза, в связи с чем был добавлен дополнительный подвздошнокрестцовый винт.

Описанная A. Carminucci et al. хирургическая реконструкция при травматическом ретроспондилоптозе L4 позвонка, осложненным нижней параплегией в объеме резекции L4 позвонка, редукции позвоночно-тазового комплекса, классической по компоновке МК позвоночно-тазовой фиксации и выполненного из этого же срединного дорзального доступа корпородеза L3-L5 (учитывая повреждение дурального мешка, кейдж был установлен трансдурально), позволила достичь адекватной стабилизации позвоночника и, как не удивительно, частичного регресса неврологического дефицита [214]. В доступной литературе информация о хирургическом лечении изолированной травмы L5 позвонка

ограничивается описаниями серий случаев (Таблица 3), наибольшая из которых представлена 19 пациентами [332].

Таблица 3 – Опубликованные до 2022 г. статьи, посвященные хирургии изолированных переломов L5 позвонка и ПКП

Автор	Год	n	Тип операции
Fredrickson B.E. [241]	1982	3	ТПФ
Court-Brown C.M. [200]	1987	1	ТПФ
Mick C.A. [166]	1993	6	ТПФ
Huang T.J. [259]	1994	1	ТПФ
Seybold E.A. [240]	1999	3	ТПФ (2) / ТПФ + вентр. MESH (1)
Dai L.Y. [204]	2002	10	ТПФ / ТПФ + вентр. MESH
Kaminski A. [276]	2002	10	ТПФ
Sahin S. [371]	2005	1	ТПФ транскутанно
Butler J.S. [419]	2007	4	ТПФ (промежуточные винты)
Hunt T. [198]	2007	1	ТПФ + дорс. MESH
Kocis J. [282]	2008	1	ТПФ + дорс. MESH
Kaner T. [289]	2012	1	ТПФ + вентр. MESH
Ramieri A. [332]	2012	19	ТПФ (18) / ТПФ+вентр. MESH (1)
Kang D.G. [277]	2012	1	ТПФ
Shousha M. [386]	2014	11	ТПФ + вентр. MESH
Zeng Z.Y. [265]	2014	3	ТПФ + дорс. MESH
Vazan M. [288]	2017	2	ТПФ + вентр. MESH
Scholz M. [375]	2017	1	ТПФ перкутанно
Слиняков Л.Ю. [53]	2017	1	ТПФ перкутанно
Elnady B. [344]	2017	3	ТПФ + дорс. MESH
Bogdan L. [160]	2020	1	ТПФ + дорс. MESH
Quillo-Olvera J. [455]	2020	1	ТПФ эндоскоп + вертебропластика
Meyer M. [271]	2020	6	ТПФ + вентр. MESH
Ветрилэ М.С. [38]	2021	10	ПТФ

В.Е. Fredrickson et al. в 1982 г. впервые сообщили о лечении перелома L5 позвонка [241]. Трём пациентам выполнена ламинэктомия с декомпрессией и заднелатеральным артродезом от четвертого поясничного позвонка до крестца. В дальнейшем большинство исследований включало только 1–2 случая поражения L5 позвонка, и, соответственно, не обсуждалось их лечение. В большинстве случаев описана ТПФ как приемлемый метод лечения. Однако, есть и статьи, посвященные применению комбинированного вмешательства, включающего ТПФ и установку MESH через вентральный или дорсальный доступ. В доступной отечественной литературе подобных публикаций мы не нашли, за исключением патента на способ замещения тела L5 позвонка из заднего доступа Д.А. Пташникова и статьи Л.Ю. Слиякова и соавт. (2017), где продемонстрирован хороший клинический и рентгенологический результат хирургического лечения травматического спондилолистеза с применением малоинвазивной ТПФ и межтелового спондилодеза L5-S1 кейджем [51, 53].

На сегодняшний день отсутствует единообразие во взглядах на тактику лечения пациентов с изолированным повреждением L5 позвонка [8, 242, 265, 276]. Следует отметить, что сложность хирургической реконструкции при подобной травме обусловлена уникальными топографо-анатомическими и биомеханическими особенностями этой зоны. При переломе и отсутствии неврологического дефицита, особенно в случаях умеренной деформации с минимальным дефицитом просвета позвоночного канала, может быть проведено консервативное лечение, и при этом сообщалось об удовлетворительных клинических исходах [197, 242, 419]. Рентгенологические результаты были сопоставимы между пациентами, получавшими оперативное лечение (заднее инструментирование), и пациентами, пролеченными консервативно, через три месяца наблюдения [419]. Подобные выводы об удовлетворительных клинических и рентгенологических результатах при консервативном лечении получены и другими авторами [166, 197, 242, 276]. Так E.A. Seybold et al. [242] не выявили различий в исходах между оперативным и консервативным лечением большой серии переломов нижних поясничных позвонков (L3-L5). При частоте реопераций

в 41% и при отсутствии четко определяемого долгосрочного функционального или рентгенологического положительного эффекта у пациентов без неврологических нарушений операция менее привлекательна для лечения взрывных переломов нижних поясничных позвонков.

С другой стороны, С.А. Mick et al. [166] описали значительную потерю высоты передней колонны у пациентов, получавших консервативное лечение, когда сообщалось об увеличении высоты позвонков у пациентов, перенесших заднюю стабилизацию. Потеря лордоза была также отмечена при переломах, прооперированных задним доступом и спондилодезом [276]. Однако, несмотря на значительную потерю лордоза, функциональные результаты не показали какой-либо корреляции с рентгенологическими параметрами [166, 210, 239].

По данным разных авторов, показанием для хирургического лечения являются нестабильные взрывные переломы при наличии неврологического дефицита, потере высоты тела позвонка $> 50\%$, при наличии кифоза более $> 15\text{--}20$ градусов, компрессии позвоночного канала $> 40\text{--}50\%$ или значительном поражении задней колонны [310, 401]. L.Y. Dai, проанализировав серию из 54 пациентов с переломами поясничного отдела позвоночника и 10 переломами L5, предлагает хирургическое лечение при взрывных переломах в случае выраженного дефицита просвета позвоночного канала или кифотической деформации [204].

Стандартное для травмы ГПП решение в виде бисегментарной ТПФ в сегментах L4-S1 не рекомендуется к применению некоторыми авторами ввиду отсутствия доказанных преимуществ по сравнению с ортезированием [8, 242, 276]. Контраргументом в отношении использования данной методики являются ограниченные ее возможности в отношении сохранения нормальных параметров поясничного лордоза на этом уровне. В исследовании J.S. Butler et al. ТПФ демонстрировала хорошую раннюю коррекцию кифоза (8,25 градуса после операции), однако через 3 месяца наблюдения отмечена потеря коррекции (11 градусов через 3 мес.), а средняя потеря высоты тела позвонка составила 19% [419]. Y. Shono et al. [381] в своем экспериментальном исследовании показали, что маневр задней дистракционной репозиции вызывает дефекты передней и средней

части тела позвонка и приводит к значительной механической нестабильности, особенно при осевой компрессионной нагрузке.

Спондилосинтез при повреждениях L5 позвонка имеет свои особенности. На примере пациента с оскольчатый переломом L5 позвонка, полученным при минно-взрывной травме, D.G. Kang et al. демонстрируют эффективность транспедикулярной короткосегментарной системы, компоновка которой дополнена введенными в поврежденный позвонок винтами [277]. ТПФ, обеспечивающую лордозирование сагиттального профиля, в сочетании с дорзальной декомпрессией в объеме ламинэктомии считают методом выбора при лечении пациентов с осложненными оскольчатыми переломами L5 позвонка. A. Ramieri et al. [332], анализируя результаты хирургического лечения пациентов с подобными повреждениями, пришли к выводу об оптимальности подобной тактики при переломах типа A 3.1 по Magerl. Единственный случай с повреждением типа A3.3 по Magerl оперирован в объеме ТПФ и вентрального корпородеза кейджем, положение которого относительно замыкательных пластинок L4 и S1 позвонков авторов не удовлетворило. При этом ни у одного из больных не отмечено нестабильности МК, в отдаленном послеоперационном периоде – адекватная консолидация поврежденного позвонка, регресс неврологического дефицита. Подобной хирургической тактики придерживаются и P. Šebesta et al., приводя результаты спондилосинтеза 11 пациентов с оскольчатыми переломами L5 позвонка [348]. Авторы, однако, сообщают о 3 случаях (27%) перелома транспедикулярных винтов, установленных в S1 позвонок в позднем послеоперационном периоде. Также акцентируется внимание на неэффективности лигаментотаксиса при ремоделировании позвоночного канала на этом уровне. Декомпрессию содержимого позвоночного канала предлагается выполнять путем ламинэктомии или гемиламинэктомии. Кроме того, предложены несколько вариантов малоинвазивных перкутаных методик заднего спондилосинтеза [371, 375].

Серьезной проблемой на сегодняшний день является высокий риск развития псевдоартрозов и потерь коррекции, связанных с неадекватностью фиксации ПКП.

Как правило, проблема решается путем использования аугментированных костным цементом на основе полиметилметакрилата или гидроксиапатита, винтов, экспансивных винтов и т. п., однако, вопрос перелома стержней металлоконструкций остается открытым [132, 377].

К обеспечению максимальной стабильности дорзального инструментария при фиксации поврежденного ПКП оригинально подходят F.H. Shen et al. [93], предложив компоновку системы, включающую 4 параллельных стержня, 2 из которых соединяют установленные транспедикулярно винты введенные по Magerl билатерально в L2 и L4 с винтами, введенными по Galveston в подвздошные кости, а 2 стержня соединяют установленные в L3 и L5 билатерально транспедикулярно по Roy-Camille винты с винтами, установленными в проксимальную часть крыльев подвздошных костей. Применив данную технику у одного пациента и получив хороший отдаленный результат, авторы говорят о необходимости исследования биомеханики фиксированного таким способом позвоночника с применением компьютерного моделирования и метода конечных элементов, а также масштабных клинических исследований.

В отличие от ГПП, аксиальные компрессионные силы кзади от позвоночника на уровне L4-L5-S1 [393] при наличии перелома замыкательной пластинки позвонка потенцируют дегенерацию межпозвонкового диска [322]. Профилактика вторичной кифотизации на уровне L5 позвонка путем восстановления опороспособности передней колонны позвоночного столба обеспечивается выполнением переднего опорного корпородеза, что сопряжено с техническими сложностями ввиду близости магистральных сосудов [265, 282]. Специфическими осложнениями дорсальной фиксации являются: тракционное повреждение L4 и L5 нервных корешков, авульсия адвентиции брюшного отдела аорты (повреждение адвентиции аорты винтом).

В отечественных клинических рекомендациях по лечению травмы позвоночника 2013 г. описана методика хирургической реконструкции при нестабильном переломе L5 позвонка, включающая ТПФ с установкой винтов в L3-L4-S1 позвонки. При возможности сохранения тела L5 позвонка предлагается

выполнить дискэктомию L4-5 и L5-S1 и заместить эти диски костными трансплантатами. При разрушении тела L5 предлагается выполнить передний корпородез L4- S1 лифтовым протезом тела позвонка и аутокостью [64].

Вентральные вмешательства в лечении повреждений L5 позвонка – гораздо менее распространенная техника, чем дорзальные методики. Связано это в том числе со сложной сосудистой топографической анатомией поясничнокрестцового перехода, обуславливающей высокий (от 7,9 до 13,8%) риск осложнений при корпорэктомии L5 позвонка. M. Vazan et al. [288] приводят результаты 360 град. стабилизации в объеме транспедикулярной стабилизации дополненной корпорэктомией и вентральным спондилодезом кейджами по поводу различных нозологий 14 пациентов (7 – спондилит, 3 – онкопоражение, 2 – оскольчатые переломы, 2 – неправильно сросшиеся оскольчатые переломы). Корпорэктомия выполнялась из левостороннего забрюшинного параректального доступа. Корпородез осуществлялся титановыми раздвижными лордотическими кейджами. У 3 пациентов (21%) отмечена миграция кейджа, потребовавшая ревизионного вмешательства. При этом при ревизии выполнялась дополнительная фиксация пластиной. Во всех случаях окончательным результатом лечения был удовлетворительный клинический результат, обусловленный стабильной фиксацией и восстановлением правильной геометрии ПКП. Основную роль в этом авторы отводят лордотическому кейджу с соответствующими нормальному сагиттальному профилю наклоном опорных пластин.

В сообщении T. Kaner et al., посвященном резекции тела L5 позвонка при травмах и заболеваниях позвоночника, подробно изложены сложности, с которыми сталкивается хирург при реконструкции поясничнокрестцового перехода, так на первое место ставятся повышенные требования к стабильности фиксации в связи с переходом мобильного поясничного отдела позвоночника в неподвижный крестцовый [289]. Далее следуют: специфическая сложная топографическая анатомия этой зоны, горизонтальная ориентация дугоотростчатых суставов, чрезвычайно развитая паравертебральная мускулатура, наклон замыкательной

пластинки S1 позвонка и связанное с этим распределение нагрузок в сегменте L5-S1, не характерное для других отделов позвоночника.

Несостоятельность МК и миграция кейджа – основная причина неудовлетворительных результатов переднего спондилодеза. По данным D. D'Aquino et al. [402] все случаи смещения кейджа произошли в течение трех недель после операции и были связаны с такими факторами как ранняя мобилизация, повторная травма и коллапс из-за инфекции. Авторы также продемонстрировали значительную разницу в среднем послеоперационном лордозе в группах стабильной и нестабильной фиксации. Вывод, сделанный из этого, заключался в том, что высокий послеоперационный лордоз > 50 градусов является потенциальным фактором риска несостоятельности конструкции. Это подтверждают данные M. Vazan et al. о том, что лордоз ≥ 50 градусов и/или патологически сниженная минеральная плотность костной ткани при остеопорозе, по-видимому, являются основными факторами риска несостоятельности после корпорэктомии L5 [288].

Передний доступ к пятому поясничному позвонку связан с опасностью повреждения верхнего подчревного сплетения [265, 317]. Его повреждение приводит к ретроградной эякуляции, достигающей 7,4% [361].

Тесная взаимосвязь поясничнокрестцового перехода с крупными сосудами в забрюшинном пространстве усугубляет хирургический риск вентральных реконструкций. Общая частота повреждения сосудов при переднем доступе к L5 колеблется от 7,9 до 13,8% [104, 106, 461]. Крупнейшая ретроспективная серия корпорэктомий L5 (25 операций) сообщает о 4% частоте сосудистых осложнений [386]. Для подготовки к переднему хирургическому вмешательству и снижения риска интраоперационных осложнений важна предоперационная КТ-ангиография для анализа сосудистой анатомии [273, 463]. N.A. Quraishi et al. [104] сообщили о частоте сосудистых осложнений 7,8% (24/304) при анализе своего опыта переднего доступа к L4-L5 позвонкам. Частота повреждений крупных вен, требующих хирургического вмешательства, составила 14/304 (4,6%), артерий — 5/304 (1,6%). Потребность в сосудистом хирурге при повреждении сосудов составила 9/304 (3%;

5 повреждений артерий, 4 повреждения вен). Это говорит о том, что с большинством повреждений крупных вен спинальные хирурги справились самостоятельно (10/14, 71%). Авторы выразили мнение, что операции на поясничном отделе позвоночника с передним доступом могут безопасно выполняться спинальными хирургами. При соответствующей подготовке спинальные хирурги способны выполнять этот доступ без поддержки сосудистого хирурга, но при необходимости она должна быть доступна.

A. Giotta Lucifero et al. в 2021 г. опубликовали систематический обзор, в который включили 56 статей, включающих описание сосудистых осложнений в хирургии грудного и поясничного отделов позвоночника [244]. Повреждение сосудов описано в 82% вмешательств, в 59% при переднем доступе. Общая подвздошная вена была наиболее часто повреждаемым сосудом (повреждение в 49% при переднем доступе). Общая подвздошная артерия, общая полая вена и аорта были поражены в 40%, 28% и 28% при задних доступах, соответственно. Сегментарные артерии повреждаются в 68% латеральных доступов. Повреждение сосудов распознается интраоперационно в 39% случаев. Авторы пришли к выводам, что частота значимых ятрогенных повреждений сосудов при операциях на грудном и поясничном отделах позвоночника невелика, но связана с высокой летальностью до 65% (менее 1% при переднем доступе и более 50% при заднем). Передний доступ сопряжен с риском повреждения общей полой вены. Межтеловой спондилодез из заднего доступа сопряжен с риском повреждения подвздошных артерии, вен и аорты. Боковые доступы чаще связаны с поражением сегментарных сосудов.

По опыту M. Vazan et al. [288] повреждение тонкой кишки при переднем доступе наблюдали в одном случае при реоперации по поводу миграции кейджа. Описан случай отсроченной тонкокишечной непроходимости после ревизионной тотальной замены диска [105]. M. Balsano et al. описали редкий случай перфорации кишечника при забрюшинном боковом доступе [89].

Ограничено количество работ, сравнивающих безопасность и эффективность использования только переднего, заднего или комбинированного передне-заднего

доступов при повреждениях L5 позвонка [260, 282, 288, 344]. D. D'Aquino et al. выполнили систематический обзор литературы с 1970 г. по январь 2020 г. и выявили 6 исследований для сравнения разных подходов к лечению патологии L5 позвонка [402]. Авторам трудно было сделать корректные выводы при прямом сравнении различных подходов из-за небольшого количества случаев (всего 85 случаев), вариабельности первичной патологии (травма L5 была лишь в 20% случаев), клинических задач и опыта хирурга. Однако, учитывая все ограничения, можно говорить о том, что средняя кровопотеря была выше в группе двухэтапной задне-передней хирургии, чем в группе только задней хирургии. Все хирургические доступы имели высокую частоту формирования костного блока (94%) и относительно низкую частоту осложнений (11,7%). Тем не менее, передний доступ сопровождался сосудистыми осложнениями (4–7%), а также периоперационной летальностью (9%), чего не наблюдалось в группе только заднего хирургического вмешательства.

В большинство сообщений о корпорэктомии L5 описывается передний доступ для корпорэктомии и реконструкции передней колонны с дополнительными задними инструментированием и стабилизацией [77, 288, 289, 386]. Однако такой комбинированный подход через два отдельных хирургических доступа (этапный или симультанный) обычно связан с увеличением времени операции, большой кровопотерей и увеличением частоты осложнений [104, 288, 289, 386].

Вопрос об одномоментном и этапном выполнении комбинированной стабилизации 360 град. также остается открытым. Ряд авторов настаивает на одномоментной передней корпорэктомии L5 и задней короткосегментарной стабилизации [125, 147, 162]. M. Meyer et al. предлагают первым этапом выполнять ТПФ, а через неделю – вентральное вмешательство [271]. В 2006 г. T. Hunt et al. [260] впервые описали методику, включающую корпорэктомию, установку расширяемого кейджа и ТПФ через один заднелатеральный доступ. Впоследствии N.A. Morales Alba [320] модифицировал технику Hunt, сохранив унилатерально тело и дугу позвонка, используя простой задний доступ. В. Elnady et al. [344] представили технику задней жесткой стабилизации с последующей установкой

межтелового кейджа через заднелатеральный транспедикулярный коридор. При выполнении этой техники не было зарегистрировано случаев повреждения сосудов и каких-либо других осложнений. Задняя корпорэктомия с 270 град. стабилизацией и использованием MESH позволяет сохранить межпозвонковый диск L5-S1 путем размещения титанового сетчатого кейджа на нижней замыкательной пластинке L5 [195]. Предоперационная МРТ необходима, если хирурги считают, что при операции удастся сохранить диск.

Итак, на сегодняшний день актуальны 3 варианта спондилосинтеза при повреждениях ПКП и, в частности, L5 позвонка: изолированное применение транспедикулярной системы с блокированием L4-L5-S1 или L4-S1 сегментов. При этом возможно применение позвоночно-тазовой фиксации с установкой винтов в подвздошные кости или S2AIS; дополнение транспедикулярной фиксации дискэктомией L4-L5 и/или L5-S1 и межтеловым спондилодезом из заднего доступа; дополнение ТПФ резекцией тела L5 позвонка из заднего доступа и опорным телозамещающим корпородезом; дополнение задней фиксации симультанной или отсроченной резекцией тела L5 позвонка из переднего забрюшинного доступа и опорным телозамещающим корпородезом.

Широко распространены работы, включающие компьютерное моделирование ПКП, оперированного по поводу дегенеративно-дистрофических заболеваний [157, 358], однако, на сегодняшний день в доступной литературе исследований, посвященных биомеханике поврежденного переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника после спондилосинтеза, не найдено. Наиболее близким к тематике повреждений пояснично-крестцового перехода в отечественной литературе является публикация А.А. Кулешова и соавт. (2023), посвященная биомеханическому анализу вариантов позвоночно-тазовой фиксации при продольных переломах крестца с использованием метода конечных элементов [7].

Резюме: таким образом, в доступной литературе не обнаружено исследований, посвященных определению прогностических параметров (предикторов) развития нестабильности фиксации при повреждениях ПКП.

Предикторы значительного (до 59% случаев) риска повреждения магистральных сосудов при переднем доступе к L5-S1 сегменту и резекции тела позвонка L5 также не определены. На сегодняшний день отсутствует единый алгоритм выбора методики хирургической реконструкции при повреждениях ПКП. Не описаны применимые к травме поясничнокрестцового перехода способы расчета линейных параметров высоты тела позвонка, важные для подбора и моделирования имплантируемых кейджей. При выборе методики спондилосинтеза ПКП значительную роль играет субъективный фактор, что сказывается на неудовлетворительных результатах спондилосинтеза, сопоставимых в ряде случаев с результатами консервативного лечения. Не найдено примеров применения биомеханического моделирования поврежденного и инструментированного ПКП для оценки прогнозов лечения.

1.6. Биомеханика и информационные технологии в планировании спондилосинтеза

На сегодняшний день литературные данные позволяют говорить о недостаточном применении информационных технологий в планировании хирургической реконструкции переходных отделов позвоночника. Технологический прорыв последних десятилетий позволил перенести экспериментальные исследования процессов, происходящих с позвоночником и фиксирующими его имплантатами под различными нагрузками в плоскость компьютерного моделирования [74]. Для решения задач костной хирургии, как правило, применяется метод конечных элементов. История использования его в изучении биомеханики оперированного позвоночника насчитывает около 40 лет [246, 473]. Соотнесение результатов экспериментов *in vitro* и данных, полученных при использовании метода конечных элементов, подтверждают легитимность последних относительно результатов исследований на трупном материале [380]. Использование современных интраскопических методов обследования больного и вычислительных мощностей компьютерной техники позволяет травматологу-

ортопеду получить дополнительный инструмент выбора оптимальной методики металлофиксации и прогнозирования ее последствий [6, 16, 18]. Примером может служить исследование Q. Su et al. [118], посвященное оценке биомеханики стабильности различных компоновок транспедикулярной фиксации при стабильных повреждениях ГПП. Сравнив созданные на основе данных КТ компьютерные трехмерные модели билатеральной короткосегментарной транспедикулярной фиксации (Th12-L1-L2) с введением дополнительных винтов в поврежденный позвонок, при которой все винты равной длины с аналогичной системой, отличающейся применением коротких винтов в поврежденном позвонке, а также аналогичные первым двум монологатеральные системы, авторы не нашли статистически значимой разницы в диапазоне движений в рамках фиксирующих систем, а также эквивалентных напряжений в системе позвоночник-имплантат. Авторы предлагают выбрать ту, имплантация которой наименее травматична (монологатеральная система с дополнительным коротким винтом, введенным в поврежденный позвонок). Обращает на себя то, что модели, приведенные в статье, построены на основе компьютерных томограмм неповрежденного позвоночника. Это уменьшает реалистичность эксперимента, как и отсутствие моделирования элементов связочного комплекса позвоночного столба.

Публикация 2018 г. H. Wang et al. посвящена обсуждению эффекта применения в спондилосинтезе при оскольчатых переломах ГПП различных вариантов компоновки и протяженности коротко- и полисегментарных транспедикулярных конструкций, включающих введенные в поврежденный позвонок винты [231]. Все винты металлоконструкций моноаксиальные, материал МК – титан. Диапазон движений и эквивалентные напряжения по Мизесу оценивались в 6 вариантах компоновки фиксирующих систем при нагрузках, аналогичных физиологическим (Рисунок 8). Основой для создания твердотельной модели послужила КТ здорового добровольца. Имитация повреждения выполнена за счет выполненной на компьютерной модели «резекции» каудальной половины тела Th12 позвонка.

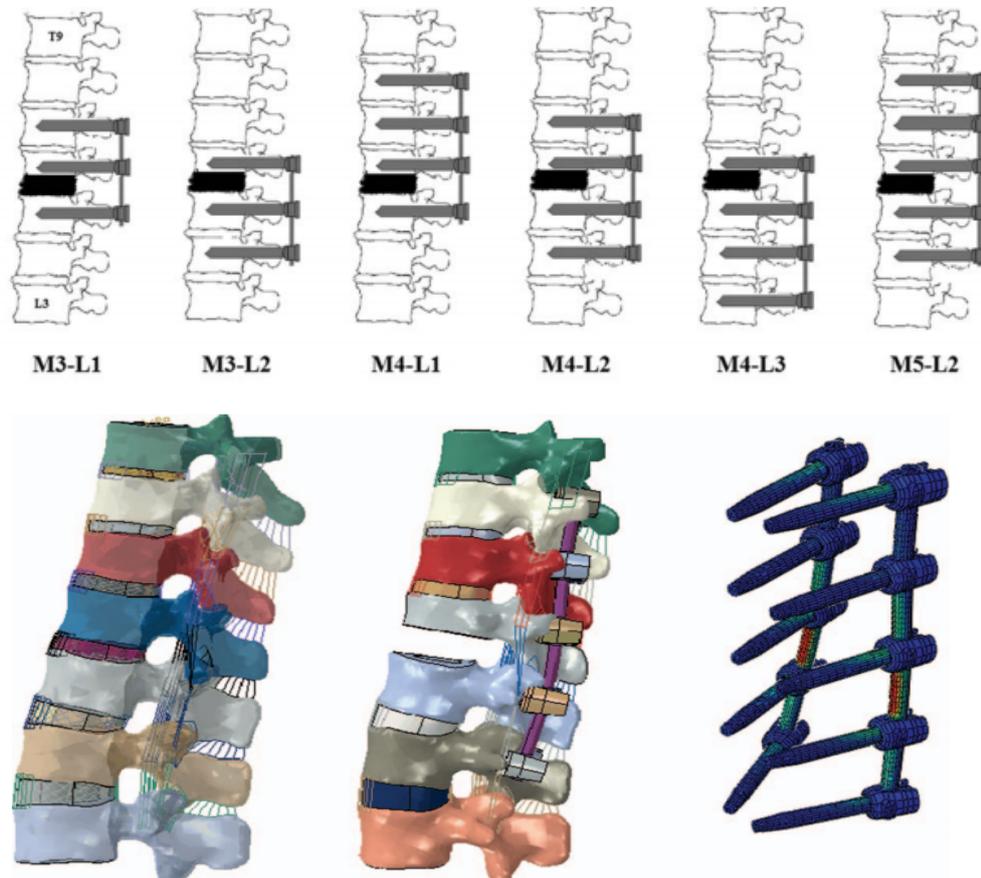


Рисунок 8 – Моделирование различных компоновок фиксирующих транспедикулярных систем по Н. Wang с применением метода конечных элементов [231]

Анализ результатов моделирования различных компоновок транспедикулярных систем более предпочтительным вариантом короткосегментарной фиксации в отношении диапазона движений и распределения эквивалентных напряжений по Мизесу демонстрирует M3-L1 по сравнению с M3-L2. Более нестабильные повреждения требуют более протяженной фиксации, предпочтительная компоновка – M4-L1 и M5-L2. Следует отметить, что исследование также имеет экспериментальный характер, результаты его клинически не подтверждены.

Известен пример применения метода компьютерного моделирования малоинвазивной хирургии при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника. S. Elmarsy et al. оценивают изменения биомеханики позвоночного столба после транскutánной транспедикулярной короткосегментарной фиксации в сочетании с пункционной баллонной

кифопластикой поврежденного позвонка [223]. Продемонстрирована минимальная роль кифопластики в шунтировании нагрузки с дорзального инструментария. Следовательно, потенциальный риск развития нестабильности МК в отдаленном послеоперационном периоде, по результатам исследования, не отличается в модели комбинированного спондилосинтеза и изолированной транспедикулярной фиксации. Авторы подвергают, таким образом, критике утверждения о «биомеханическом преимуществе» ТПФ, дополненной кифопластикой.

Исследование влияния глубины введения транспедикулярных винтов в тело позвонка при короткосегментарной фиксации системой с низким профилем по поводу оскольчатого перелома L1 позвонка проведено с применением компьютерного моделирования J. Liu et al. В данной работе глубина введения винтов варьировалась от 10 до 100% с шагом 10% передне-заднего размера тел позвонков [153]. Анализ результатов исследования показал, что введение винта в позвонок при короткосегментарной транспедикулярной фиксации на глубину от 60 до 100% обеспечивает максимально возможную стабильность системы позвоночник-конструкция, при этом введение винта глубже, чем на 60% передне-задней длины тела позвонка, не увеличивает значимо стабильность системы и не снижает максимального значения эквивалентных напряжений в винте. Следует отметить, что достаточная стабильность, по мнению авторов, не является достаточным условием адекватности результатов транспедикулярного спондилосинтеза при всех типах повреждения. Так, основываясь на своем клиническом опыте, J. Liu считает, что при переломах типа A4 репозиционные возможности транспедикулярной системы могут быть полностью реализованы только при введении винтов на 100% (бикортикальном), не подтверждая, однако, это биомеханическим моделированием [153].

Спорным является вопрос применения транскутанной вертебропластики в лечении стабильных оскольчатых переломов, локализованных в переходном грудопоясничном отделе позвоночника. Этой тематике посвящен ряд клинических и экспериментальных исследований, однако результаты их противоречивы [230, 316, 409]. Учитывая ограничения предыдущих экспериментальных работ

(неадекватный объем и распределение в теле позвонка введенного костного цемента, отсутствие смежных с поврежденным позвонком межпозвонковых дисков, моделирование только осевой нагрузки на оперированный позвонок), I. Koh et al. предложили с применением метода конечных элементов исследовать механическую стабильность оскольчатых переломов L1 позвонка, синтезированных путем транскutánной вертебропластики остеоиндуктивным биodeградируемым костным цементом [171]. Моделируя различный объем введенного из моно- и билатеральных транспедикулярных доступов костного цемента, авторы пришли к выводу, что транскutánная вертебропластика керамическим цементом несколько улучшает осевую и межфрагментарную стабильность поврежденного позвонка, однако эффекта ее недостаточно для обеспечения адекватной активизации пациента с подобно повреждением позвоночного столба.

Исследовав с применением компьютерного моделирования и метода конечных элементов стабильность различных компоновок стабилизирующих поврежденный ГПП конструкций (дорзальные, вентральные и комбинированные) W.M. Park et al. пришли к заключению, что оптимально-достаточных результатов возможно достичь, используя различные техники [149].

Применение компьютерного биомеханического моделирования, основанного на методе конечных элементов, в контексте оценки стабильности фиксации при дегенеративно-дистрофических заболеваниях позвоночника описано в отечественной литературе И.А. Вязанкиным [12]. В своей диссертационной работе (научный руководитель В.Г. Черепанов) автор сравнивает уни- и билатеральную ТПФ, сопоставляя клинические и экспериментальные данные, что подтверждает состоятельность метода конечных элементов как способа оценки механических свойств позвоночник-МК. На сегодняшний день в доступной литературе исследований, посвященных биомеханике ПКП после спондилосинтеза, кроме нескольких исследований *in vitro*, а также отечественной статье, посвященной оценке различных вариантов компоновки позвоночно-тазовой фиксации при вертикальных переломах крестца [7], не найдено. С.W. Liu et al. провели

компьютерное моделирование методом конечных элементов различные варианты заднего спондилодеза поясничнокрестцового отдела позвоночника [434]. Выявлено, что в случае динамической фиксации традиционное введение винтов обеспечивает немного лучшую стабильность по сравнению с кортикальным введением, особенно при сгибании и вращении. При динамической фиксации и кортикальном введении винтов увеличение диаметра винтов позволяет избежать проблем с их ослаблением и переломом.

В исследовании *in vitro* на модели свиней В.В. Cunningham et al. оценивали жесткость передней конструкции поясничнокрестцового соединения после удаления наиболее каудальной части диска и фасеток [155]. Авторы показали увеличение жесткости конструкции при добавлении межтелового кейджа к фиксации ножек. Однако после добавления обоих подвздошных винтов и межтелового кейджа объем движений позвоночника значительно уменьшился, а позвонок проксимальнее конструкции при деструктивном тестировании разрушался. По данным биомеханического исследования *in vitro* V. Bartanusz et al. не было выявлено существенной разницы в диапазоне движений между короткой (L4-S1) и длинной (L3-4-S1-подвздошная кость) задней фиксацией в модели трупной корпорэктомии L5 [395]. Добавление передней наkostной пластины (L4-S1) значительно увеличивало жесткость конструкции.

В публикациях последних лет травма позвоночника преимущественно классифицируется в системе AOSpine, вобравшей в себя основные принципы и положительные стороны более ранних классификаций TLICS, SLIC, и AO Magerl [135]. При этом во многих современных статьях авторы применяют классификацию AO Magerl [244, 383, 426]. Учитывая различные наименования одного морфологического типа перелома в классификациях AOSpine и AO Magerl, для анализа публикаций, создания систематических обзоров литературы и метаанализов была бы удобна возможность автоматически переводить тип повреждения из AO Magerl в AOSpine. Также, несмотря на развитие информационных технологий, не существует трехмерного атласа переломов

позвоночника. Повреждение трехмерного объекта, которым является позвонок, классифицируется по двумерным изображениям.

Резюме: таким образом, наибольший опыт применения компьютерных технологий в настоящее время существует в отношении инструментирования переходного груднопоясничного отдела позвоночника. Однако, в существующих статьях отражено моделирование не всех вариантов спондилосинтеза, адекватных данным повреждениям. Примеров моделирования с применением метода конечных элементов шейногрудного и поясничнокрестцового отделов в контексте повреждений и их хирургического лечения в доступной литературе не выявлено. С помощью метода конечных элементов возможно прогнозирование поведения системы позвоночник-имплантаты при физиологических и экстремальных нагрузках. В доступной литературе отсутствуют публикации, посвященные сопоставлению полученных при компьютерном биомеханическом моделировании результатов с результатами клинических исследований.

На сегодняшний день биомеханическое моделирование не может полностью заменить клинические исследования. Однако, соотнесение результатов биомеханического моделирования с клиническими данными и исследование включения результатов компьютерного моделирования в алгоритм предоперационного планирования перспективно для снижения роли субъективного фактора при выборе способа спондилосинтеза.

Создание трехмерного атласа повреждений позвоночника и справочника-переходника по классификациям переломов AO Magerl и AOSpine позволило бы облегчить выбор тактики лечения повреждений переходных отделов позвоночника.

Обобщая данные литературного обзора, можно сказать, что на сегодняшний день актуальным методом решения задач механики позвоночного столба, в том числе инструментированного, служит метод конечных элементов. В доступных публикациях не обнаружено данных о моделировании в контексте травмы и ее лечения ШГП и ПКП. В отношении ГПП тема разработана недостаточно. Роль биомеханического моделирования в определении причин несостоятельности металлофиксации переходных зон не обозначена.

В доступных источниках, алгоритмизирующих процесс принятия решений при выборе типа спондилосинтеза не обнаружено структурированной информации о спондилосинтезе переходных отделов позвоночника.

На сегодняшний день не существует 3D атласа справочника-переходника по основным используемым классификациям повреждений позвоночника.

Основными осложнениями хирургического лечения повреждений переходных отделов позвоночника являются несостоятельность металлофиксации и ятрогении хирургического доступа. Предикторы этих осложнений для переходных отделов позвоночника не определены.

Улучшить результаты хирургической реконструкции при повреждениях переходных отделов позвоночника возможно путем разработки алгоритма выбора оптимальной хирургической тактики в зависимости от морфологии перелома и наличия предикторов осложнений. Однако, известные методики спондилосинтеза, заявленные как «золотой стандарт», в ряде случаев сопровождаются значительным (например, короткосегментарная ТПФ в случае оскольчатых переломов ГПП) риском осложнений. На этом фоне важными видятся создание и оценка (*in vitro* с применением метода конечных элементов и в клинической практике) эффективности новых вариантов репозиции и фиксации при повреждениях переходных отделов позвоночника.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Дизайн исследования

Поставленные общие цели и задачи мы решали отдельно для каждого переходного отдела в отдельной главе с соответствующими изменениями, учитывая анатомические особенности и различия в хирургической тактике при травме различных отделов позвоночника. Объектом исследования были пациенты с повреждениями переходного шейногрудного (C7-Th1), грудопоясничного (Th11-L2) и поясничнокрестцового (L5-S1) переходных отделов позвоночника, оперированные с 2010 по 2021 гг. Количество позвонков, входящих в переходные отделы определено согласно доступным высокоцитируемым публикациям [146, 167, 281, 414, 440, 444, 452, 467]. Проведено клиническое ретроспективное когортное одноцентровое открытое исследование, включающее однофакторный и многомерный регрессионный анализ для поиска предикторов несостоятельности фиксирующих систем у пациентов с нестабильными повреждениями переходных отделов позвоночника. Дизайн проведенных исследований представлен в соответствующих главах.

Критериями включения пациентов в исследование были их совершеннолетие (возраст 18 лет и более), одноуровневая неврологически неосложненная на момент осмотра при поступлении (N0 и N1 по классификации AOSpine, тип E по классификации ASIA) травма переходных шейногрудного, грудопоясничного, поясничнокрестцового отделов позвоночника. Соматический статус включенных в исследование пациентов соответствовал ASA I–III (American Society of Anesthesiologists). Всем пациентам, включенным в исследование, помимо 12 больных с повреждениями пояснично-крестцового перехода, получивших консервативное лечение, выполнен спондилосинтез по стандартным (соответствующим актуальным клиническим рекомендациям по лечению травмы позвоночника) и предложенным автором методикам и алгоритмам. Все операции

выполнены в НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России двумя бригадами хирургов с фиксированным составом. Во всех случаях использовали имплантаты производства фирм Ulrich (Германия), Medtronic (США), Prospan (Чехия).

Критерии не включения были следующие: стабильные (A0, A1) переломы позвонков; тяжелые соматические заболевания, требующие интенсивной корректирующей терапии; многоуровневые повреждения позвоночника; остеопороз (минеральная плотность костной ткани до данным денситометрии ниже среднего уровня пика костной массы более чем на $-2,5$ SD); выраженный дегенеративный лордоз, кифоз или сколиоз; идиопатический сколиоз более II ст.; патологический перелом на фоне опухоли, анкилозирующего спондилита или воспалительного артрита; активный инфекционный процесс; сросшийся перелом (срок травмы более 40 дней); оперированный в анамнезе позвоночник.

В работе исследовали линейные и угловые интроскопические параметры, определяющие достаточность стандартного нижнешейного доступа Cloward без выполнения манубриотомии и стернотомии для доступа к C7-Th2 позвонкам по данным базы КТ-исследований случайных пациентов ($n=84$). При анализе мы провели оценку разработанного рентгенологического показателя в зависимости от пола и возраста, а также выявили пороговые значения грудинношейного угла (SCA) для определения возможности выполнения переднего шейного доступа без манубриотомии.

2.2. Методы обследования пациентов

При выполнении работы проводилось клиническое обследование больных, включающее анкетирование с применением опросника ODI и визуально-аналоговой шкалы (ВАШ 10) до операции и через 2, 6, 12 месяцев после операции, использовались методы интроскопической визуализации (рентгенография в 2 проекциях, компьютерная томография (КТ), денситометрия (подтверждение отсутствия остеопороза), статистический метод исследования.

Клиническое исследование

Реализация клинического исследования включала сбор анамнеза, определение общесоматического состояния пациента, выраженности неврологического дефицита при его наличии, оценки функционального состояния пациента и регистрацию выраженности болевого синдрома. При изучении анамнеза подробно уточнялись обстоятельства и механизм травмы. Стандартный осмотр включал оценку внешнего статуса больного (вынужденная поза, наличие визуально определяющихся деформаций позвоночного столба, выраженность физиологических искривлений позвоночника, состояние кожных покровов) и мануальное обследование.

Одним из критериев невключения в исследование было наличие неврологического дефицита. Для однотипной интерпретации данных неврологического обследования использовали градацию классификационной системы AOSpine:

- N0 – неврологически интактен;
- N1 – преходящий неврологический дефицит, отсутствующий при поступлении в стационар;
- N2 – радикулопатия;
- N3 – неполное повреждение спинного мозга;
- N4 – полное повреждение спинного мозга;
- NX – неврологический статус определить не представляется возможным.

Состояние пациентов в контексте общесоматического статуса оценивали при поступлении по шкале ASA. Выделяли 5 классов соматического статуса (от здорового пациента до больного в крайне тяжелом состоянии):

- ASA I – здоровый пациент;
- ASA II – пациент с легким системным заболеванием;
- ASA III – пациент с тяжелым системным заболеванием;
- ASA IV – пациент с тяжелым системным заболеванием, которое представляет собой постоянную угрозу для жизни;

- ASA V – умирающий пациент; операция возможна только по жизненным показаниям.

Учитывая особенности стационара (плановая госпитализация пациентов), все вошедшие в исследование пациенты принадлежали к первым трем классам (Приложение Г).

Интенсивность вертеброгенного болевого синдрома оценивалась при помощи визуально-аналоговой шкалы. С этой целью пациентов просили отметить на неградуированной линии длиной 10 см точку, которая субъективно характеризовала выраженность болевого синдрома. Для оценки результатов хирургического лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника использовался опросник Oswestry Disability Index (ODI), который позволил объективизировать степень нарушения жизнедеятельности пациентов до и после оперативного вмешательства (Приложение Д). Считали нарушение минимальным при индексе 0–20%, умеренным при 21–40% и выраженным при более 41%. Анкетирование пациентов с применением ВАШ 10 и опросника Oswestry проводилось накануне операции, а также через 7 дней, 2, 6 и 12 месяцев после. Для оценки результатов хирургического лечения травмы шейногрудного перехода использовался модифицированный опросник Oswestry – Neck Disability Index (NDI) до и через 12 месяцев после операции [464, 484] (Приложение Е).

Интроскопические методы обследования

Денситометрия. Для оценки состояния минеральной плотности костной ткани (МПКТ) выполняли рентгеновскую денситометрию с помощью денситометра «Prodigy» по показателю Т-критерия. Результат выражали в стандартных отклонениях (SD) от соответствующих нормативных показателей. Выраженность остеопороза, согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, оценивали на основании Т-критерия. Так, в пределах нормы находятся значения, отклоняющиеся менее чем на 1 SD; пониженная костная масса (остеопения) характеризуется значениями до -2,5 SD; остеопороз — МПКТ ниже среднего уровня пика костной массы более чем на -2,5 SD. В исследование не включали пациентов с остеопорозом.

Рентгенологическое исследование. Всем пациентам с травмой переходных отделов до и после операции выполнялась обзорная рентгеноспондилография со сшиванием в двух стандартных проекциях (прямая и боковая) (Рисунок 9). Исследования выполнялись на рентгеновском аппарате «OPERA SWING» (Италия). На полученных рентгенограммах в первую очередь определялся уровень и тип травмы со степенью повреждения суставного отростка по классификации AOSpine, изучались параметры, характеризующие ее стабильность (высота и ширина тел позвонков; величина интерпедикулярного пространства; ротация остистых отростков), и измерялась выраженность кифотической и сколиотической посттравматической деформации поврежденного отдела позвоночника по методу Cobb (угол между линиями, проведенными через верхний край интактного позвонка выше перелома и нижний край позвонка ниже перелома), сегментарный кифоз, степень дислокации позвонка, потерю высоты передней колонны (ПВПК – соотношение высоты поврежденного позвонка к усредненной высоте передней колонны позвонка выше и ниже компримированного [468]), дефицит просвета позвоночного канала (ДППК).

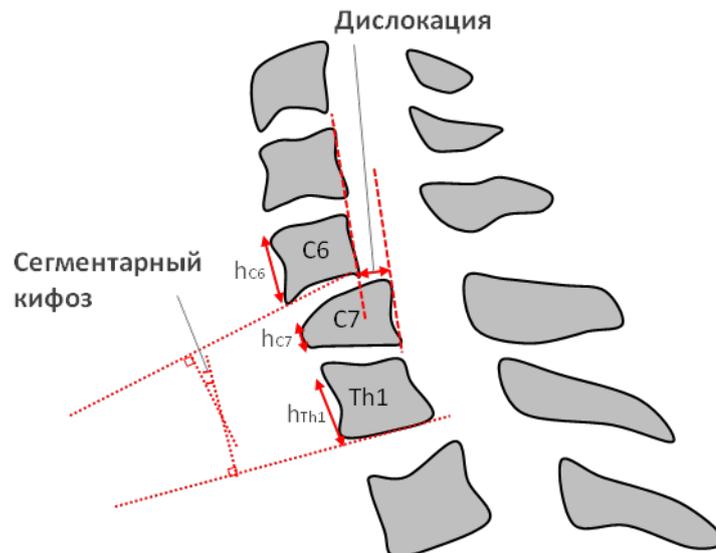


Рисунок 9 – Рентгенологические параметры шейного отдела позвоночника: сегментарный кифоз, степень дислокации; потеря высоты передней колонны (ПВПК = $100\% * (1 - \frac{h_{C7}}{(h_{C6} + h_{Th1})/2})$); дефицит просвета позвоночного канала

Для оценки высоты передней колонны и степени реклинации поврежденного позвонка предложены различные способы [416, 425]. Однако, учитывая особенности анатомии пояснично-крестцового переходного отдела позвоночника, применение данных методик для расчета теоретической высоты L5 позвонка и, соответственно, степени его компрессии и реклинации, не представляется возможным. Высота S1 позвонка может быть определена только при наличии рудиментарного диска S1-S2, который встречается не более чем у 10% пациентов. Поэтому нами предложен способ расчета высоты тела L5 позвонка при изолированных оскольчатых переломах, основанный на рентгеноморфометрических параметрах L4 позвонка – способ определения высоты тела L5 позвонка при изолированных оскольчатых переломах, защищенный Патентом на изобретение № 2772644 от 07.06.2021 г. [49]. В ходе статистического анализа данных рентгеноморфометрии, выполненной по данным мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) большой группы пациентов (n=100) с интактными позвоночно-двигательными сегментами, выявлена корреляция между переднезадним размером нижней замыкательной пластинки L4 (y) и высотой передней колонны L5 позвонка (x), представляемая в виде уравнения:

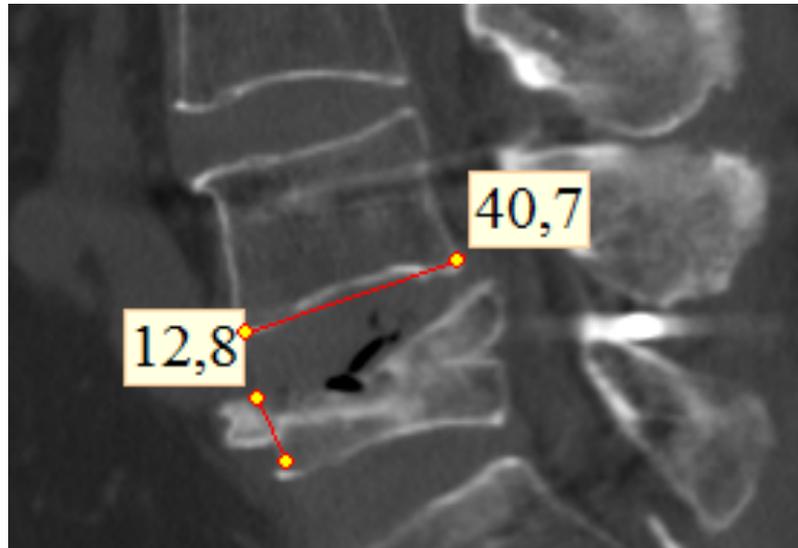
$$x = 2,04 + 0,76 * y.$$

Способ осуществляется следующим образом. Пациенту с оскольчатым переломом L5 позвонка выполняется КТ L4, L5 и S1 позвонков. Измеряется переднезадний размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка. Данные в мм подставляются в формулу:

$$A = 2,04 + 0,76 * B,$$

где A – теоретическая высота тела L5 позвонка в мм, B – переднезадний размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка в мм. На Рисунке 10 представлен пример определения необходимой высоты передней колонны L5 позвонка: в рамках предоперационного планирования по данным КТ проведено индивидуальное определение должной высоты тела L5 позвонка. Переднезадний размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка (B) = 40,7 мм. $A = 2,04 + 0,76 * B$, где A – теоретическая высота тела L5 позвонка в мм, B – переднезадний

размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка в мм. Соответственно, $A=2,04 + 0,76*40,7 = 32,9$ мм. Таким образом, в ходе транспедикулярного спондилосинтеза высота передней колонны тела L5 позвонка должна быть восстановлена до 32–33 мм.



А



Б

Рисунок 10 – А. Пример определения необходимой высоты передней колонны.
Б. Патент на изобретение № 2772644 от 07.06.2021 г. [49]

С целью контроля потери полученной коррекции после проведенного хирургического лечения производилась контрольная рентгенография сразу после операции и в каждое последующее обращение пациента в сроки 2, 6 и 12 месяцев после вмешательства. Оценивали нестабильность МК (перелом и миграцию винтов и стержней), развитие посттравматического остеонекроза, потерю коррекции кифоза и сколиоза.

Компьютерно-томографическое исследование. Компьютерно-томографическое обследование проводилось на томографе Toshiba Aquilion 64. Данная аппаратура позволяет производить исследования позвонков в мультиспиральном режиме с последующей мультипланарной и 3D-реконструкцией. Измерения производились в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостях. Все измерения проводились с использованием программного обеспечения томографа «Viever» и «MPR», с увеличенным масштабом (точность $\pm 0,1$ мм). Программное обеспечение рассчитано для работы с имплантированными металлическими конструкциями.

При КТ-исследовании определялись параметры (характер повреждения тела позвонка и задних опорных структур, дефицит просвета позвоночного канала), на основании которых осуществлялась систематизация повреждений по морфологическим признакам в соответствии с классификацией AOSpine.

Функции и интерфейс справочника-переходника по классификациям переломов AO/ASIF и AOSpine

В определении морфологического типа повреждения применяли разработанный справочник-переходник по классификациям переломов AO/ASIF и AOSpine (Рисунок 11) (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665103 от 13.11.2019 г. [68]).



Рисунок 11 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665103 «Справочник-переходник по классификациям переломов АО/ASIF и AOSpine»

Программа предназначена для визуализации трехмерной реалистичной динамической иллюстрации каждого из типов (групп и подгрупп) повреждений позвоночника согласно универсальной классификации переломов АО/ASIF с возможностью перевода в классификацию AOSpine и обратно. Главное окно программы представляет собой двухколоночную таблицу соответствия, где в каждой строке записан элемент классификации АО/ASIF и соответствующий ему элемент классификации AOSpine. При нажатии на строку происходит визуализация соответствующей трехмерной модели элемента позвоночника с выбранным по классификациям АО/ASIF и AOSpine повреждением, сопровождающаяся текстовым описанием. Возможность сопоставить двухмерное изображение КТ и трехмерную реконструкцию поврежденного позвонка с трехмерным примером перелома в атласе позволила снизить роль субъективного фактора в определении типа повреждения.

Данный справочник позволяет врачу выбрать предполагаемый тип перелома на основе диагностических снимков, после чего для выбранного типа перелома в справочнике визуализируется тип перелома и описание соответствующих этому типу перелома параметров. В связи с этим данный справочник является помощником начинающему и опытному специалисту для корректного определения параметров травматического повреждения позвоночника. Эта помощь представлена возможностью сопоставить результаты, представленные на диагностических снимках с иллюстрацией в справочнике. Следует отметить, что данный справочник не имеет аналогов в России и за рубежом, а также содержит графические изображения переломов, не все из которых представлены в научной литературе. Главное окно данного справочника представлено на Рисунке 12.

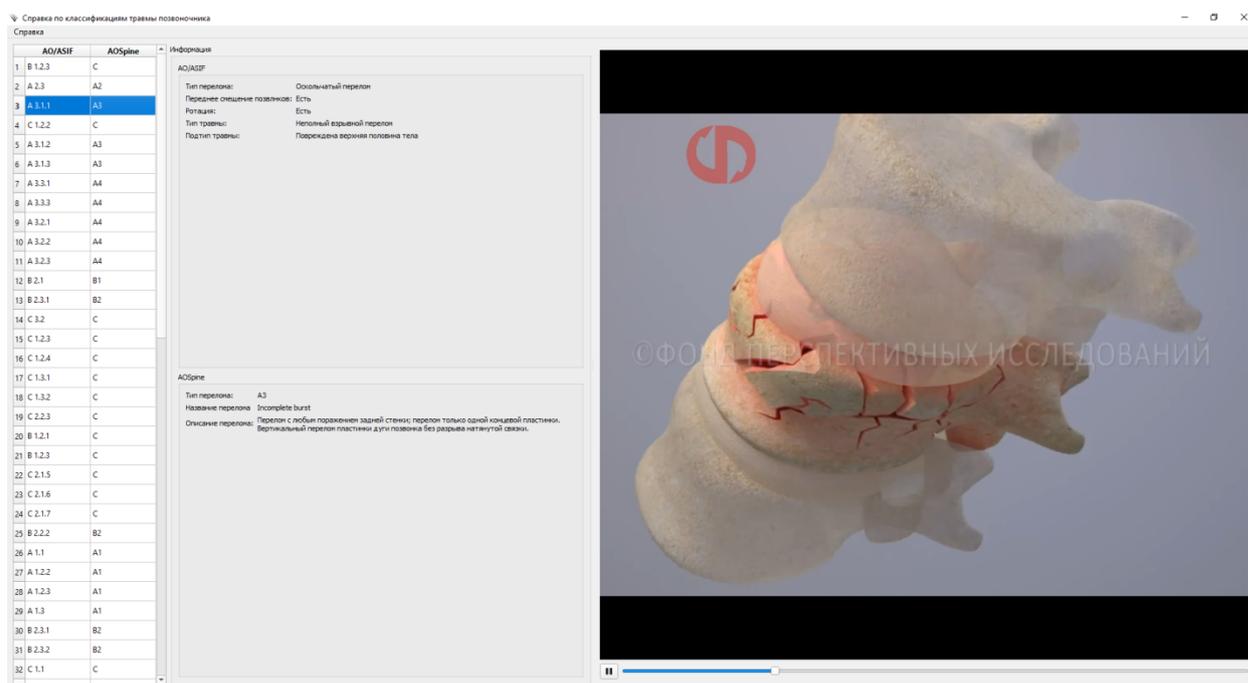


Рисунок 12 – «Главное окно» приложения

Существует две классификации травматических повреждений позвоночника: AO/ASIF и AOSpine.

В классификации AO/ASIF представлены параметры по травматическим повреждениям для компрессионного (тип перелома «A») и оскольчатого перелома

(тип перелома «В»), а также по травматическим повреждениям без повреждения тела позвонка (тип перелома «С»).

Классификация AOSpine основана на классификации Магерла (Magerl), модифицированной квалификационной группой AOSpine. На основе видов недостаточности стабильности позвоночного столба выделяют три основных типа повреждений:

- Тип А. Компрессионные травмы. Разрушение передних структур при сжатии.
- Тип В. Разрушение передней и/или задней структур преимущественно связочного аппарата.
- Тип С. Разрушение всех элементов, ведущее к смещению или сдвигу.

В разработанном справочнике-переходнике по классификациям переломов АО/ASIF и AOSpine реализовано сопоставление данных классификаций. Главное окно Справочника, представленное на Рисунке 12, можно разделить на 3 составляющие:

1. Таблица, в которой отображаются типы переломов по обеим классификациям. При выборе типа перелома по классификации АО/ASIF автоматически будет выбран соответствующий ему тип перелома по классификации AOSpine за счет того, что одна классификация дополняет другую (Рисунок 13).

	АО/ASIF	AOSpine
1	В 1.2.3	С
2	А 2.3	А2
3	А 3.1.1	А3
4	С 1.2.2	С
5	А 3.1.2	А3
6	А 3.1.3	А3
7	А 3.3.1	А4
8	А 3.3.3	А4

Рисунок 13 – Таблица типов переломов

2. Область с текстовым описанием каждой классификации выбранного типа перелома. По классификации AO/ASIF отображается информация: тип перелома, имеется ли ротация и переднее смещение позвонков, а также название типа травмы и его подтипа, если такой имеется. Соответственно, по классификации AOSpine выводится следующая информация: тип, название и краткое описание перелома (Рисунок 14).

Информация

AO/ASIF

Тип перелома:	Оскольчатый перелом
Переднее смещение позвонков:	Есть
Ротация:	Есть
Тип травмы:	Неполный взрывной перелом
Подтип травмы:	Повреждена верхняя половина тела

AOSpine

Тип перелома:	A3
Название перелома:	Incomplete burst
Описание перелома:	Перелом с любым поражением задней стенки; перелом только одной концевой пластинки. Вертикальный перелом пластинки дуги позвонка без разрыва натянутой связки.

Рисунок 14 – Описание классификаторов

3. Область, в которой отображается видеоролик выбранного типа перелома с возможностью перемотки и остановки для просмотра интересующего момента (Рисунок 15).



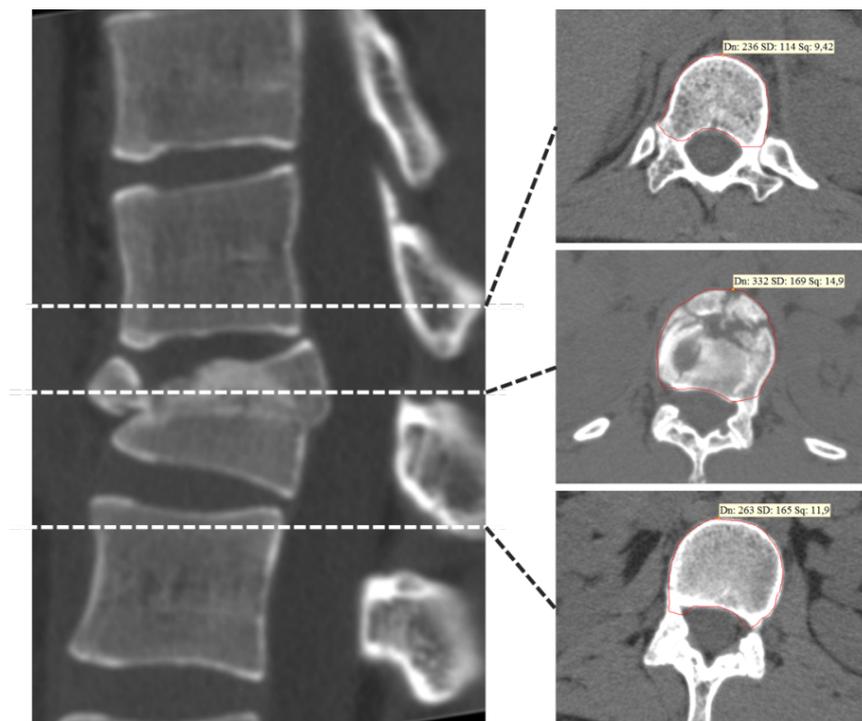
Рисунок 15 – Демонстрационный видеоролик

Данный программный продукт позволяет точно классифицировать тип перелома с использованием международных классификаций AO/ASIF и AOSpine за счет подготовленных по ним демонстрационных видеороликов, а также получить полную текстовую информацию по обеим классификациям выбранного типа перелома.

Сопоставление международных классификаций AO/ASIF и AOSpine с целью гармонизации используемых в них принципов, а также достижения более точного систематического описания переломов позволяет максимально точно описать характер морфологических и функциональных нарушений, сопровождающий конкретный тип травматического повреждения.

Разработанный справочник-переходник по классификациям может быть использован медицинским персоналом для точного определения типа перелома полученной травмы позвоночника, позволяет врачу определить тип перелома согласно привычной для него классификации, не теряя точности относительно другой классификации, а также для обучения молодых специалистов.

Также рассчитывали расширение площади пораженного позвонка (*vertebral body spread*) в аксиальной плоскости, используя локальную платформу PACS (PACS/RIS АПК АрхиМед, 2008 г). Очерчивали максимальную площадь с вписанными в нее всеми разрозненными фрагментами тела сломанного позвонка. Оценивали в процентах увеличение площади по сравнению к средней площади интактных верхнего и нижнего позвонков (Рисунок 16).



$$\text{Расширение позвонка \%} = (\text{Стравма} - \text{Снорма}) / \text{Снорма} * 100\%$$

Стравма – максимальная площадь поврежденного позвонка (см²)

Снорма – средняя площадь соседних интактных позвонков (см²)

Рисунок 16 – Расчет расширения площади поврежденного позвонка в аксиальной плоскости по данным КТ

Примеры соответствия картины компьютерной томографии типу повреждения с использованием справочника-переходника приведены на Рисунках 17, 18.

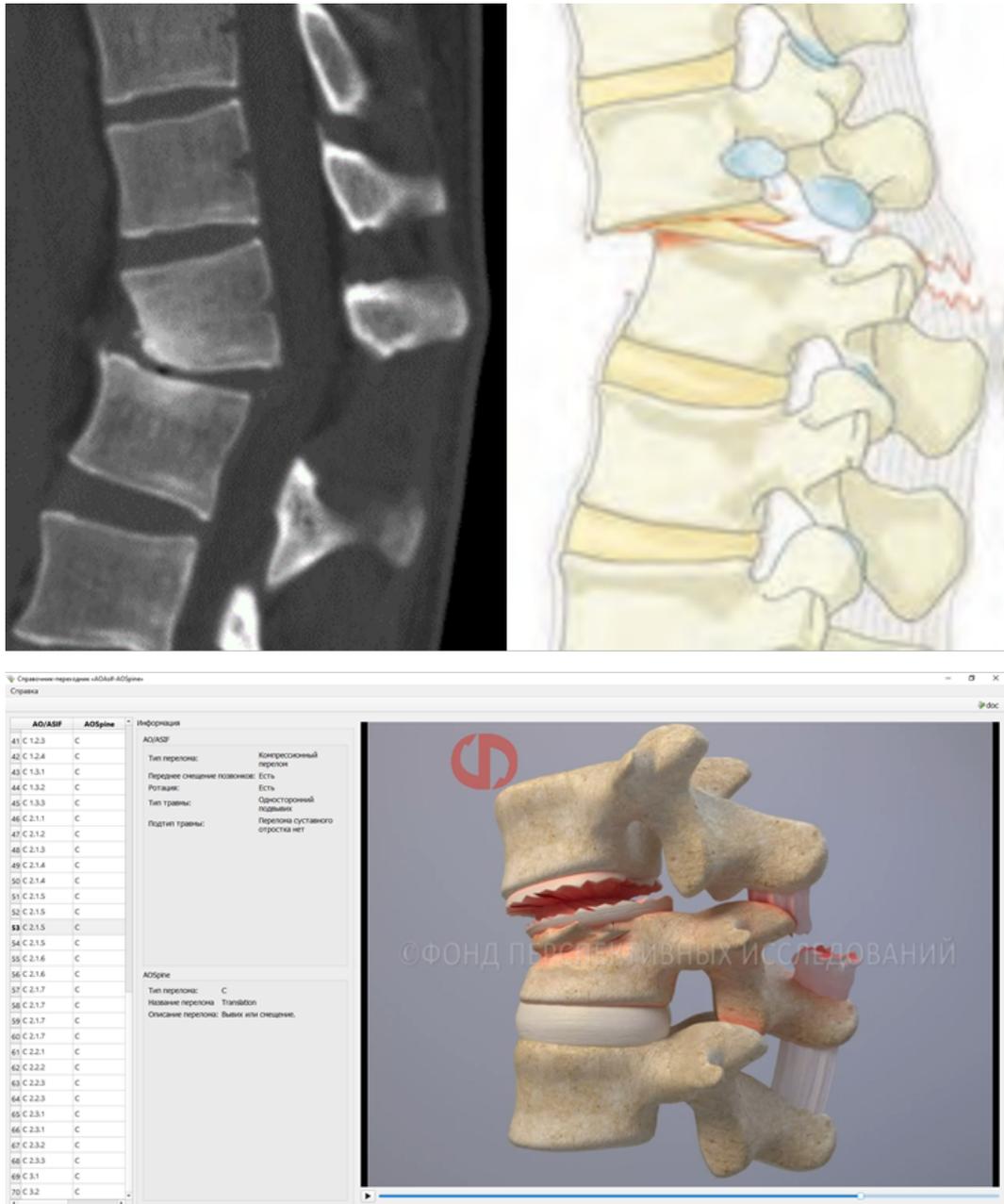


Рисунок 17 – КТ поврежденного переходного грудопоясничного отдела позвоночника. Тип C по классификации AOSpine. Справочник-переходник с трехмерным изображением данного типа повреждения

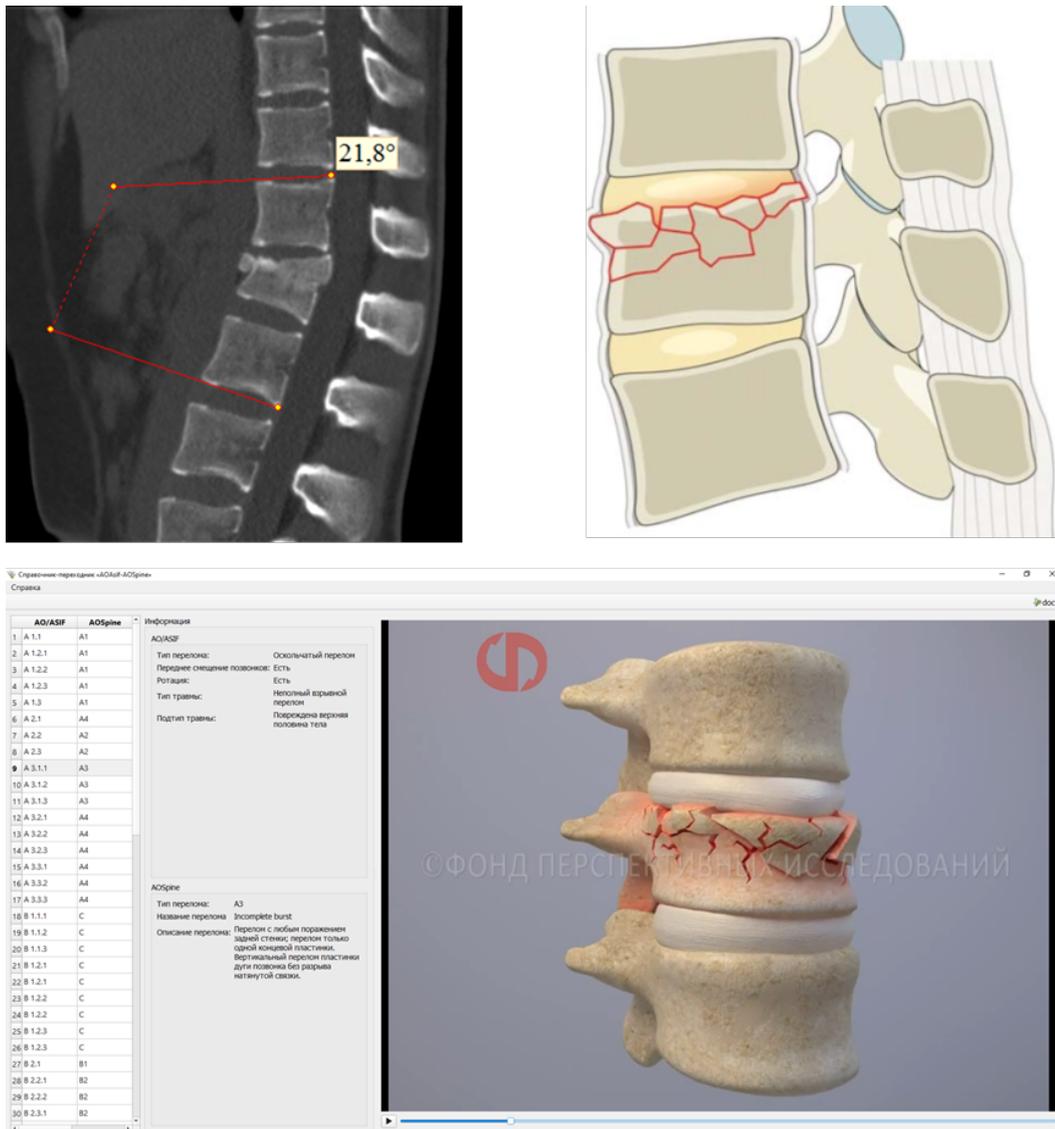


Рисунок 18 – КТ поврежденного L1 позвонка. Тип A3 по классификации AOSpine. Справочник-переходник с трехмерным изображением данного типа повреждения

КТ выполняли на следующий день после вмешательства, оценивали корректность проведения винтов, эффективность реклинации тела позвонка, декомпрессию содержимого позвоночного канала за счет лигаментотаксиса или вправления подвывиха позвонка; через 2–6 месяцев – для исключения посттравматического остеонекроза тела поврежденного позвонка.

Стабильность фиксации в послеоперационном периоде оценивали по данным рентгенографии и КТ. Критериями ее были отсутствие: разобщения или поломки компонентов МК, резорбции костной ткани вокруг винта более 1 мм или формирования рентгенопрозрачной зоны вокруг винта, окруженной зоной склероза (*double halo*). Для шейного отдела позвоночника дополнительными критериями

нестабильности фиксации были сегментарный кифоз ≥ 11 град. (по Cobb) и сегментарный сдвиг позвонка на уровне стабилизированного сегмента $\geq 3,5$ мм. Критерии формирования вентрального костного блока определяли по G.H. Tan, 2007 (Grade 1–4) [43, 202]. При этом регистрировали III (униполярный ложный сустав) и IV (биполярный ложный сустав) степени состоятельности костного блока.

В случае с шейногрудным переходом всего в исследование включено 34 пациента, из них у 6 (17%) пациентов выявлена нестабильность фиксации. В группе пациентов с неосложненной травмой грудопоясничного отдела (n=273) нестабильность металлофиксации выявлена у 49 (18%) пациентов, посттравматический остеронекроз – у 9 пациентов (3%). При травме поясничнокрестцового переходного отдела с 2010 по 2020 гг. мы наблюдали 58 пациентов (54 изолированных повреждения L5 позвонка типа A и 4 повреждения ПКП типа C по AOSpine), из которых 12 получали консервативное лечение амбулаторно (ортезирование, физиотерапевтическое лечение), а 46 проведено хирургическое лечение. Среди них нестабильность в послеоперационном периоде наблюдалась у 8 (17%) пациентов (Таблица 4).

На основе проведенного анализа результатов хирургического лечения и биомеханического моделирования разработан новый алгоритм при изолированных повреждениях шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового перехода с учетом типа повреждения, наличия предикторов несостоятельности фиксации и анатомических особенностей пациента. Учитывая относительно большой объем пациентов, прооперированных на уровне грудопоясничного перехода, мы провели дополнительное ретроспективное сравнительное исследование результатов применения нового алгоритма (n=60) и стандартного алгоритма (n=100).

Таблица 4 – Общая характеристика всех больных, включенных в исследование

Параметр	Шейногрудной отдел (n=34)	Груднопоясничный отдел (n=273)	Поясничнокрестцовый (n=58)
Возраст, года	32 (24;47)	40 (31;46)	35 (29;46)
ИМТ, кг/м ²	24 (22;26)	25 (24;27)	25 (24;27)
Мужчины, n (%)	28 (82%)	192 (70%)	31(53%)
Срок травмы, дни	13 (8;16)	14 (9;19)	20 (12;25)
Уровень поражения, n(%)			
C7	32		
Th1	2		
Th11		8 (3%)	
Th12		85 (31%)	
L1		143 (52%)	
L2		37 (14%)	
L5			58 (100%)
AOSpine, n(%)			
A2	4 (12%)	13 (5%)	10 (17%)
A3	7 (21%)	104 (38%)	18 (31%)
A4	17 (50%)	127 (47%)	26 (45%)
B1	0	11 (4%)	0
B2	0	10 (4%)	0
C	6 (17%)	8 (3%)	4 (7%)
Сегментарный кифоз, град.	5 (4;12)	14 (9;20)	22 (20;30)
Нестабильность через 12 мес., n (%)	6 (17%)	49 (18%)	8 (17%)
Остеонекроз через 12 мес., n (%)	0	9 (3%)	0
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили</i>			

2.3. Биомеханическое моделирование

Биомеханическое моделирование проведено на базе кафедры математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Для проведения биомеханического моделирования были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами C1-Th10, Th10-L4 и L4-L5-S1 и пациентов с повреждениями шейногрудного (n=10), груднопоясничного (n=70) и поясничнокрестцового (n=10) переходных отделов позвоночника. Исходные снимки КТ имели разрешение 512 на

512 пикселей, толщина среза 0,5 мм. Обработка данных компьютерной томографии выполнена в программном комплексе Mimics. Далее твердотельная геометрическая компьютерная модель позвоночника создавалась в программном комплексе SolidWorks. Численное моделирование различных нагружений рассматриваемого сегмента позвоночника осуществлялось в конечно-элементном пакете Ansys.

С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки от C1 до Th10, C7 до S5, и от L4 до S1. В модель включали также ребра, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки. Ткани позвонков, имплантаты и металлофиксаторы моделировались линейно-упругими материалами с изотропными и однородными свойствами. Все элементы позвоночника, кроме связок, моделировались трехмерными телами. Связки представлялись линейными одномерными элементами [19]. Материалы элементов позвоночника являлись линейно-упругими, изотропными и однородными [71]. Связки позвоночника моделировались одномерными механическими элементами типа Spring, которые могут работать на растяжение и сжатие, при задании которых необходимо учитывать величину осевой жесткости. Жесткость связок брали из литературы [94], и различается данный показатель в зависимости от сегмента позвоночника и от типа связки. Толщина кортикального слоя позвонков считалась равной 0,5 мм [235]. Фасеточные суставы задавались контактным условием, при котором коэффициент трения равен нулю. Трение в суставе не учитывалось, и учитывались только передаваемые нормальные силы. Границы других тканей считались склеенными. Интерфейсы «кость-винт» моделировались как контактные элементы «поверхность-поверхность» для расчета контактной силы. С использованием построенных твердотельных трехмерных моделей переходных сегментов позвоночника с имплантатами и металлофиксациями созданы биомеханические модели. Проведены расчеты биомеханических моделей в системе Ansys Workbench под действием осевой нагрузки, а также изгибающих и скручивающих моментов.

В соответствии с Таблицей 5 были заданы механические свойства тканей позвоночного столба, имплантатов и металлофиксаторов.

Таблица 5 – Механические свойства тканей позвоночного столба и имплантатов

Материал	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона	Продольная жесткость, Н/мм
Кортикальный слой кости	12000	0,3	-
Губчатый слой кости	100	0,2	-
Межпозвонковый диск	24	0,49	-
Фасеточный сустав	10	0,4	-
Межпоперечная связка	-	-	50
Межостистая связка	-	-	9,8
Надостистая связка	-	-	20
Титановый сплав	112000	0,3	-

Для моделирования осевой нагрузки к замыкательной пластине верхнего позвонка прикладывали силу, моделирующую вес тела человека, величиной 20–700 Н, в зависимости от отдела позвоночника и моделируемых состояний. Моделировались несколько нагружений рассматриваемого сегмента позвоночника: сгибание, ротационный поворот, разгибание, наклон вправо, наклон влево (величиной 1–7,5 Н*м, в зависимости от отдела позвоночника и моделируемых состояний) [307]. На нижнюю замыкательную пластинку нижнего позвонка накладывали ограничение по перемещениям. Для моделирования падения с высоты роста человека, прикладываемая к моделям компрессионная нагрузка увеличивалась до 1200 Н. Были также рассмотрены «экстремальные» нагрузки, действующие на моделируемый сегмент позвоночника. Параметры прилагаемого усилия соответствуют таковым при кататравме и дорожно-транспортных происшествиях, приводящих к переломам позвоночника, согласно данным литературы [196, 201, 213, 251]. Экстремальные нагрузки моделируют падение с высоты [272], различные виды фронтальных столкновений и т. д. [195]. Имплантаты и металлофиксаторы изготовлены из титанового сплава, предел текучести которого составляет 550 МПа. В результате моделирования были рассчитаны поля напряжений и перемещений. Анализировали эквивалентные напряжения в позвонках: в губчатой и кортикальной кости. Решение задачи биомеханики о воздействии внешних нагрузок на сегмент позвоночника вместе с установленными системами фиксации выполнялось также численно методом конечных элементов с автоматической генерацией сетки в системе Ansys.

Анализировали стабильность систем фиксации, а также величины нагрузок, стратегия построения сетки была разработана для криволинейной границы элемента и, таким образом, позволила избежать резких разрывов, вызывающих нереально высокую концентрацию напряжений. В среднем окончательные сетки моделей состояли примерно из 231 000 элементов и 340 000 узлов. Для точности моделирования выполнялось измельчение сетки до тех пор, пока не была достигнута превосходная монотонная сходимость с разницей в общей энергии деформации $< 5\%$. Нелинейный алгоритм с формулой большой деформации и прямым разреженным решателем был использован в программе Simulation Ed. 2018 (Корпорация SolidWorks, Конкорд, Массачусетс, США).

На Рисунке 19 представлены этапы биомеханического моделирования инструментированного позвоночника.

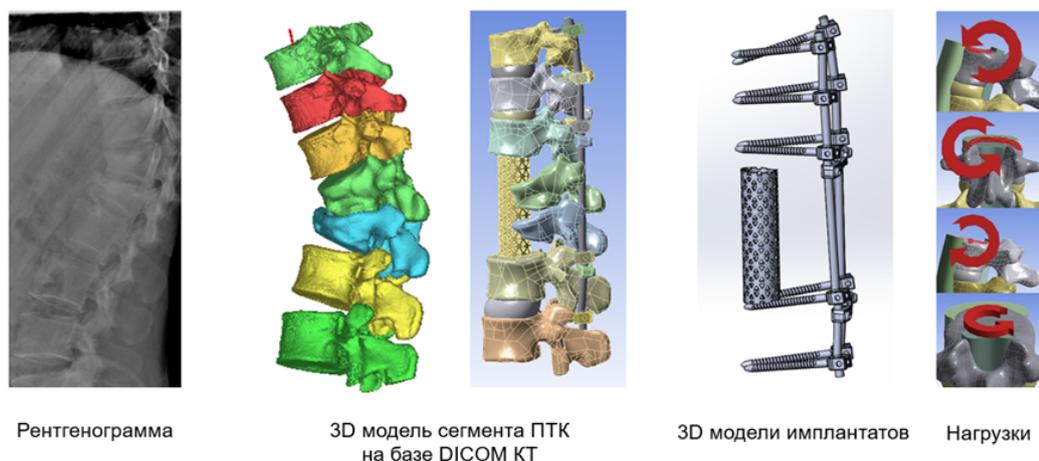


Рисунок 19 – Этапы биомеханического моделирования инструментированного позвоночника

Схематично пример результатов биомеханического моделирования представлен на Рисунке 20. Заведомо «не оптимальная» компоновка фиксирующей системы. Присутствует цветовая индикация перегруженных участков фиксирующей системы.

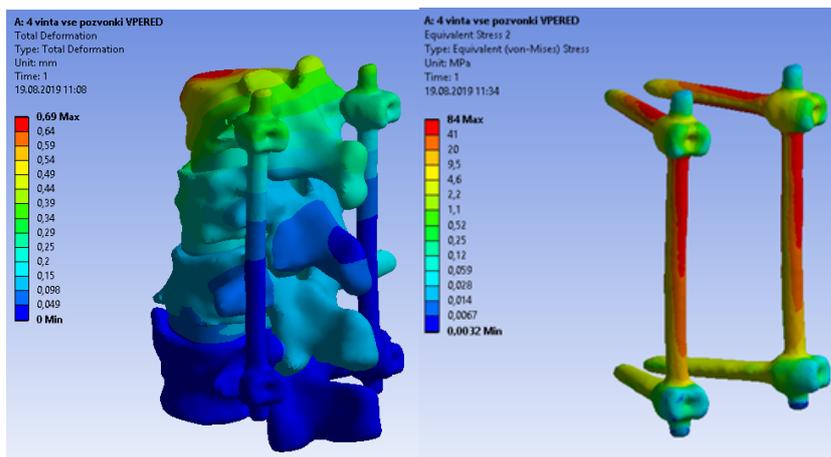


Рисунок 20 – Пример результатов биомеханического моделирования инструментированного позвоночника

С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки, ребра, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки. Оценена эффективность различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника. При этом использовали базу данных «имплантаты» (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622195 от 27.11.2019 г. [67]) для упрощения моделирования металлоконструкций.

2.4. Характер выполненных хирургических вмешательств

В условиях нашего стационара существовала техническая возможность использования большинства современных методик спондилосинтеза, применяемых при повреждениях позвоночника. Во всех случаях использованы имплантаты производителей Ulrich, Prospan, Medtronic, все операции выполнены двумя бригадами хирургов. Диаметр стержней 5,5 мм, диаметр и длина винтов соответствовала морфологии инструментированных позвонков. Для переднего опорного спондилодеза использовали с дополнительной фиксацией винтами (при переломах типа С) титановые имплантаты типа MESH и имплантаты для переднего

поясничного межтелового спондилодеза (ALIF). Для костно-пластических целей использовали аутокость и синтетические остеозамещающие материалы одного производителя. Вмешательства проводили под комбинированной (тотальная внутривенная анестезия + искусственная вентиляция легких) анестезией. Интраоперационный контроль проводился стандартным электронно-оптическим преобразователем (ЭОП) (С-дуга). Ниже приведено краткое описание вмешательств в зависимости от переходного отдела.

2.4.1. Шейногрудной переходный отдел

Передняя шейная дискэктомия с межтеловым корпородезом кейджем и фиксация пластиной. Передний доступ выполняли в положении на спине по методу Cloward/Smith and Robinson через левосторонний разрез по внутреннему краю грудино-ключично-сосцевидной мышцы. При необходимости выполняли манубриотомию для доступа к Th2-Th3 позвонкам. Скелетировали тело поврежденного позвонка со смежными дисками. Производили дискэктомию с межтеловым корпородезом кейджем. Для межтеловой фиксации применяли стандартные пластины для моно- и бисегментарной фиксации шейного отдела позвоночника. Данный вариант спондилосинтеза применяли при повреждениях типа С (Рисунок 21). В некоторых случаях применяли методику разнонаправленного введения винтов для наиболее стабильной и жесткой фиксации пластины.

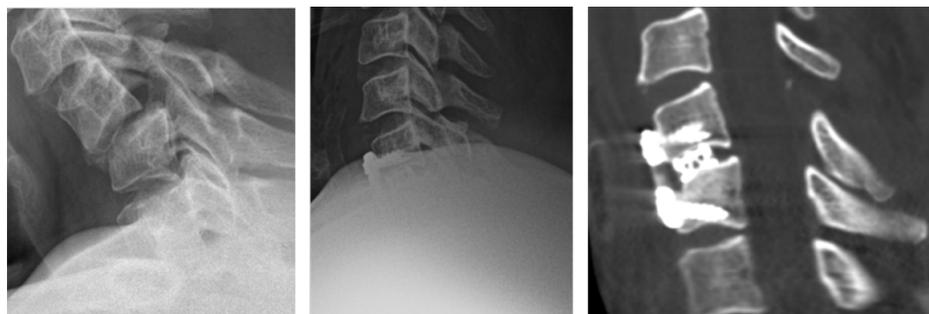


Рисунок 21 – Рентгенограммы и КТ пациента с передним подвывихом С7 позвонка (тип С). Выполнена стандартная дискэктомия, межтеловой спондилодез MESH, фиксация пластиной

Передняя шейная корпорэктомия и фиксация пластиной. Передний доступ выполняли в положении на спине по методу Cloward/Smith and Robinson через левосторонний разрез по внутреннему краю грудино-ключично-сосцевидной мышцы. При необходимости выполняли манубриотомию для доступа к Th2-Th3 позвонкам. Скелетировали тело травмированного позвонка со смежными дисками и позвонками. На тела смежных с травмированным позвонком устанавливали опорные площадки вентральной конструкции. Резецировали смежные межпозвонковые диски, выполняли субтотальную резекция тела поврежденного позвонка. Выполняли переднюю декомпрессию содержимого позвоночного канала. Формировали костное ложе для эндопротеза тела позвонка. Выполняли дистракцию. Производили передний корпородез MESH/аутокостью с устранением сегментарного кифоза. Устанавливали вентральную пластину, которую фиксировали к смежным позвонкам монокортикальными винтами через отверстия в площадках по 2 винта. Данный вариант спондилосинтеза применяли при повреждениях типа А (Рисунок 22). При наличии предикторов развития нестабильности фиксации применяли методику разнонаправленного введения винтов для наиболее стабильной и жесткой фиксации пластины.

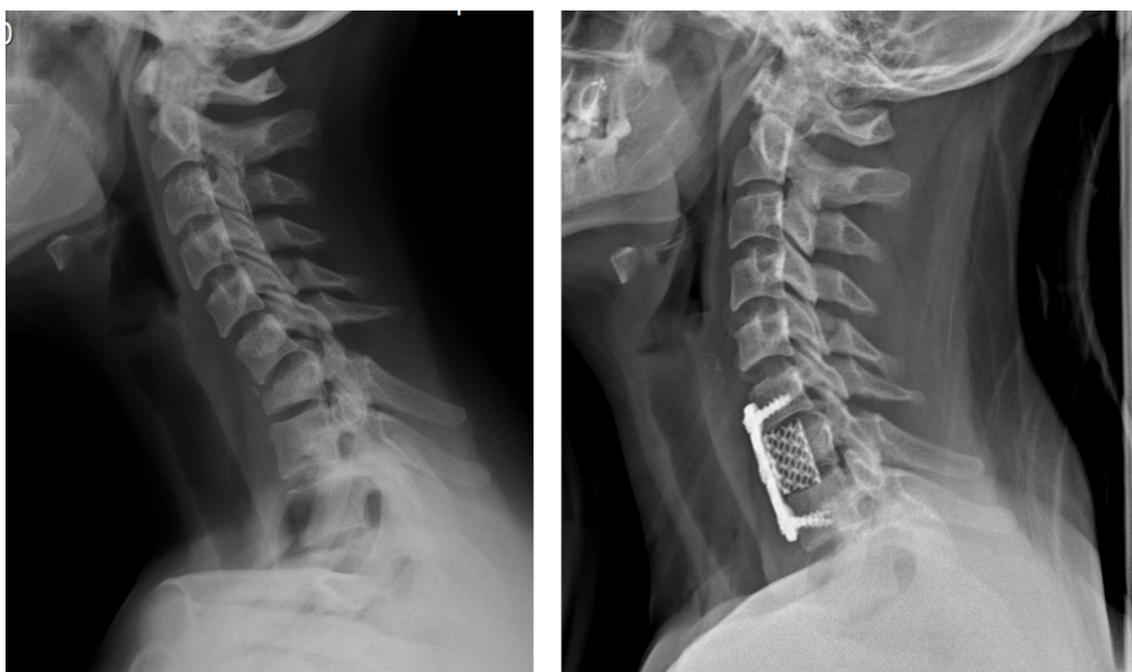


Рисунок 22 – Рентгенограммы пациента с переломом С7 позвонка (тип А3).
Выполнена стандартная корпорэктомия, корпородез MESH, фиксация пластиной

Комбинированное симультанное вмешательство (вентральный спондилодез + задняя винтовая фиксация в боковые массы позвонков). Комбинированное симультанное вмешательство включало вентральный спондилодез и заднюю винтовую фиксацию. Данную методику использовали при повреждениях шейногрудного переходного отдела позвоночника при наличии предикторов развития нестабильности фиксации (Рисунок 23).

1 этап. После осевой тракции при дислокации выполняли передний корпородез. При повреждении типа С выполняли переднюю шейную дискэктомию или, при необходимости, корпэктомию, прямое вправление подвывиха с межтеловым корпородезом кейджем, MESH или аутокостью. Вертикальный размер имплантата выбирался таким образом, чтобы устранить сегментарный кифоз. После рентгенологического контроля во всех случаях устанавливалась вентральная пластина, которую фиксировали к смежным позвонкам винтами. Для межтеловой фиксации применяли стандартные пластины для моно- и бисегментарной фиксации шейного отдела позвоночника. В некоторых случаях применяли методику разнонаправленного введения винтов для наиболее стабильной и жесткой фиксации пластины.

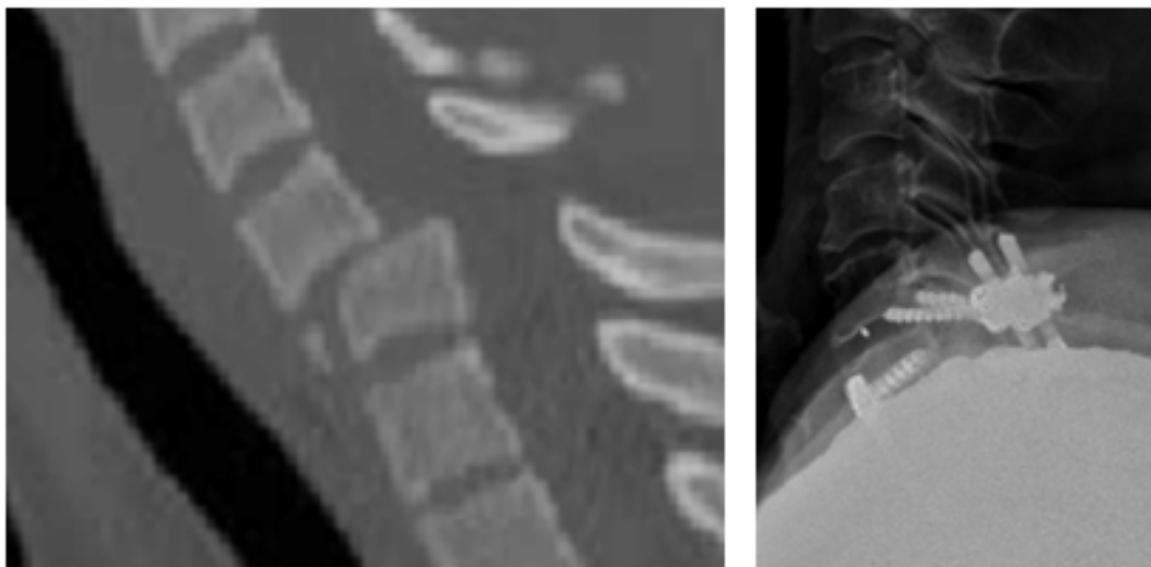


Рисунок 23 – КТ и рентгенограммы пациента с передним подвывихом С7 позвонка (тип С). Выполнена стандартная дискэктомия, межтеловой спондилодез MESH, фиксация пластиной и дорзальная фиксация винтами

2 этап. Задний доступ выполняли одновременно после поворота пациента и укладки на живот с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля производили разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков от С6 до Th2 позвонков (при дорзальной фиксации). Выполнялось скелетирование и декорткация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Билатерально устанавливались винты через боковые массы С6 винты (2 шт.) и транспедикулярно в Th1 позвонков. Винты соединялись штангами, производилась дистракция и фиксация системы.

2.4.2. Груднопоясничный переходный отдел

Типичная бисегментарная транспедикулярная фиксация. Под эндотрахеальным наркозом (ЭТН), в положении больного на животе, с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля произведен разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков 3 позвонков (например, от Th11 до L1). Выполнено скелетирование и декорткация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Через точки Рой-Камилла билатерально установлены транспедикулярные винты (4 шт.) в тела Th11 и L1 позвонков. Винты соединены штангами, произведены дистракция и фиксация системы. Установлен поперечный коннектор (Рисунок 24).

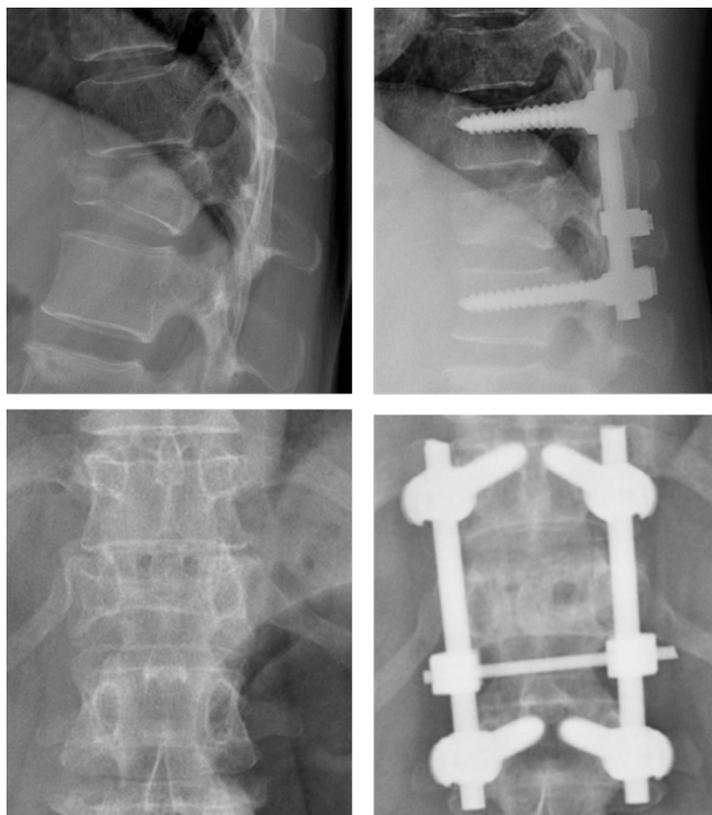


Рисунок 24 – Рентгенограммы пациента с компрессионно-оскольчатый переломом Th12 позвонка (тип А3). Выполнена стандартная транспедикулярная бисегментарная фиксации

Типичная 8-винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация. Под ЭТН, в положении больного на животе, с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля выполняем разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков в проекции остистых отростков поврежденного, 2 краниальнее и 2 каудальнее позвонков. Выполнено скелетирование и декортикация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Через точки Рой-Камилла билатерально установлены транспедикулярные винты (8 шт.) в тела 2 позвонков краниальнее и 2 каудальнее поврежденных. Винты соединяли штангами, произведены дистракция и фиксация системы (Рисунок 25). Устанавливали поперечный коннектор. Методику использовали при переломах типа А3, А4 при использовании разработанного алгоритма выбора хирургической тактики.

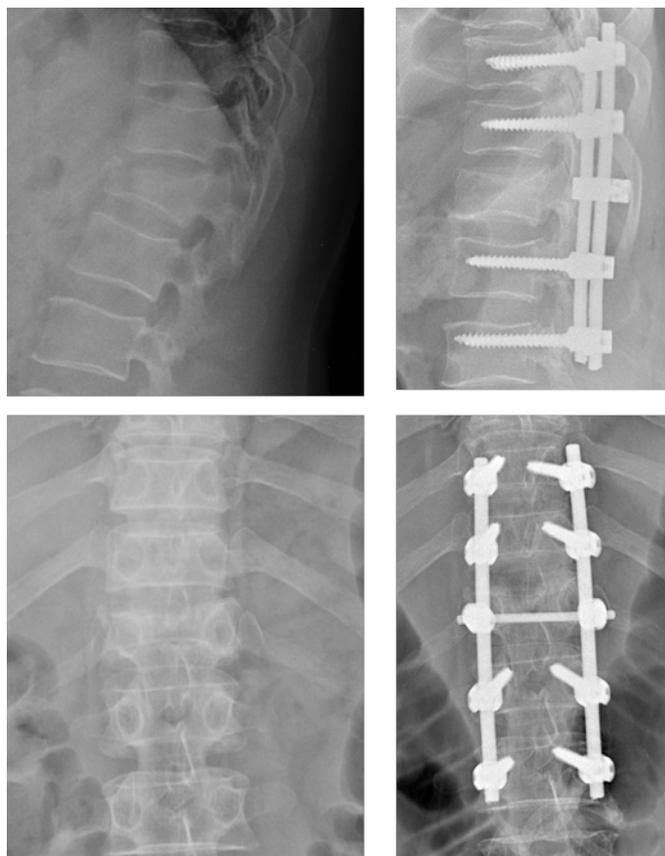


Рисунок 25 – Рентгенограммы пациента с компрессионно-оскольчатый переломом Th12 позвонка (тип А3). Выполнена стандартная 8-винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация

6-винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация. Под ЭТН, в положении больного на животе, с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля выполняем разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков поврежденного, 2 краниальных и 2 каудальных смежных с ним позвонков. Выполнено скелетирование и декортикация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Через точки Рой-Камилла контрунилатерально установлены транспедикулярные винты (2 шт.) в тела смежных с поврежденным позвонков, в тела двух крайних позвонков зоны фиксации билатерально установлены винты (4 шт). Винты соединены штангами, произведены дистракция и фиксация системы. Установлен поперечный коннектор (Рисунок 26). Оптимизированный вариант полисегментарной ТПФ (6-винтовой) использовали до 3 недель с момента травмы.

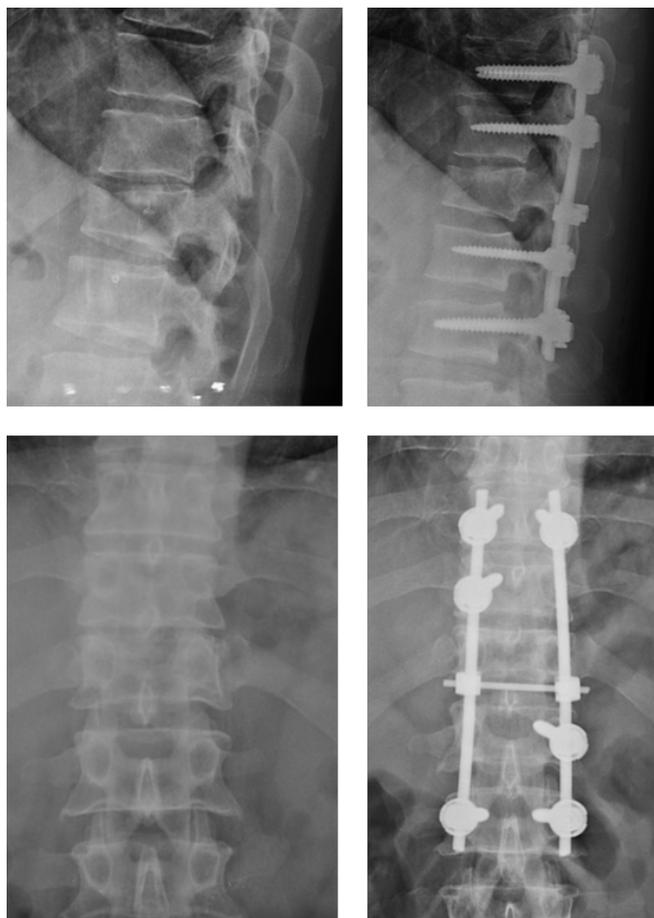


Рисунок 26 – Рентгенограммы пациента с компрессионно-оскольчатый переломом Th12 позвонка (тип А3). Выполнена 6-винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация

Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная промежуточным винтом (Патент № 2717922 от 10.10.2019 г. [48], Рисунок 27).

Больного укладывают на операционный стол в положении на животе с валиками под грудную клетку и таз. После обработки операционного поля осуществляют доступ к задним отделам позвоночника путем выполнения срединного разреза в проекции остистых отростков поврежденного и смежных с ним позвонков. Проводят транспедикулярную фиксацию. Для этого билатерально вводят по два винта в смежные с поврежденным позвонки. Определяют сторону, потенциально приемлемую для возможного осуществления в отсроченном периоде хирургического вмешательства посредством передне-бокового доступа к поврежденному позвонку.



Рисунок 27 – Патент на изобретение №2717922 от от 10.10.2019 г. [48]

Затем с контрлатеральной стороны относительно уже определенной вводят один винт в наиболее крупный отломок поврежденного позвонка, обеспечивая его проведение через ножку дуги, не выходя из границ латеральной трети тела поврежденного позвонка. Соединяют винты между собой посредством соответствующих штанг. Винт, введенный в поврежденный позвонок, фиксируют к штанге, находящейся на одноименной стороне. Создают последовательное дистрагирующее усилие между винтами, введенными в вышележащий, поврежденный и нижележащий позвонки. Репозицию при необходимости выполняют в трех плоскостях за счет изменения глубины введения винта при его установке, а также направления дистракции, в том числе и усилий, прикладываемых к нему во фронтальной плоскости. Затем на противоположной стороне выполняют симметричную дистракцию между винтами, введенными в смежные с поврежденными позвонками. После дистракции позвоночного столба и репозиции поврежденного позвонка осуществляют окончательное блокирование винтов системы путем протяжки гаек. При развитии остеолизиса поврежденного позвонка выполняют второе хирургическое вмешательство, при котором через

передне-боковой доступ осуществляют частичную резекцию поврежденного позвонка и опорный корпородез с установкой имплантата, например типа MESH или лифт-системой, не производя перемонтажа установленной ранее транспедикулярной системы.

Клинический пример применения методики у пациента с компрессионно-оскольчатый переломом L1 позвонка (тип A3 по классификации AOSpine) представлен на Рисунке 28.

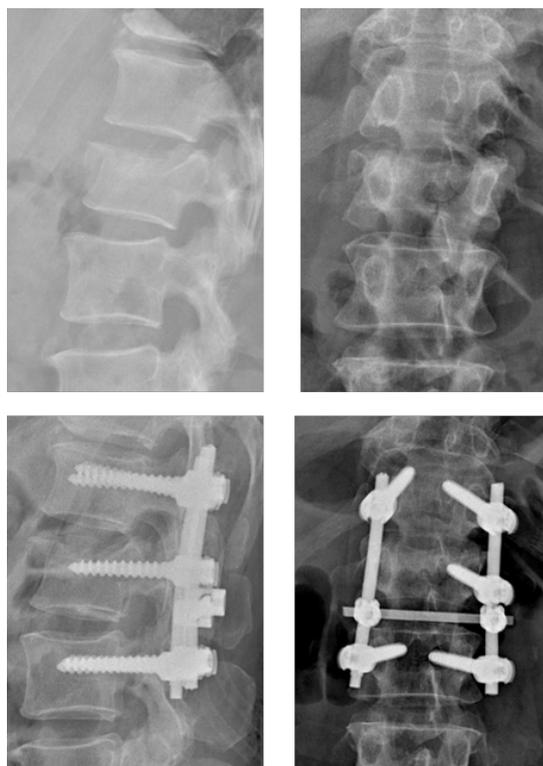


Рисунок 28 – Рентгенограммы пациента с компрессионно-оскольчатый переломом L1 позвонка (тип A3). Выполнена транспедикулярная бисегментарная фиксация по авторской методике с одним промежуточным винтом

Типичная бисегментарная фиксация вентральной конструкцией, резекция тела поврежденного позвонка, корпородез MESH. Под ЭТН, положение больного на левом боку. После обработки и отграничения операционного поля произведен косой разрез кожи и подкожной клетчатки по ходу 9 межреберья от задней ключичной до лопаточной линии, длиной 15 см. Торакофрентомия справа. Скелетированы тела Th11-Th12-L1 позвонков со смежными дисками после коагуляции и пересечения сегментарных сосудов. На тела Th11 и L1 позвонков

установлены опорные площадки вентральной конструкции. Через отверстия в площадках в тела Th11 и L1 позвонков введено по 2 винта. Дискэктомия с Th11 по L1, субтотальная резекция тела Th12 позвонка. Передняя декомпрессия содержимого позвоночного канала. Сформировано костное ложе для эндопротеза тела позвонка. Дистракция в Th11-Th12-L1 сегментах. Произведен передний корпородез MESH с Th11 по L1 позвонков. Винты соединены штангами, штанги фиксированы к винтам гайками. Установлен коннектор-моноблок. Протяжка, контроль стабильности системы (Рисунок 29).

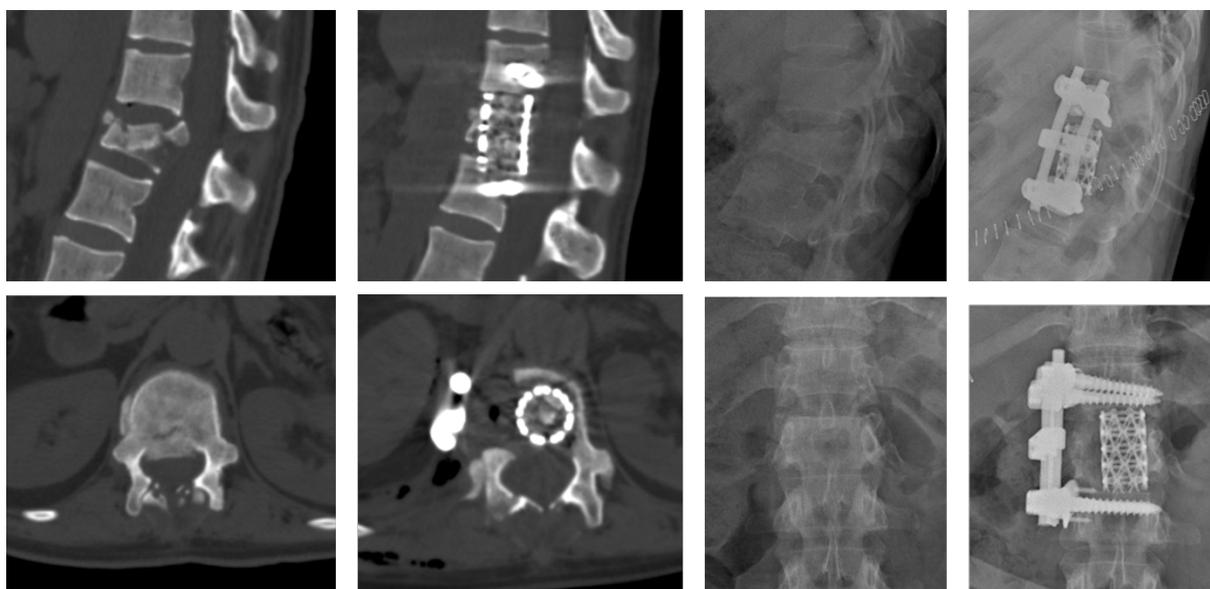


Рисунок 29 – Рентгенограммы и КТ пациента с компрессионно-оскольчатый переломом Th12 позвонка (тип А4). Выполнен спондилосинтез из вентрального торакофренолюмботомического доступа

Типичная 2-этапная операция.

1 этап: коррекция кифотической деформации, фиксация в сегментах Th11-L3 транспедикулярной конструкцией. Под ЭТН, в положении больного на животе. После обработки и отграничения операционного поля произведен разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков от Th11 до L3 позвонков. Выполнено скелетирование и декортикация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Через точки Рой-Камилла установлены транспедикулярные моноаксиальные винты билатерально в тела Th11 (2), Th12 (2), L2 (2), L3 (2) позвонков. Гемостаз. Винты соединены двумя штангами, выполнено

лордозирование, дистракция, фиксация. Установлен 1 поперечный коннектор. Достигнута полная коррекция кифотической деформации. Выполнен задний спондилодез аутокостью. Окончательная протяжка гаек, ЭОП контроль. Гемостаз. Послойное ушивание раны, дренирование 2 трубчатыми выпускниками, монтаж дренажной системы. Йод, спирт, ас/повязка.

2 этап: поддиафрагмальный доступ справа. Положение больного на левом боку. После обработки и отграничения операционного поля произведен косой разрез кожи и подкожной клетчатки по ходу 11 межреберья. Резекция XII ребра. Люмботомия справа, поддиафрагмальный доступ. Скелетировано тело L1 позвонка со смежными дисками после лигирования, коагуляции пересечения сегментарных сосудов. Произведена дискэктомия с Th12 по L2, частичная резекция тела L1 позвонка, передняя декомпрессия спинного мозга. Визуализирован дуральный мешок, пульсирует. Сформировано костное ложе для эндопротеза тела позвонка. Произведен передний корпородез MESH аутокостью резецированного тела позвонка с Th12 по L1 позвонков (Рисунок 30).

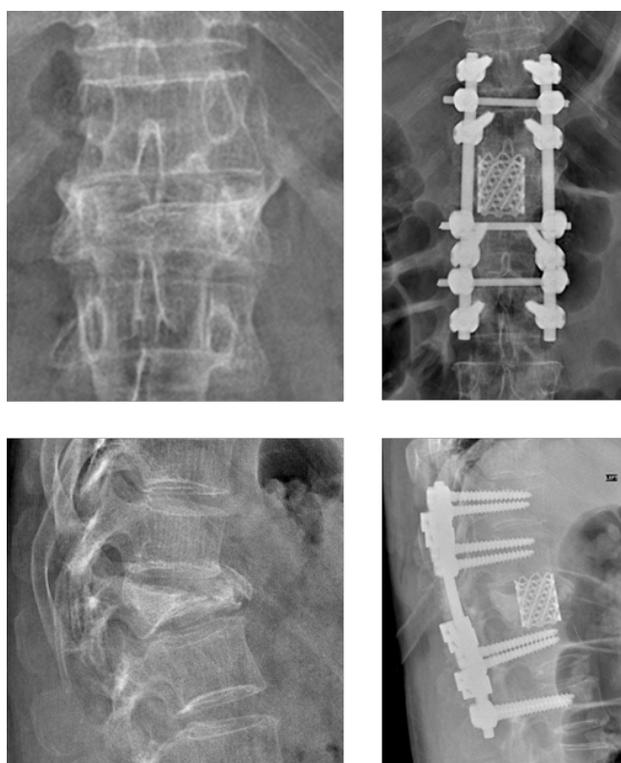


Рисунок 30 – Рентгенограммы и КТ пациента с компрессионно-оскольчатый переломом L1 позвонка (тип A4). 2-этапный спондилосинтез

Следует акцентировать внимание на удобство выполнения поддиафрагмального доступа к телу L1 позвонка. В большинстве случаев при взрывных переломах данной локализации мы предпочитали выполнять 2-этапное вмешательство. Это, на наш взгляд, снижало травматичность операции ввиду сохранения плевральной полости интактной, что исключено при одноэтапном спондилосинтезе вентральной винтовой конструкцией типа Antares в сегментах Th12-L1-L2.

Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная промежуточными винтами (при переломах типа А с фронтальным раскалыванием – А2 по AOSpine) (Патент № 2436534 от 27.05.2010 г. [44], Полезная модель № 99316 от 27.05.2010 г. [52], Рисунок 31).



Рисунок 31 – Патент на способ транспедикулярной фиксации при переломах типа А2 № 2436534 от 27.05.2010 г. [44] и Патент на полезную модель для его осуществления № 99316 [52]

Больного укладывают на операционный стол в положении на животе с валиками под грудь и таз. После обработки операционного поля осуществляют

доступ к задним отделам позвоночника путем разреза мягких тканей над остистыми отростками поврежденного и смежных с ним позвонков. Выполняют скелетирование остистых отростков и дуг позвонков. Под рентгеновским контролем производят введение транспедикулярных винтов в смежные от поврежденного позвонки через их корни дуг. Затем вводят в поврежденный позвонок через точку Рой-Камилла до кортикальной пластины его вентрального фрагмента в предварительно сформированный с помощью шила-направителя канал метчик с ограничителем. При этом соблюдают углы наклона в горизонтальной плоскости: для нижнегрудного отдела позвоночника 5–10 град., поясничного – 15 град. (Рисунок 32).

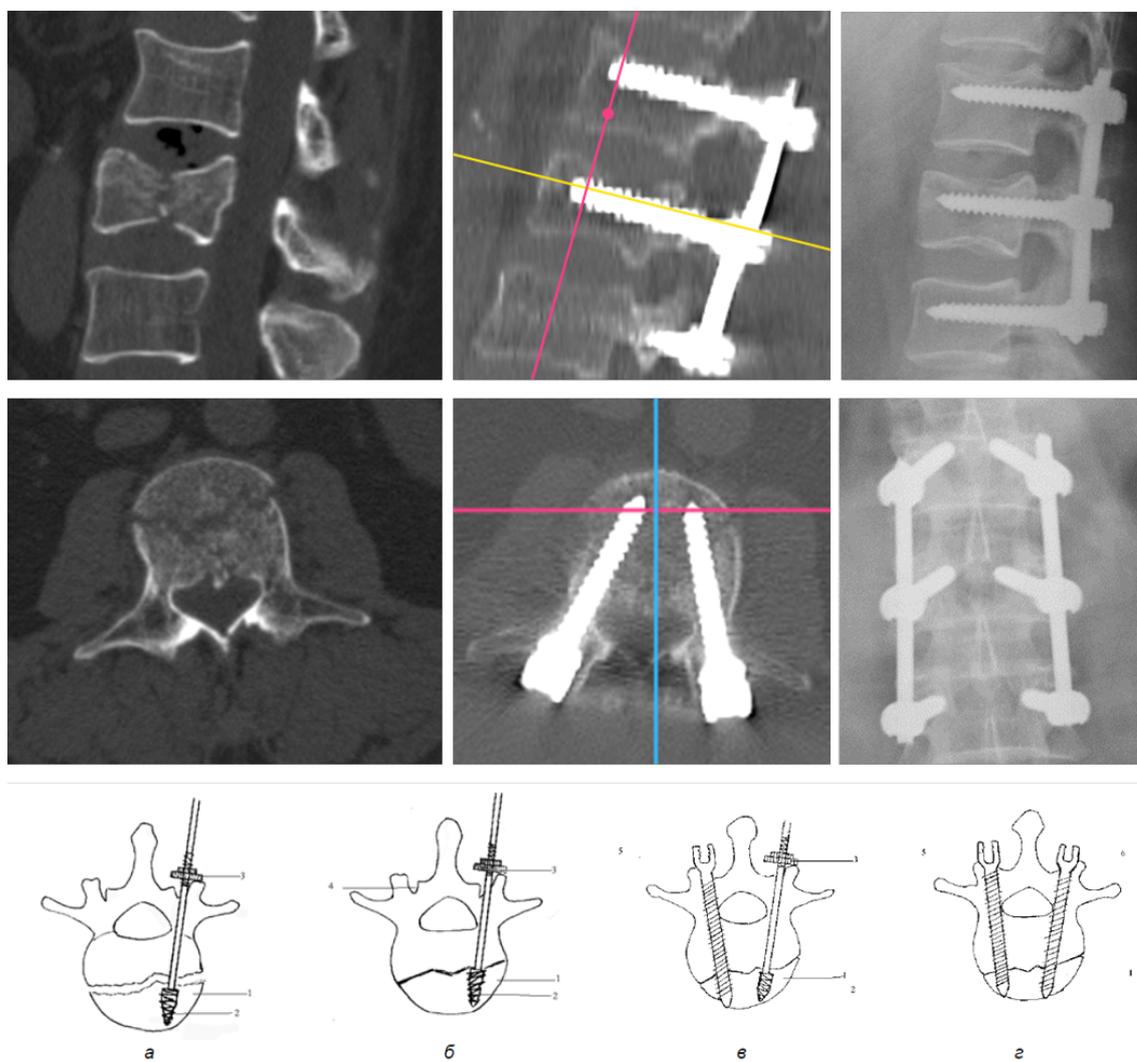


Рисунок 32 – Рентгенограммы и КТ пациента с оскольчатый переломом L2 позвонка (тип A2 по AOSpine с фронтальным раскалыванием тела позвонка). Схематично представлены этапы остеосинтеза тела L2 позвонка

Осуществляют динамическую компрессию вентрального фрагмента поврежденного позвонка путем поворота метчика 1 вокруг своей продольной оси, устраняя, тем самым, диастаз между отломками тела поврежденного позвонка. Через контралатеральную точку Рой-Камилла по сформированному с помощью шила-направителя и второго метчика каналу вводят в поврежденный позвонок транспедикулярный винт, фиксируя им его вентральный фрагмент. Удаляют метчик с ограничителем и вводят в образованный им канал транспедикулярный винт. Завершают монтаж транспедикулярной системы путем соединения всех транспедикулярных винтов отмоделированными фиксирующими штангами.

Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная промежуточными винтами (при переломах типа А с сагиттальным раскалыванием) (Патент № 2478342 от 16.02.2012 г. [46], Рисунок 33).



Рисунок 33 – Патент № 2478342 от 16.02.2012 г. [46]

Больного укладывают на операционный стол в положении на животе с валиками под грудь и таз. После обработки операционного поля осуществляют доступ к задним отделам позвоночника путем разреза мягких тканей над остистыми отростками поврежденного и смежных с ним позвонков. Выполняют скелетирование остистых отростков и дуг позвонков. Под рентгеновским контролем производят введение транспедикулярных винтов в смежные от поврежденного позвонки через их корни дуг. Затем вводят через точку Рой-Камилла в крупный отломок поврежденного позвонка через предварительно сформированный с помощью шила-направителя и метчика канал транспедикулярный винт. При этом соблюдают углы наклона в горизонтальной плоскости: для нижнегрудного отдела позвоночника 5–10 град., поясничного – 15 град. Соединяют транспедикулярные винты со стороны крупного отломка штангой. Жестко фиксируют в штанге транспедикулярные винты, введенные в смежные от поврежденного позвонки. Устраняют диастаз между отломками поврежденного позвонка путем осуществления компрессии отломков в зоне перелома за счет обеспечения поворота введенного в крупный отломок транспедикулярного винта вокруг оси штанги, жестко фиксируют последний в штанге. Через контралатеральную точку Рой-Камилла вводят во второй отломок поврежденного позвонка через сформированный с помощью шила-направителя и метчика канал транспедикулярный винт с обеспечением его прохода через линию перелома в первый отломок. Завершают монтаж транспедикулярной системы. Для этого осуществляют установку второй штанги с другой стороны, жестко фиксируя в ней оставшиеся транспедикулярные винты. Затем соединяют штанги между собой с помощью коннектора. Послойное ушивание раны. Активное дренирование. Йод, спирт, ас/повязка.

Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная провизирной вертебропластикой (Способ этапного хирургического лечения оскольчатых переломов переходного грудопоясничного отдела позвоночника, Патент № 2717921 от 10.10.2019 г. [47], Рисунок 34).



Рисунок 34 – Патент на изобретение № 2717921 от 10.10.2019 г. [47]

Оптимальной морфологией повреждений, при котором оправдано применение разработанного способа, являются переломы типа А3 и А4 по классификации AOSpine. Предлагаемый нами способ этапного хирургического лечения оскольчатых переломов переходного грудопоясничного отдела позвоночника осуществляется следующим образом: под общей анестезией в положении больного на животе выполняется стандартный срединный дорзальный доступ к позвоночнику со скелетированием задних структур поврежденного, выше- и нижележащего от него позвонков. Транспедикулярные винты устанавливаются билатерально в позвонки, смежные с поврежденным. Затем винты соединяются стержнями, фиксируемыми гайками. За счет distraction и лордозирования транспедикулярной системы при ее монтаже осуществляется

коррекция посттравматической кифотической деформации и репозиция фрагментов поврежденного позвонка. Затем через иглу для вертебропластики, установленную в поврежденный позвонок справа транспедикулярно (при последующем хирургическом вмешательстве чаще используется правосторонний передний доступ к телам поврежденных позвонков грудопоясничного перехода), в тело поврежденного позвонка под флюороскопическим контролем вводится костный цемент на основе полиметилметакрилата. Объем вводимого цемента считается достаточным при заполнении $\frac{1}{2}$ тела позвонка, но не допуская его экстравертебрального выхода. Игла для вертебропластики удаляется, рана ушивается послойно.

Через 2 месяца после данной операции под общей анестезией выполняется правосторонний торакофрентомный доступ к поврежденному позвонку. Боковая поверхность позвонка скелетируется. Дискэктомия. При помощи высокоскоростного бора и костных кусачек резецируется укрепленный костным цементом фрагмент тела поврежденного позвонка, формируется дефект позвонка по типу паза до границы средней-левой $\frac{1}{3}$ тела позвонка. Замыкательные пластинки смежных позвонков, являющиеся краниальной и каудальной границей костного ложа, обрабатываются рашпилем до «кровоавой росы», после чего в костное ложе устанавливается контейнерный сетчатый имплантат типа MESH, заполненный синтетическим остеоиндуктивным материалом. Рана ушивается послойно, дренируется (Рисунок 35).

Второй, вентральный этап операции выполняется через 2 месяца, что является средним сроком стабилизации соматического состояния больного и минимальным сроком, при котором возможны проявления остеоостеонекроза тела поврежденного позвонка, индуцированного полиметилметакрилатом.

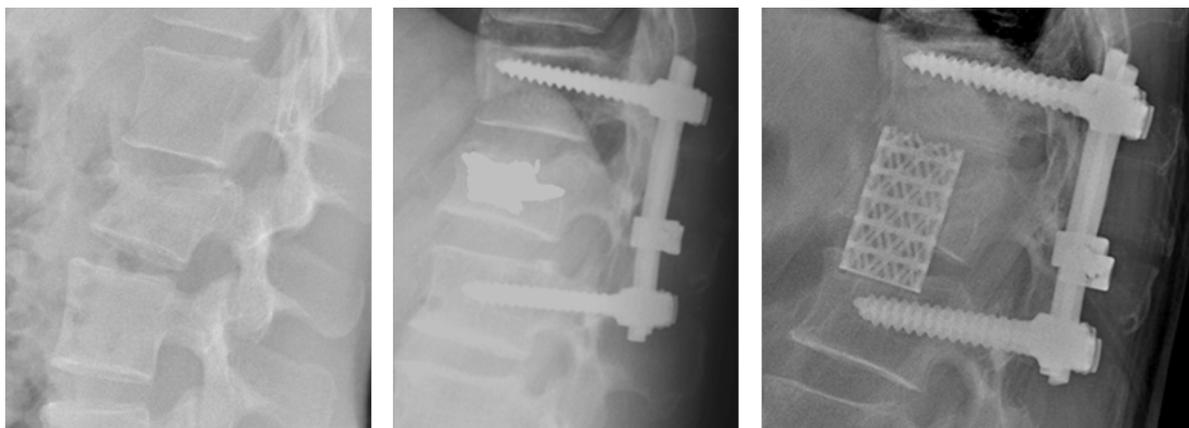


Рисунок 35 – Рентгенограммы пациента с оскольчатый переломом L2 позвонка (тип А3 по AOSpine). Выполнена провизорная вертебропластика

2.4.3. Поясничнокрестцовый переходный отдел

Бисегментарная транспедикулярная фиксация. Бисегментарная транспедикулярная фиксация выполнялась по стандартной методике (Рисунок 36). Под ЭТН, в положении больного на животе, с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля произведен разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков от L4 до S1. Выполнено скелетирование и декортикация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Через точки Рой-Камилла билатерально установлены транспедикулярные винты (4 шт.) в тела L4 и S1 позвонков. Винты соединены штангами, произведены дистракция и фиксация системы. Установлен поперечный коннектор.

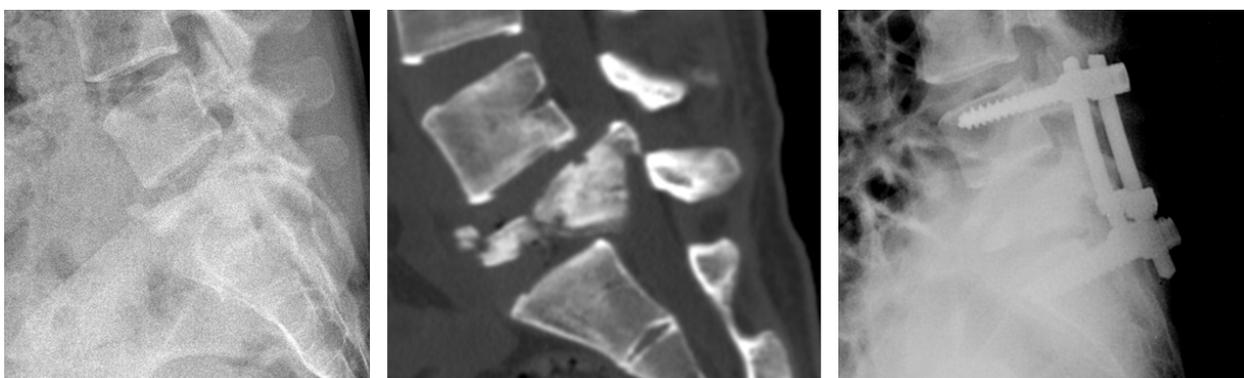


Рисунок 36 – Рентгенограммы пациента с оскольчатый переломом L5 позвонка (тип А4 по AOSpine). Выполнена бисегментарная транспедикулярная фиксация

Циркулярный спондилосинтез (ТПФ + передний опорный корпородез MESH). Первым этапом циркулярной фиксации выполнялась стандартная транспедикулярная фиксация с установкой винтов в L4 и S1 позвонки. Затем, согласно разработанному способу выбора тактики лечения при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка (Патент на изобретение № 2779995 от 25.11.2021 г. [50], Рисунок 37), определяли степень реклинации поврежденного позвонка. При наличии показаний к переднему опорному корпородезу после укладки пациента в положение на спине выполняли левосторонний забрюшинный доступ. Лигировали и пересекали поясничные артерии и вены в зоне L4 позвонка слева, левую илилолюмбальную вену, а также срединные артерию и вену крестца. Как правило, выделяли диск L4-L5 за счет смещения магистральных сосудов медиально, а L5-S1 диск – между подвздошными венами. Затем выполняли дискэктомию L4-L5 и L5-S1, частичную резекцию тела L5 позвонка. Опорный корпородез осуществляли имплантатом MESH, заполненным аутокостью резецированного тела позвонка, смешанной с синтетическим остеоиндуктивным материалом (Рисунок 38).



Рисунок 37 – Патент на изобретение № 2779995 от 25.11.2021 г. [50]

Учитывая неврологически неосложненный характер травмы позвоночника, пациентов активизировали в вертикальном положении в 1-е сутки после операции и проводили реабилитацию с назначением лечебно-оздоровительного режима для возможно ранней активизации пациента согласно отечественным клиническим рекомендациям [23].

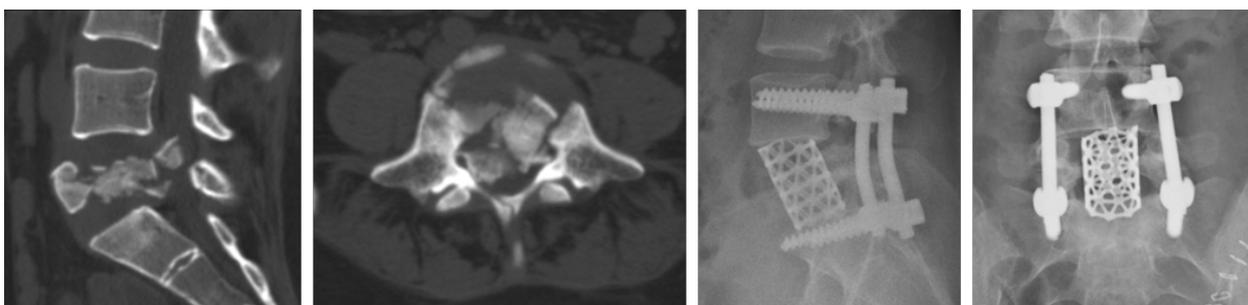


Рисунок 38 – 2-этапный спондилосинтез у больной с компрессионно-оскольчатый (тип А4 по AOSpine) переломом L5 позвонка

Таким образом, из 365 пациентов авторские методики операций были применены в 147 наблюдениях (40,2% случаев) (Таблица 6).

Таблица 6 – Авторские методики и количество прооперированных с их использованием пациентов

ШГП	ГПП	ПКП
Разнонаправленное введение винтов при установке наkostной пластины (n = 14)	Бисегментарная ТПФ, дополненная промежуточными винтами при переломах типа А2 с фронтальным раскалыванием (Патенты № 2436534 от 27.05.2010 г. [44], № 99316 от 27.05.2010 [52]) (n = 4)	Способ выбора тактики лечения при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка (Патент № 2779995 от 25.11.2021 г. [50]) (n=9)
Определение грудинношейного угла (SCA) (n = 19)	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная одним промежуточным винтом (Патент № 2717922 от 10.10.2019 г.[48]) (n = 47)	Способ индивидуального определения должной высоты тела L5 позвонка (Патент № 2772644 от 07.06.2021 г. [49]) (n = 22)
	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная промежуточными винтами (при переломах типа А2 с сагиттальным раскалыванием) (Патент № 2478342 от 16.02.2012 г. [46]) (n = 3)	

Продолжение Таблицы 6

ШГП	ГПП	ПКП
	6-и винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация (n=19)	
	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная провизирной вертебропластикой (Патент № 2717921 от 10.10.2019 г. [47]) (n = 19)	
33 пациента	73 пациента	41 пациент

2.5. Методы статистического анализа

Статистический анализ данных произведен с использованием программного продукта для ПК SPSS 21.0 (USA), а также Microsoft Excel 2010. Для оценки нормальности распределения количественных признаков использовали методы Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Учитывая малый объем выборки и ненормальное распределение большинства количественных признаков, применяли непараметрические методы статистики. Для описания количественных данных использовали медиану и 25–75 процентиля. Анализ различий между различными группами по количественным признакам проводили с использованием U-критерия Манна-Уитни (для двух групп) и Краскала-Уоллиса (для трех и более групп), в связанных группах применяли двухфакторный ранговый дисперсионный анализ Фридмана и критерий знаковых рангов Вилкоксона. Для качественных признаков применяли критерий Хи-квадрат Пирсона. При выявлении значимых различий между тремя группами после применения критерия Краскала-Уоллиса оценивали новый, скорректированный на количество сравнений, критический уровень значимости при апостериорных попарных сравнениях $p < 0,017$ (поправка Бонферрони $\alpha = 0,05/3$). Проводили корреляционный анализ Спирмена (до 0,3–слабая связь, 0,3–0,7–умеренная, 0,7–1,0–сильная). Проводили логистический регрессионный анализ для выявления факторов риска. Переменные, включенные в регрессию, имели $p < 0,5$ при однофакторном анализе. Использовали обратный пошаговый подход с вероятностью включения 0,05 и вероятностью исключения 0,1 или более. Для выявления порога значимых значений количественных признаков

строили ROC-кривые с оценкой индекса Юдена. Для создания балльной шкалы факторов риска применяли дискриминантный анализ с получением нормированных коэффициентов канонической дискриминантной функции. Достоверным считали результаты при $p < 0,05$, для всех критериев оценивали двустороннюю значимость.

ГЛАВА 3. ШЕЙНОГРУДНОЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА

3.1. Дизайн исследования

Проведено клиническое ретроспективное когортное одноцентровое открытое исследование. Объектом исследования были пациенты с повреждениями переходного шейногрудного (C7-Th1) отдела, оперированные с 2010 по 2021 гг.

Для решения задач данной части диссертационного исследования проведен анализ элементов саггитального баланса и параметров входа в грудную клетку по данным КТ-исследований (n=84), проведенных на базе НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. Критерии невключения соответствуют указанным в Главе 2. Регистрировались данные о пациенте, включая диагноз, возраст и пол. Проводили измерение проекционного угла [143] для C7, Th1 и Th2 позвонков и грудинношейного угла (SCA). При анализе мы провели оценку нового рентгенологического показателя в зависимости от пола и возраста, а также выявили пороговые значения грудинношейного угла (SCA) для определения возможности выполнения переднего шейного доступа без манубриотомии.

Для решения поставленных задач были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами C1-Th10 и 10 пациентов с изолированными повреждениями C7 позвонка. С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки, межпозвонковые диски, дугоотростчатые суставы и связки. Оценена эффективность различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника.

Для оценки результатов различных вариантов лечения пациентов, прооперированных с 2010 по 2021 гг., разделили на 2 группы:

- 1 группа (n=28) – пациенты со стабильной фиксацией через 12 мес. после операции;
- 2 группа (n=6) – пациенты с нестабильной фиксацией.

Был проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для выявления значимых предикторов несостоятельности фиксации. На основе проведенного анализа результатов хирургического лечения и биомеханического моделирования разработан новый алгоритм при изолированных повреждениях шейногрудного перехода с учетом типа повреждения, наличия предикторов несостоятельности МК и анатомических взаимоотношений позвоночника и грудины. Дизайн проведенных исследований представлен на Рисунке 39.



Рисунок 39 – Дизайн проведенных исследований

3.2. Результаты биомеханического моделирования

3.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала

Для решения поставленных в работе задач по созданию трехмерных геометрических твердотельных моделей переходного шейногрудного отдела позвоночника в норме и при патологии, а также построению системы «поврежденные позвоночно-двигательные сегменты–стабилизирующая металлоконструкция» и исследование ее напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках и вариантах спондилосинтеза, были использованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами С1-Th10. В качестве добровольцев выступали пациенты с гемангиомами позвоночника, оперированные в связи с данной патологией (в объеме вертебропластики), при этом новообразование не нарушало геометрию позвонков. Дефекты тел позвонков, образовавшиеся в результате поражения гемангиомой, не моделировались, данная область при построении твердотельной модели замещалась «губчатой костью». Статистически значимых различий по половозрастному составу и антропометрическим данным между группой добровольцев и пациентов с повреждениями позвоночника нет (10 пациентов) (Таблица 7).

Таблица 7 – Общая характеристика пациентов и добровольцев

	Пациенты с повреждениями С7-Th1, n=10	Добровольцы, n=20	p*
Возраст, лет	31 (24–32)	47 (38–55)	0,203
Пол мужской, %	80%	70%	0,564
ИМТ	23,2 (22,1–25,6) кг/м ²	25,1 (25,1–27,5)	0,812
<i>Примечание: для описания количественных данных использовали Медиану и 25–75 перцентили, * – для количественных признаков использован U-критерий Манна-Уитни, для качественных признаков – Хи-квадрат Пирсона</i>			

Наиболее распространенные переломы шейногрудного отдела позвоночника по данным литературы и нашим данным являются переломы типа А3, А4 и С. Поэтому мы разрабатывали и оценивали различные системы фиксации при данных морфологиях повреждений.

3.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме

Исходная трехмерная модель представлена на Рисунке 40. Модель включала в себя позвонки С1-Th10.

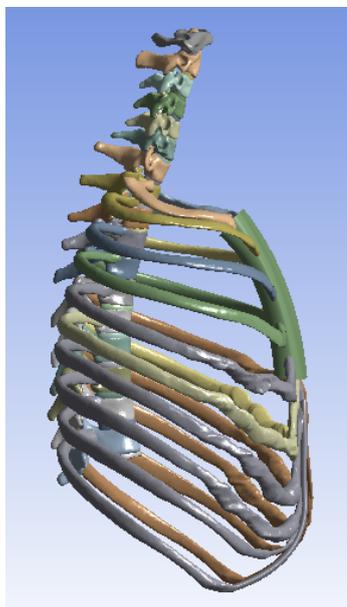


Рисунок 40 – Трехмерная модель С1-Th10, включающая ребра и грудину

К рассматриваемой модели (к верхнему позвонку) поочередно прикладывались изгибающие и скручивающие моменты величиной 1 Н*м [307], как показано на Рисунке 41.

Выявлен рост эквивалентных напряжений на позвонки Th1 и Th2, в то же время напряжения в других позвонках оказались существенно ниже (Таблица 8).

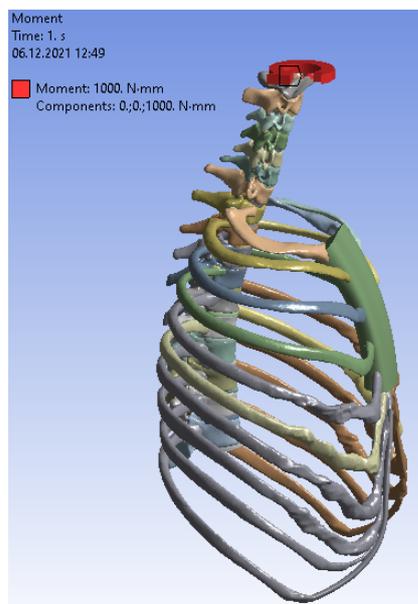


Рисунок 41 – Трехмерная модель сегмента позвоночника C1-Th10 с приложенным скручивающим моментом (показан красной стрелкой)

Таблица 8 – Максимальными эквивалентными напряжениями (в МПа) в позвонках при рассмотренных нагрузках

	C5	C6	C7	Th1	Th2	Th3	Th4
Вращение против часовой стрелки, 1 Н*м	1,6	1,3	4,1	5,0	15,7	0,5	0,1
Вращение по часовой стрелке, 1 Н*м	1,7	1,4	4,2	5,1	15,6	0,4	0,2
Наклон вправо, 1 Н*м	1,0	1,5	5,9	7,5	30,9	0,8	0,3
Наклон влево, 1 Н*м	1,0	1,5	5,9	7,5	30,9	0,8	0,3
Наклон вперед, 1 Н*м	2,1	1,7	5,6	5,9	54,5	2,2	0,5
Наклон назад, 1 Н*м	2,2	1,6	5,5	5,8	52,5	2,1	0,4

3.2.3. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при переломе C7 позвонка типа А с фиксацией пластиной с различными вариантами расположения винтов и установленным межтеловым заменителем MESH

Модель с передней пластиной под действием осевой силы, изгибающих и скручивающих моментов

Рассмотрен перелом позвонка C7 тип А по классификации AOSpine, состояние после резекции тела поврежденного позвонка по типу паза, корпородез MESH, твердотельная трехмерная модель включает в себя три позвонка C6, C7 и Th1 (Рисунок 42). Выполнено биомеханическое моделирование различных

вариантов расположения винтов, фиксирующих пластину к позвонкам. Рассмотренные варианты расположения винтов показаны на Рисунке 43.

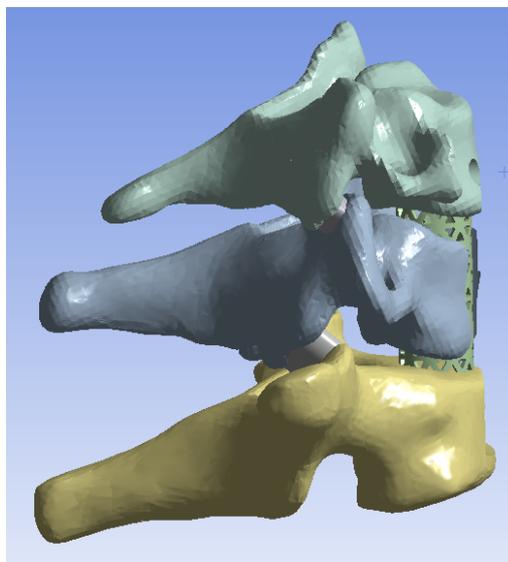


Рисунок 42 – Трехмерная модель позвонков С6, С7 и Th1 и установленным имплантатом типа Mesh

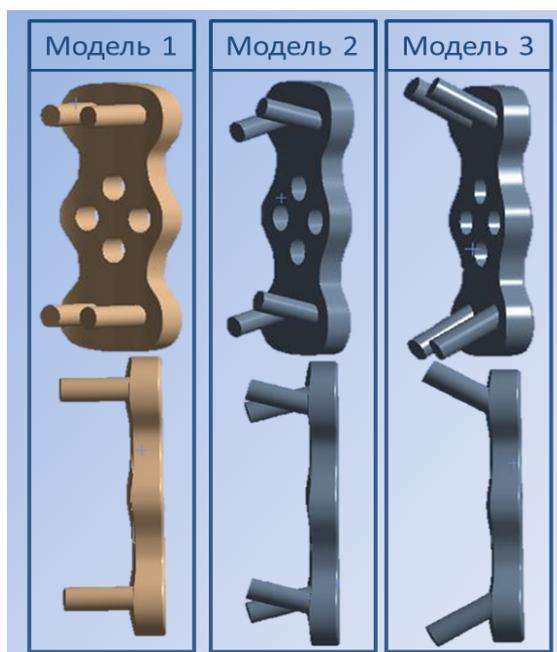


Рисунок 43 – Различные варианты установки винтов, фиксирующих пластину к позвонкам С7 и Th1. Слева-направо: модель 1 – стандартная установка винтов; модель 2 – разнонаправленное расположение винтов (различный каудальный/краниальный наклон верхних и нижних винтов); модель 3 – разнонаправленное расположение винтов (наклон верхних винтов краниально, нижних – каудально)

Решались статические задачи теории упругости о нагружении исследуемого сегмента позвоночника с имплантатами под действием осевой силы 20 Н и изгибающих и скручивающих моментов величиной 1 Н*м, прикладываемых поочередно к позвонку С6 [307]. Нижняя замыкательная пластинка позвонка Th1 жестко закреплялась (Рисунок 44, Таблица 9).

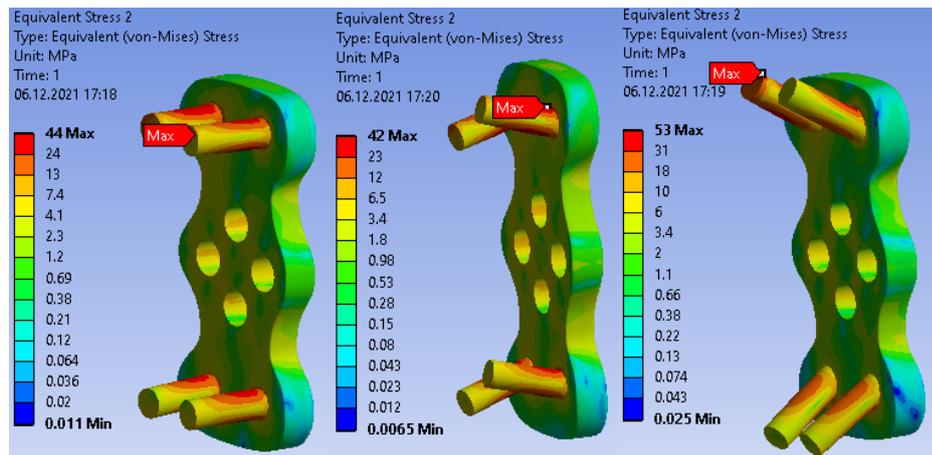


Рисунок 44 – Типичные поля эквивалентных напряжений на трех моделях под действием осевой силы и изгибающего момента (наклон вперед)

Проведенный биомеханический анализ не выявил существенных различий в напряженно-деформированном состоянии рассмотренных моделей, отличающихся расположением винтов, крепящих пластину к позвонкам.

Таблица 9 – Максимальные эквивалентные напряжения (МПа) в пластине и винтах

	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение по часовой стрелке	Вращение против часовой стрелки	Поворот вправо	Поворот влево
Модель 1	44	47	34	52	52	56
Модель 2	53	53	33	38	57	62
Модель 3	42	48	35	31	59	58

Почти при всех рассмотренных нагрузках модель 2 оказалась наиболее жесткой в сравнении с другими моделями (Таблицы 9,10). Стабильность каждого из вариантов фиксации является достаточной и сравнимой. Перемещения верхнего позвонка не превысили 1 мм при рассмотренных нагрузках и вариантах установки

винтов. С точки зрения оценки механической прочности все три варианта оказались жизнеспособными. Напряжения в позвонках и имплантатах не превышают допустимых.

Таблица 10 – Максимальные эквивалентными напряжениями (МПа) в позвонках

	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение по часовой стрелке	Вращение против часовой стрелки	Поворот вправо	Поворот влево
Модель 1	5,1	5,9	3,6	3,6	4,4	4,8
Модель 2	6,1	6,6	3,7	3,8	6,6	7,2
Модель 3	5,9	7,0	5,1	5,9	5,3	6,4

При повышении нагрузки (до 5 Н*м) на сегмент, направленной назад и имитирующей запрокидывание головы, получили следующие результаты (Таблицы 11–13).

Таблица 11 – Максимальные эквивалентные напряжения (МПа) в позвонке Th1, возникающие вследствие действия на него кейджа

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	22
Модель 2	17
Модель 3	20

Таблица 12 – Максимальные эквивалентные напряжения (МПа) в пластине и винтах

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	130
Модель 2	146
Модель 3	141

Таблица 13 – Максимальные перемещения (в мм) в модели

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	1,8
Модель 2	1,6
Модель 3	1,7

Если анализировать эквивалентные напряжения из Таблиц 11–13, то можно заключить, что:

- нижний позвонок (Th1) оказывается наименее нагруженным при установке модели 2;
- система фиксации модели 1 оказывается менее нагруженной (наиболее мягкой, то есть слабая);
- система фиксации модели 2 оказывается наиболее стабильной и наиболее жесткой (наибольшие напряжения в пластине и винтах) среди трех рассмотренных.

При этом нижний позвонок, на который опирается кейдж, оказывается наименее нагруженным, а значит более защищенным от повреждения при применении системы фиксации модели 2 (напряжения снижаются на 23% по сравнению с моделью 1).

Рисунок 45 показывает эквивалентные напряжения в винтах и пластине при нагрузке 5 Н*М назад.

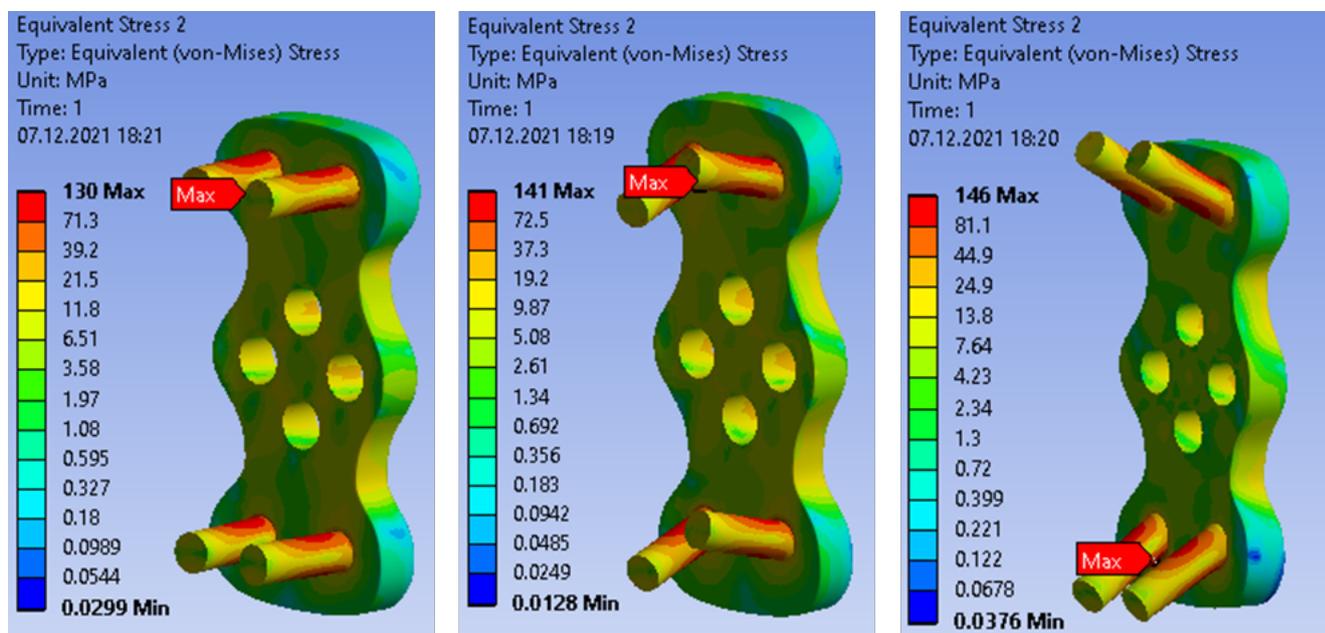


Рисунок 45 – Эквивалентные напряжения в винтах и пластине при нагрузке 5 Н*М назад

Моделирование наклона шейных позвонков при переломе позвонка С7 и установке MESH

Рассмотрен сегмент позвоночника С6-Th1, позвонок С7 поврежден (тип А3 AOSpine), установлен межтеловой имплантат MESH, а также бисегментарная пластина, фиксирующая сегменты С6 - Th1 (Рисунок 23). Исследуемый сегмент наклонялся вперед с шагом 10 градусов (от исходного положения в положение -30 градусов) и нагружался силой величиной 50 Н, действующей вертикально вниз. Сила прикладывалась к верхней замыкательной пластинке позвонка С6 (Рисунок 46).

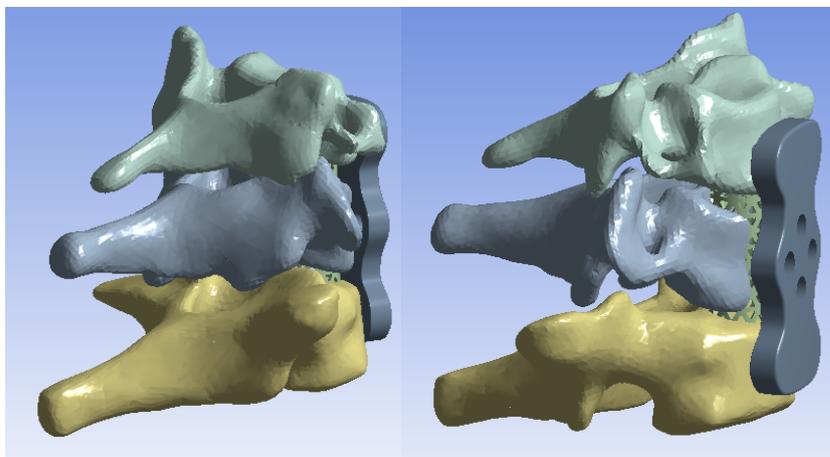


Рисунок 46 – Сегмент позвоночника С6-Th1 (позвонок С7 поврежден), имплантат MESH, а также бисегментарная пластина С6-Th1

Исследовались пластины трех типов, показанные на Рисунке 43 и отличающиеся направлением винтов. В Таблицы 14–16 внесены наиболее полные перемещения в моделях, наибольшие эквивалентные напряжения в винтах и в позвонке Th1.

Анализ напряженно-деформированного состояния моделей, описанного в Таблицах 14–16, позволяет сформулировать, что критическими углами наклона сегмента С6-Th1 являются углы более 20 градусов, так как при переходе от 20 к 30 градусам наблюдается скачкообразное (порядка 10%) увеличение напряжений в винтах и позвонках, а также перемещений верхнего позвонка относительно зафиксированного. При дальнейшем увеличении угла наклона от 30 к 40 градусам напряжения и перемещения увеличиваются примерно на 50% (Рисунок 47).

Таблица 14 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 1

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,11	17	1,3
Наклон -10 град.	0,03	17	1,3
Наклон -20 град.	0,14	32	2,5
Наклон -30 град.	0,29	63	3,6
Наклон -40 град.	0,45	94	4,6

Таблица 15 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 2

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,09	19	1,4
Наклон -10 град.	0,04	17	1,3
Наклон -20 град.	0,13	36	2,7
Наклон -30 град.	0,26	70	4,1
Наклон -40 град.	0,41	104	6,4

Таблица 16 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 3

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,11	19	1,0
Наклон -10 град.	0,04	19	1,2
Наклон -20 град.	0,14	38	2,3
Наклон -30 град.	0,3	72	4,0
Наклон -40 град.	0,43	106	5,8

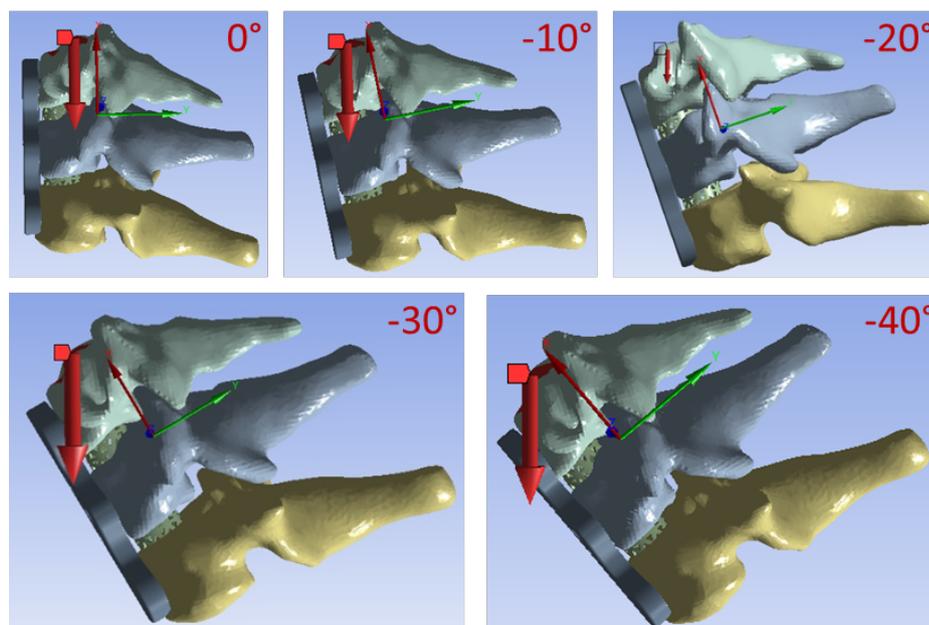


Рисунок 47 – Исследованные модели с наклонами от 0 до -40 градусов

Моделирование наклона шейных позвонков при переломе позвонка C7 типа С (состояние после устранения подвывиха C7 позвонка и установке межтелового кейджа типа MESH)

В Таблицах 17–19 представлены наибольшие полные перемещения в моделях, наибольшие эквивалентные напряжения в винтах и в позвонке Th1 при переломе C7 позвонка тип С по классификации AOSpine.

Таблица 17 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 1

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,08	20	0,8
Наклон -10 град.	0,03	20	1,8
Наклон -20 град.	0,08	18	3,2
Наклон -30 град.	0,18	32	4,3
Наклон -40 град.	0,26	48	5,3

Таблица 18 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 2

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,07	19	0,8
Наклон -10 град.	0,03	18	2,1
Наклон -20 град.	0,08	15	3,3
Наклон -30 град.	0,16	30	4,5
Наклон -40 град.	0,25	46	5,7

Таблица 19 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 3

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Без наклона	0,08	20	0,9
Наклон -10 град.	0,03	20	1,9
Наклон -20 град.	0,08	20	2,9
Наклон -30 град.	0,17	37	3,9
Наклон -40 град.	0,26	55	4,9

Анализ напряженно-деформированного состояния моделей показывает, что критическими углами наклона сегмента C6-Th1 и при вывихе C7 позвонка являются углы более 20 градусов.

3.2.4. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при повреждении C7 позвонка типа C (состояние после устранения подвывиха C7 позвонка и установке межтелового кейджа типа MESH) с фиксацией пластиной с различными вариантами расположения винтов

Модель с передней пластиной при переломе C7 позвонка тип C

Рассмотрен вывих позвонка C7, твердотельная трехмерная модель включает в себя два позвонка C7 и Th1 (Рисунок 48). Выполнено биомеханическое моделирование различных вариантов расположения винтов, крепящих пластину к

позвонкам. Рассмотренные варианты расположения винтов показаны на Рисунке 49.

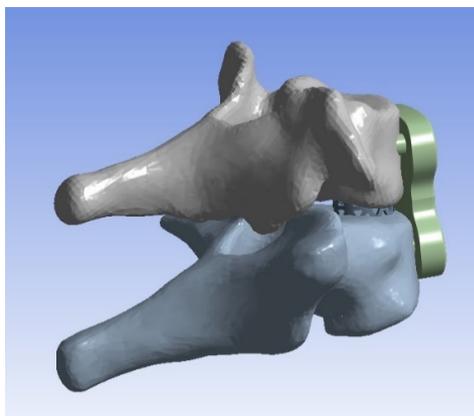


Рисунок 48 – Трехмерная модель позвонков C7 и Th1 и установленным межтеловым имплантатом MESH и пластиной

Решались статические задачи теории упругости о нагружении исследуемого сегмента позвоночника с имплантатами под действием осевой силы 20 Н и изгибающего момента величиной 2 Н*м, прикладываемых позвонку C7. Нижняя замыкательная пластинка позвонка Th1 жестко закреплялась.

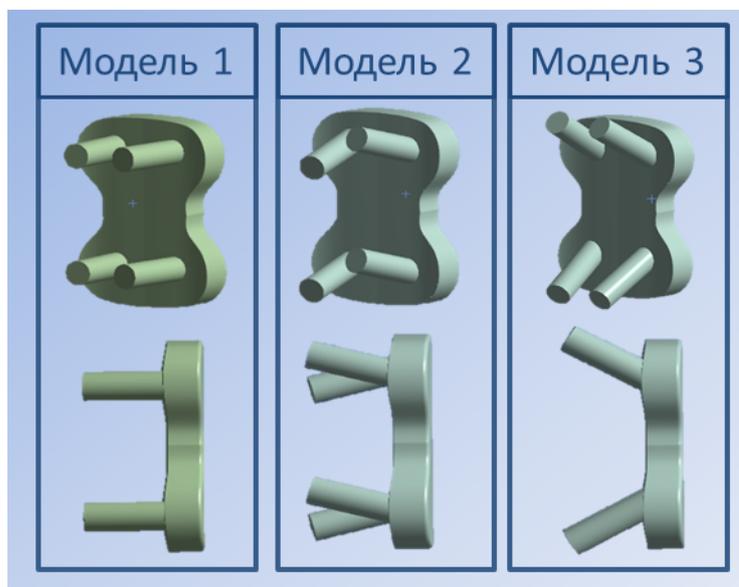


Рисунок 49 – Различные варианты установки винтов, крепящих пластину к позвонкам C7 и Th1. Слева-направо: модель 1 – стандартная установка винтов; модель 2 – разнонаправленное расположение винтов (различный каудальный/краниальный наклон верхних и нижних винтов); модель 3 – разнонаправленное расположение винтов (наклон верхних винтов краниально, нижних – каудально)

В ходе исследования получили следующие результаты (Таблицы 20–22).

Таблица 20 – Максимальные эквивалентные напряжения (в МПа) в нижнем позвонке Th1, возникающие вследствие действия на него кейджа

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	8,1
Модель 2	8,0
Модель 3	8,9

Таблица 21 – Максимальные эквивалентные напряжения (в МПа) в пластине и винтах

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	172
Модель 2	198
Модель 3	195

Таблица 22 – Максимальные перемещения (в мм) в модели

	Наклон назад (5 Н*м)
Модель 1	0,86
Модель 2	0,81
Модель 3	0,85

Если анализировать эквивалентные напряжения из последних трех таблиц, то можно заключить, что:

- нижний позвонок (Th1) оказывается наименее нагруженным при установке модели 2;
- система фиксации модели 1 оказывается менее нагруженной (наиболее мягкая, то есть слабая),
- система фиксации модели 2 оказывается наиболее стабильной и наиболее жесткой (наибольшие напряжения в пластине и винтах) среди трех рассмотренных.

При этом нижний позвонок (Th1), на который опирается кейдж, оказывается наименее нагруженным, а значит более защищенным от повреждения при применении системы фиксации модели 2.

Рисунок 50 показывает эквивалентные напряжения в винтах и пластине при нагрузке 2 Н*М при наклоне назад.

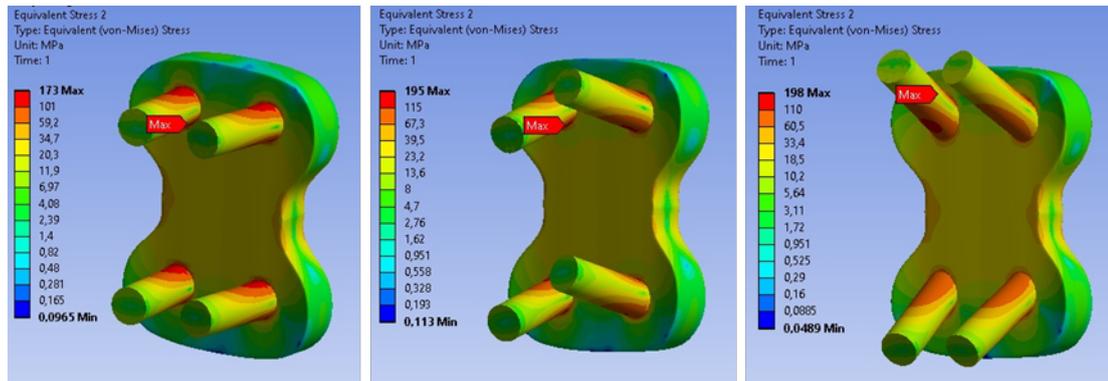


Рисунок 50 – Типичные поля эквивалентных напряжений на трех моделях под действием осевой силы и изгибающего момента

Моделирование наклона шейных позвонков при повреждении ШГП типа С

На Рисунке 51 представлена модель с направлением приложения силы: вертикальная, -10 градусов, -20 градусов, -30 градусов, -40 градусов.

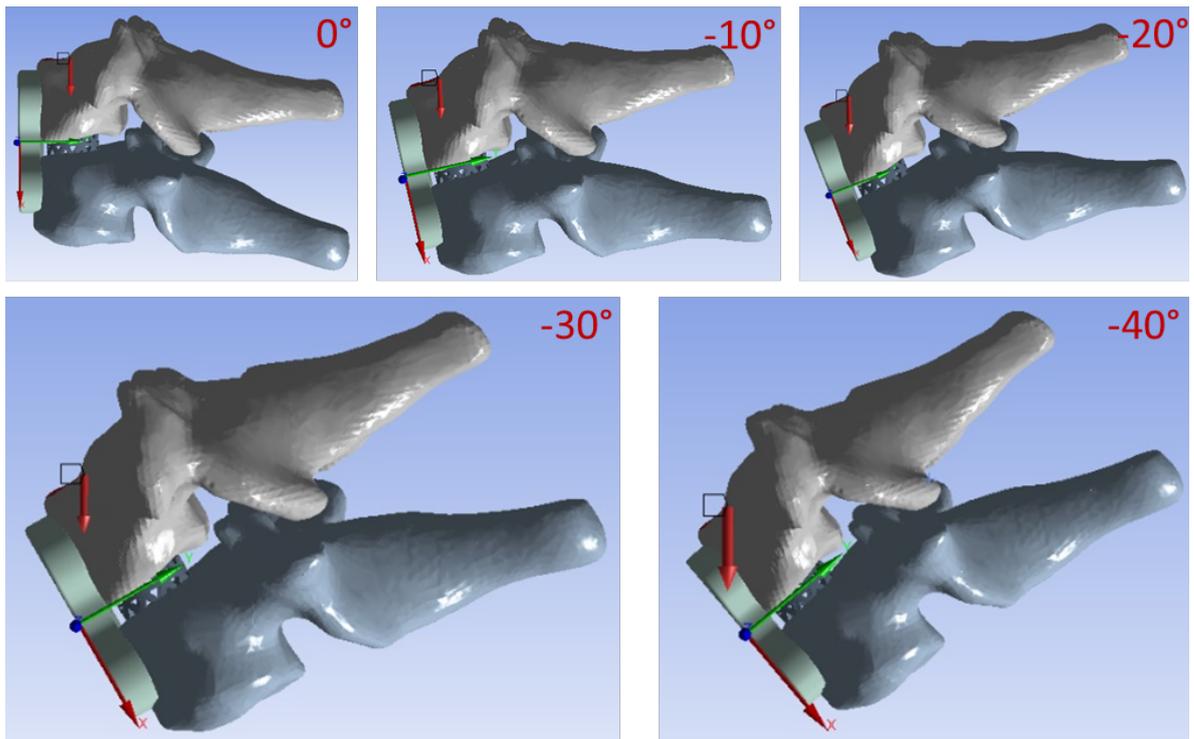


Рисунок 51 – Исследованные модели с наклонами от 0 до -40 градусов

Вывод относительно этой модели аналогичный: наклон 20 градусов является пороговым, после которого напряжения и перемещения увеличиваются скачкообразно, что показано в таблицах выше. В то же время, напряжения и перемещения критичными не являются.

3.2.5. Биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при переломе С7 позвонка с применением MESH различных диаметров (9, 11 и 13 мм)

Трехмерные геометрические модели создавались на основе данных компьютерной томографии в соответствии с методикой, изложенной ранее. Оценивали биомеханические параметры при использовании различных диаметров MESH (9, 11 и 13 мм) при переднем спондилодезе.

Нижняя замыкательная пластинка позвонка Th1 жестко закреплялась. Решение задачи биомеханики о воздействии внешних нагрузок на сегмент позвоночника вместе с установленными системами фиксации выполнялось численно методом конечных элементов в системе Ansys. Анализировали стабильность систем фиксации (Таблица 23), а также величины нагрузок, действующий на имплантаты (Таблица 24) и костные структуры (Таблица 25, Таблица 26) рассматриваемого сегмента позвоночника при различных вариантах внешних нагружений: положение стоя, наклон вперед, наклон назад, вращение вокруг оси, наклон вправо и наклон влево.

Таблица 23 – Максимальные полные перемещения, мм

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
9	0,15	0,35	0,28	0,27	0,54	0,53
11	0,14	0,34	0,28	0,25	0,50	0,51
13	0,11	0,34	0,27	0,25	0,48	0,51

Анализ значений перемещений из Таблицы 23 показывает, что при одномоментном приложении нагрузки все три варианта демонстрируют схожую и достаточную стабильность фиксации. Полные перемещения при рассмотренных нагрузках не превышают 1 мм. Следует отметить, что вариант фиксации с кейджем типа MESH диаметром 13 мм демонстрирует наименьшие перемещения в зафиксированном участке позвоночника, что говорит о более высокой жесткости данного варианта по сравнению с двумя другими.

Таблица 24 – Наибольшие эквивалентные напряжения в винтах, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
9	19	24	51	37	41	52
11	19	24	52	34	41	45
13	18	21	49	26	35	37

Таблица 25 – Наибольшие эквивалентные напряжения в кортикальной кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
9	28	39	20	28	43	46
11	18	32	20	20	45	45
13	15	26	26	16	41	40

Таблица 26 – Наибольшие эквивалентные напряжения в губчатой кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
9	1,1	2,2	3,5	2,1	2,8	4,9
11	1,1	1,7	3,4	1,8	2,5	3,1
13	0,9	1,7	3,1	1,5	1,9	2,9

Если анализировать эквивалентные напряжения, возникающие при рассмотренных нагрузках в костной ткани и имплантатах, то можно отметить следующее. Все три варианта показывают допустимый уровень эквивалентных напряжений, однако при установке кейджа типа MESH диаметром 13 мм эквивалентные напряжения оказались наименьшими по сравнению с двумя другими вариантами при всех рассмотренных вариантах нагружения.

Подводя итог, можно заключить, что вариант с установкой кейджа типа MESH диаметром 13 мм по сравнению с двумя другими вариантами меньшего диаметра является наиболее рациональным с точки зрения биомеханики.

3.2.6. Биомеханическое моделирование комбинированного спондилосинтеза: передний спондилодез, дополненный дорсальной фиксацией при переломе С7 позвонка типа А

Дополнительно к переднему спондилодезу установка дорсальной конструкции в боковые массы позвонка С6 и транспедикулярно в Th1 (Рисунок 52) позволяет существенно снизить как напряжения в нижнем позвонке и пластине, так и перемещения всего позвоночно-двигательного сегмента (Таблица 27). Таким образом, циркулярная фиксация (360 град.) в случаях наклона оси сегмента в 30 и 40 градусов позволяет повысить стабильность фиксации и снизить нагрузку на пластину.

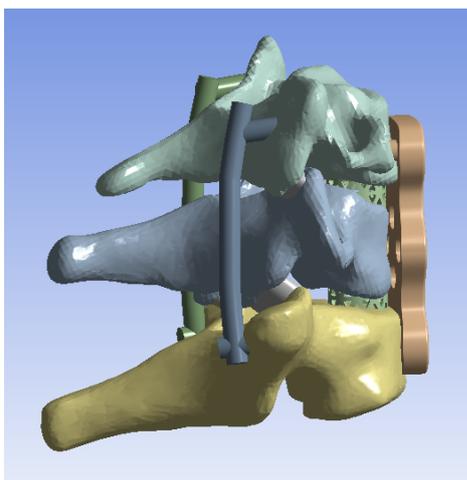


Рисунок 52 – Модель, дополненная задней фиксацией

Таблица 27 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 1

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Наклон -30 град. Без транспед.	0,29	63	3,6
Наклон -40 град. Без транспед.	0,45	94	4,6
Наклон -30 град. Транспед.	0,12	27	3,1
Наклон -40 град. Транспед.	0,08	20	3,2

3.2.7. Биомеханическое моделирование комбинированного переднего спондилодеза и транспедикулярной фиксации при повреждении C7-Th1 типа С после спондилосинтеза

Моделирование наклона шейных позвонков при переломе позвонка C7 типа С (передний спондилодез и дорсальная фиксация)

Дополнительно к переднему спондилодезу установка дорсальной конструкции в C7-Th1 позвонки (Рисунок 53) позволяет существенно снизить как напряжения в нижнем позвонке и пластине, так и перемещения в позвоночно-двигательном сегменте (Таблица 28). Таким образом, циркулярный спондилодез (360 град.) в случаях наклона оси сегмента в 30 и 40 градусов позволяет повысить стабильность фиксации и снизить нагрузку на пластину.

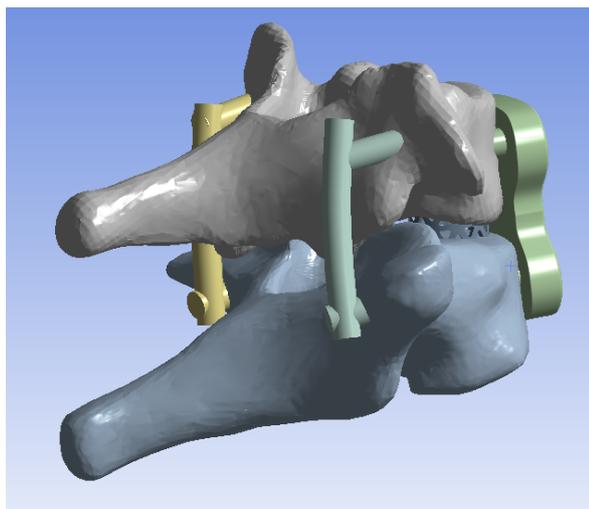


Рисунок 53 – Модель C7-Th1, дополненная дорсальной фиксацией

Таким образом, на основе биомеханического математического моделирования мы сформулировали несколько выводов, учитывающихся в дальнейшем при предоперационном планировании.

1. При компьютерном моделировании интактного позвоночника на уровне переходного шейногрудного отдела максимальные эквивалентные напряжения отмечены на позвонки Th1 и Th2, в то же время напряжения в шейных и других грудных позвонках оказались существенно ниже.

2. Разнонаправленное введение винтов пластины при переднем спондилодезе увеличивает стабильность фиксации по сравнению со стандартной фиксацией.
3. Применение кейджа типа MESH максимального диаметра (13 мм) демонстрирует наименьшие перемещения в стабилизированном участке позвоночника, что говорит о более высокой жесткости данного варианта, при этом эквивалентные напряжения оказались наименьшими при всех рассмотренных вариантах нагружения.
4. При анализе напряженно-деформированного состояния моделей разных типов переломов с различной степенью наклона мы выявили, что всех типах повреждений угол наклона более 20 град. является критичным углом, когда происходит скачкообразное (порядка 10%) увеличение напряжений в винтах и позвонках, а также перемещений верхнего позвонка относительно зафиксированного.
5. Дополнительная установка дорсальной конструкции вместе с передним спондилодезом (циркулярный спондилодез 360 град.) позволяет существенно снизить напряжения в нижнем позвонке и пластине, и перемещения всего позвоночно-двигательного сегмента. Это позволяет повысить стабильность фиксации и снизить нагрузку на переднюю пластину при различных типах переломов шейногрудного перехода. Применение методики оправдано при угле наклона плоскости замыкательных пластинок более 20 град.

Таблица 28 – Параметры напряженно-деформированного состояния для модели 1

	Наибольшие полные перемещения, мм	Наибольшие эквивалентные напряжения в пластине и винтах, МПа	Наибольшие эквивалентные напряжения в позвонке Th1, МПа
Наклон -30 град. Без транспед.	0,18	32	4,3
Наклон -40 град. Без транспед.	0,26	48	5,3
Наклон -30 град. Транспед.	0,07	26	3,5
Наклон -40 град. Транспед.	0,05	23	2,9

3.3. Исследование грудинно-шейного угла для определения оптимального доступа к шейногрудному переходу

Стандартный нижнешейный доступ по Cloward в большинстве случаев достаточен для достижения вентральной поверхности тел С7 и Th1 позвонков [95, 218, 320, 406], но в ряде случаев анатомические особенности (форма грудной апертуры, высота расположения рукоятки грудины и выраженность шейногрудного кифоза) делают невозможным передний доступ без манубриотомии или стернотомии [243, 359, 379]. Предоперационный анализ рентгенограмм и КТ позволяет оценить индивидуальные особенности и в каждом случае планировать оптимальный вариант доступа к переходному шейногрудному отделу позвоночника. Известно, что стандартные параметры оценки саггитального баланса, такие как: угол наклона Th1 позвонка (угол между линией, проведенной через верхнюю замыкательную пластину Th1, и горизонтальной осью), степень смещения центра тяжести С2–С7 (sagittal vertical axis, SVA C2–C7 – расстояние от верхнего заднего края С7 до вертикальной линии, проходящей через центр С2) – сильно зависят от положения и осанки [269]. Таким образом, применение их для определения возможностей переднего доступа ограничено. Предложенные выше параметры (линия межпозвонкового диска, шейногрудной угол и угол обзора хирурга) предназначены для оценки доступа к межпозвонковым дискам при дегенеративных заболеваниях, и не являются достаточно удобными и точными при травмах позвоночника, когда требуется более широкое скелетирование тел позвонков для инструментирования. Угол входа в грудную клетку (ТІА) наиболее подходящий параметр для оценки необходимости манубриотомии при доступе к ШГП, однако также имеет ряд недостатков. Применение такого способа предоперационного планирования как ТІА в клинической практике имеет некоторые ограничения вследствие привязки к анатомическим ориентирам, которые могут быть утеряны вследствие особенностей травмы (взрывные переломы позвонков) или их смещению при повреждениях типа С. ТІА тяжело оценить при боковой рентгенографии из-за плохой визуализации верхних грудных

позвонков. При оценке проекционного угла возникают сложности в понимании положительных и отрицательных углов.

Для устранения этих недостатков, упрощения и стандартизации мы предложили новый удобный рентгенологический показатель, позволяющий оценить возможность стандартного нижнешейного доступа Cloward без манубриотомии и стернотомии для доступа к C7-Th2 позвонкам. Грудинношейный угол (SCA – sternocervical angle) – угол, образуемый линией перпендикулярной нижней замыкательной пластинки C7 позвонка и линией, проходящей от середины нижней замыкательной пластины C7 позвонка к рукоятке грудины. Для определения грудинношейного угла (SCA) используется стандартный параметр оценки сагитального баланса – угол C2-7 Cobb. Оценка SCA можно проводить по данным рентгенографии, МРТ и КТ. Всегда положительный угол устраняет возможные ошибки в оценке параметра. SCA позволяет оценить возможность доступа при нестабильной травме ШГП, в том числе – дислокационного типа.

Для этого исследования не требовалось согласия пациентов. Снимки компьютерной томографии для оценки нового показателя – грудинношейного угла (SCA) – были получены из базы данных НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. Были включены сканы пациентов в возрасте более 18 лет, чтобы исключить потенциальное влияние недоразвития скелета. Критериями невключения были: заболевания, препятствующие проведению измерений в сагиттальной плоскости (опухоль, травма, деформация позвоночника, такая как спондилолистез или сколиоз, предшествовавшая операция), аномальное количество тел позвонков.

Всего в анализ вошло 84 исследования КТ. Регистрировались данные о пациенте, включая диагноз, возраст и пол. Проводили измерение проекционного угла [143] для C7, Th1 и Th2 позвонков и грудинношейного угла (SCA) (Рисунок 54). При анализе мы провели оценку нового рентгенологического показателя в зависимости от пола и возраста, а также выявили пороговые значения грудинношейного угла (SCA) для определения возможности выполнения

переднего шейного доступа без манубриотомии. Все радиологические измерения были выполнены одним врачом с использованием программы Intelli-Space Portal (Philips).

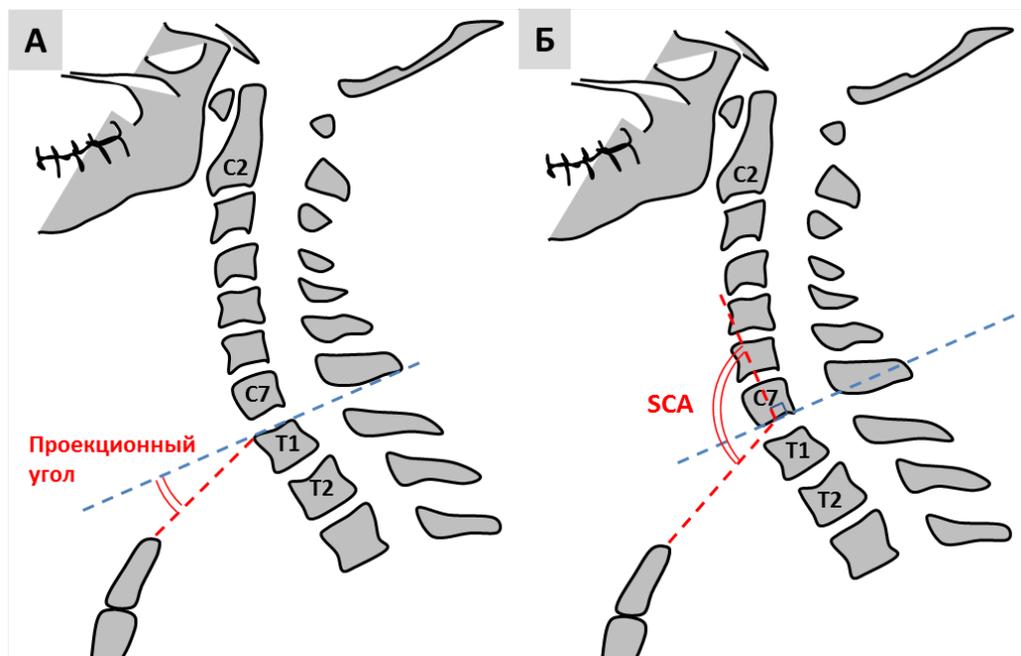


Рисунок 54 – А – проекционный угол – угол, образуемый линией, проходящей вдоль верхней замыкательной пластинки тела позвонка (C7-Th2), и линией, проходящей от передневерхнего угла тела позвонка к рукоятке грудины. Б – грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle) – угол, образуемый линией перпендикулярной нижней замыкательной пластинки C7 позвонка и линией, проходящей от середины нижней замыкательной пластины C7 позвонка к рукоятке грудины

Для оценки возможности доступа к C7, Th1 или Th2 позвонкам мы выбрали проекционный угол как наиболее удобный и информативный из изученных ранее показателей. Считали положительный проекционный угол и отрицательный до -20 град. достаточным для стандартного переднего доступа без манубриотомии. При отрицательном проекционном угле более -20 град. доступ считали затруднительным, требующим дополнительной манубриотомии. Примеры расчета угла проекционного угла к C7, Th1 и Th2 позвонкам представлены на Рисунке 55.

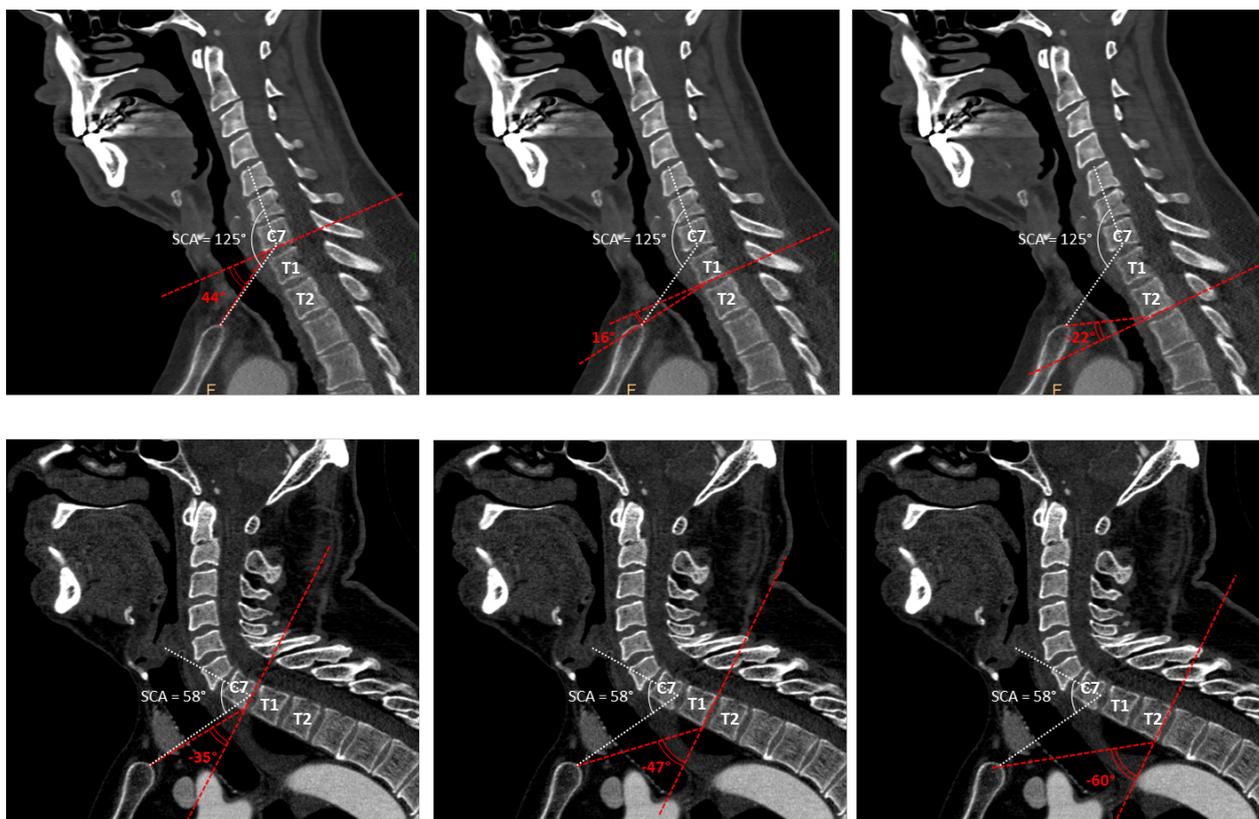


Рисунок 55 – Примеры расчета угла проекционного угла к C7, Th1 и Th2 позвонкам

При обработке данных применяли методы непараметрической статистики в связи с ненормальным распределением большинства параметров и малой выборкой. Медиана возраста составила 61 год (квартили: 54–67, мин. – 26, макс. – 80 лет). Преобладали мужчины (79%). В большинстве случаев (83%) пациентам проводилось КТ-исследование по поводу патологии сосудов шеи и головы (атеросклероз, извитость, диссекция или тромбоз артерий, артерио-венозная мальформация, аневризма интракраниальных сосудов) (Таблица 29).

Проекционный угол позволял осуществить доступ без манубриотомии (больше -20 град.) в 93%, 67% и 13% для C7, Th1 и Th2 позвонков соответственно (Рисунок 56). Выявлена умеренная отрицательная корреляция проекционных углов для всех исследуемых позвонков с возрастом (коэффициент Спирмена = $-0,4$, $p < 0,001$). Не выявлена корреляция с полом.

Таблица 29 – Данные по возрасту, полу, диагнозу, а также проекционный и грудинно-шейный углы вошедших в исследование снимков КТ

Параметр	n=84
Возраст, года, Ме (квартили)	61 (54;67)
Мужчины, n (%)	66 (79%)
Диагноз, n (%)	
Патология сосудов головы и шеи	70 (83%)
Синдром грудного выхода	2 (2%)
Онкология	7 (8%)
Перелом зубовидного отростка	2 (2%)
Повреждение плечевого сплетения	1 (1%)
Норма	2 (2%)
Проекционный угол C7, град., Ме (квартили)	4 (0;16)
Проекционный угол Th1, град., Ме (квартили)	- 16 (-7;-24)
Проекционный угол Th2, град., Ме (квартили)	- 33 (-26;-41)
Грудинно-шейный угол, град., Ме (квартили)	93 (86;104)

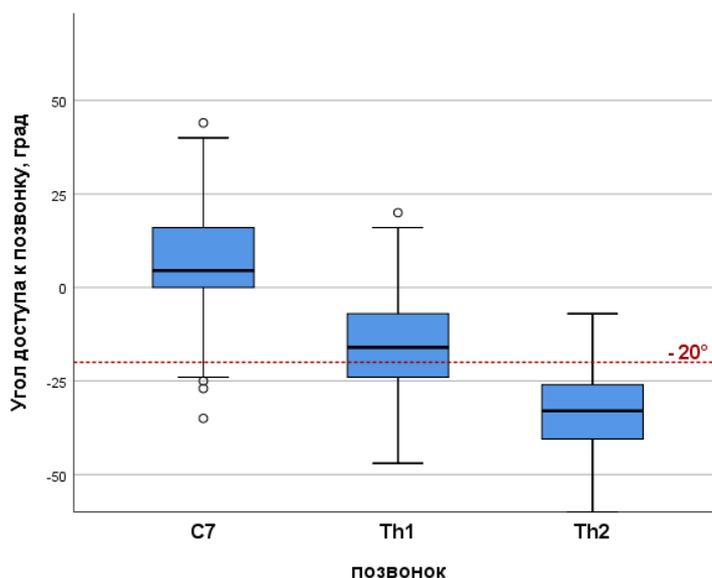


Рисунок 56 – Медиана и межквартильный интервал данных проекционного угла для C7, Th1 и Th2 позвонков

Медиана грудинно-шейного угла составила 93 град. (квартили: 86;104, мин. 58 град., макс. 127 град.). Как и для проекционных углов, выявлена умеренная отрицательная корреляция с возрастом (коэффициент Спирмена = - 0,4, $p < 0,001$), и не было зависимости от пола (Рисунок 57).

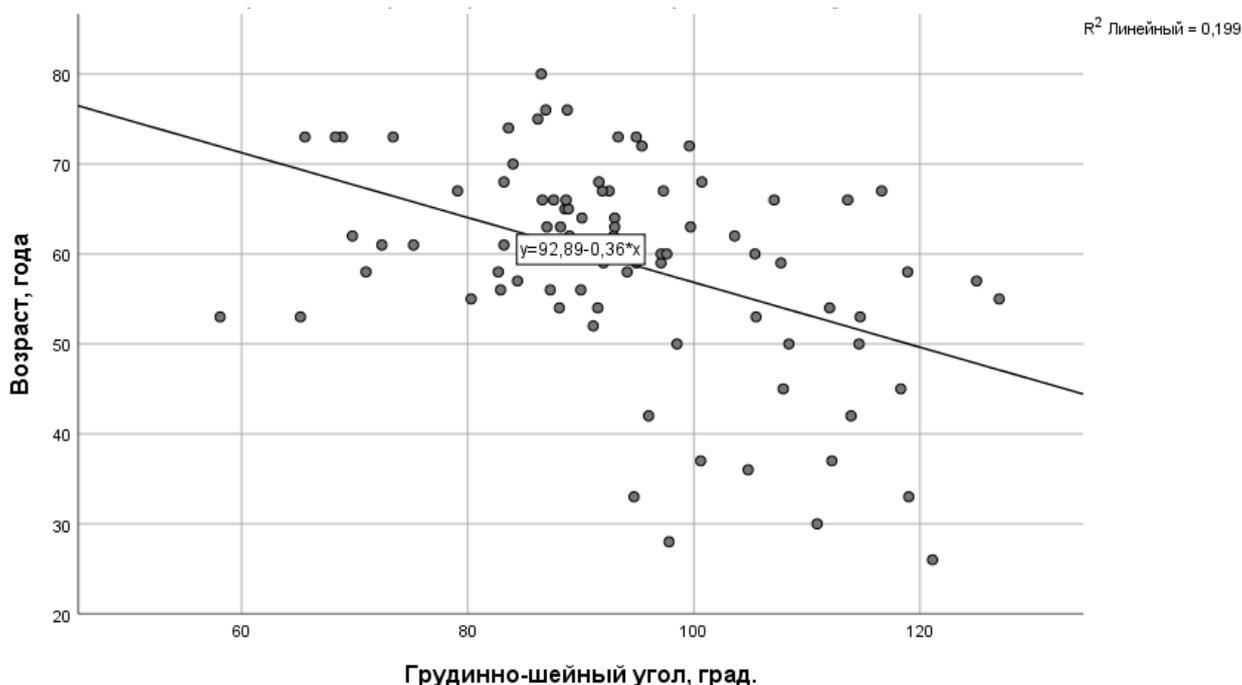


Рисунок 57 – Диаграмма рассеивания для возраста и грудинношейного угла. Выявлена умеренная отрицательная корреляция с возрастом (коэффициент Спирмена = - 0,4, $p < 0,001$)

Выявлена сильная корреляция грудинношейного угла с проекционным углом для C7, Th1 и Th2 позвонков (коэффициент Спирмена = 0,96; 0,91 и 0,77, соответственно, $p < 0,001$). Проведен ROC-анализ с расчетом индекса Юдена для поиска пограничного значения грудинношейного угла, при котором можно выполнить доступ к позвонку без манубриотомии (проекционный угол к соответствующему позвонку больше -20 град.). Выявлено, что доступ к C7 позвонку без манубриотомии можно осуществить при грудинношейном угле более 70 град. в 100% случаев, к Th1 позвонку при угле более 90 град. – в 94% случаев, и к Th2 позвонку при угле более 110 град. – в 43% случаев (Рисунок 58).

Следует отметить, что при возрасте более 70 лет доступ к Th2 позвонку без манубриотомии ограничен.

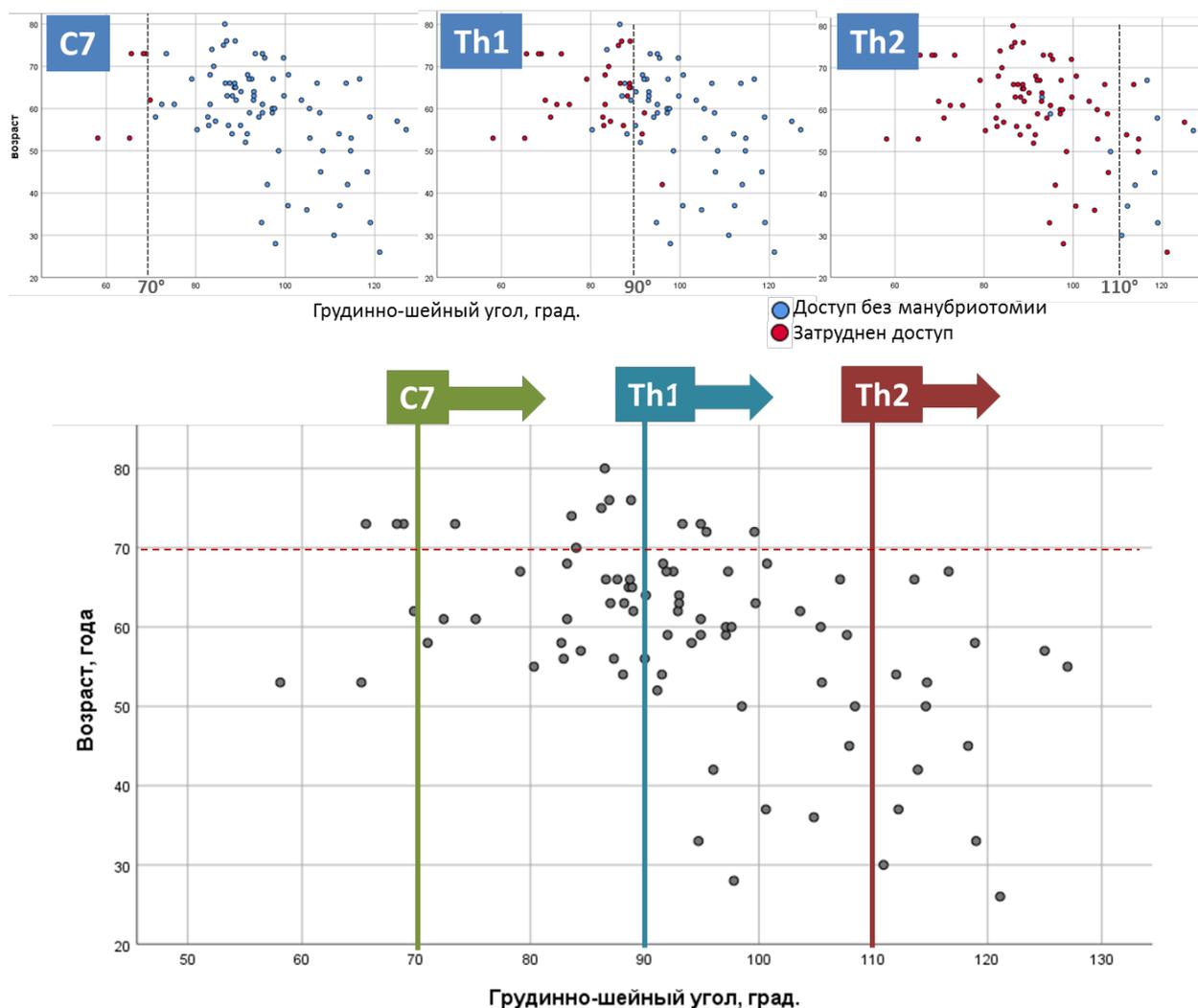


Рисунок 58 – Пограничные значения грудинношейного угла, при котором можно выполнить доступ к позвонкам C7, Th1 и Th2 без манубриотомии

Для иллюстрации применения нового показателя мы представим клинический случай. Пациент С. 1978 г.р. перенес закрытую травму шейного отдела позвоночника в результате дорожно-транспортного происшествия. Поступил для хирургического лечения с жалобами на боль и ограничение движения в шейном отделе позвоночника, с иррадиацией боли в обе руки. По данным КТ до операции отмечается смещение тела C7 позвонка кпереди на 0,7 см, перелом ниже-дорзального угла тела C7 позвонка со смещением фрагментов, перелом передне-верхнего угла тела Th1 позвонка со смещением фрагментов, перелом остистых отростков C6, C7 позвонков со смещением фрагментов. При расчете углов доступа выявлено, что проекционный угол к Th1 позвонку равен -9 град., грудинно-ключичный угол (SCA) – 92 град. (Рисунок 59А). Поэтому было

принято решение выполнить передний корпородез через нижнешейный доступ без манубриотомии. Через 10 дней после травмы выполнена операция: коррекция и фиксация шейногрудного отдела позвоночника пластиной, субтотальная резекция тела Th1 позвонка, межтеловой спондилодез MESH. Хороший клинический (купированы боли в шейном отделе позвоночника) и рентгенологический результат после операции, в том числе при контрольном осмотре и КТ через 6 мес. (Рисунок 59Б).

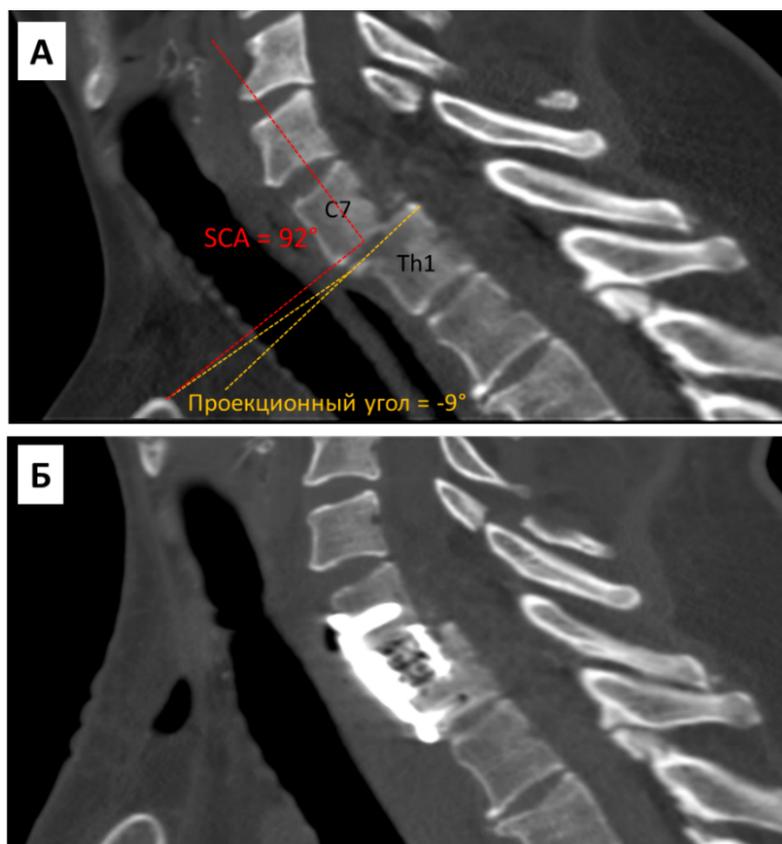


Рисунок 59 – Данные предоперационного и послеоперационного КТ пациента с травмой шейногрудного перехода. А – предоперационное КТ. Смещение тела С7 позвонка кпереди на 0,7 см, перелом ниже-дорзального угла тела С7 позвонка со смещением фрагментов, перелом передне-верхнего угла тела Th1 позвонка со смещением фрагментов, перелом остистых отростков С6, С7 позвонков со смещением фрагментов. Проекционный угол к Th1 позвонку – -9 град. Грудинно-ключичный угол (SCA) – 92 град.

Б – контрольное КТ через 6 мес. Состояние после коррекции и фиксации шейногрудного отдела позвоночника пластиной, субтотальная резекция тела Th1 позвонка, межтеловой спондилодез сетчатым эндофиксатором

Таким образом, мы описали простой метод определения возможности при стандартном переднем шейном доступе без манубриотомии и стернотомии выделить и инструментировать шейногрудной переход. Интересно, что из нашего анализа случайных КТ взрослых пациентов этот метод предсказывает, что доступ без манубриотомии может быть выполнен в 93%, 67% и 13% для C7, Th1 и Th2 позвонков, соответственно. Несмотря на то, что мы изучали только данные КТ, предложенный показатель грудинно-шейный угол может использоваться и при анализе стандартной рентгенографии и магнитно-резонансной томографии. В нашем исследовании выявлена зависимость грудинношейного угла от возраста, что согласуется с данными J.F. Baker et al. [143]. Причем показано, что у пожилых пациентов доступ может быть затруднен, и практически невозможен при необходимости инструментировать Th2 позвонок у пациентов старше 70 лет. Данное исследование повлияло на нашу повседневную клиническую работу. Теперь мы всякий раз просматриваем и оцениваем грудинно-шейный угол на предоперационных саггитальных снимках КТ, если планируется передний доступ к шейногрудному переходу. Эта информация имеет решающее значение для предоперационного планирования и обсуждения с пациентом оптимальной тактики лечения перед операцией.

Тем не менее, настоящее исследование имеет ограничения. Мы не оценивали рост, массу, ИМТ и специфические анатомические вариации. Медиана возраста в нашем исследовании значения рентгенологических показателей в прогнозировании возможности доступа к ШГП составила 61 год, тогда как требующая хирургического лечения травма ШГП, по данным литературы, чаще наблюдается у более молодых пациентов 40–50 лет [27, 114].

3.4. Факторы риска несостоятельности фиксации

Для оценки результатов лечения и выявления предикторов несостоятельности фиксации ШГП мы провели ретроспективный анализ основных предоперационных, интраоперационных параметров, непосредственных и отдаленных (до 1 года) результатов лечения пациентов, прооперированных с 2010 по 2021 г. (34 пациента). 1 группа (n=28) – пациенты со стабильной фиксацией в течение 1 года после операции. 2 группа (n=6) – пациенты, у которых выявлена нестабильность фиксации.

В исследование вошли пациенты с одноуровневой травмой позвоночника в области шейногрудного перехода (C7-Th1). Критерии невключения были следующие: возраст менее 18 лет; неврологический дефицит; некорригированная тяжелая сопутствующая патология; многоуровневое поражение; остеопороз (минеральная плотность костной ткани до данным денситометрии ниже среднего уровня пика костной массы более чем на $-2,5$ SD); выраженный дегенеративный лордоз, кифоз или сколиоз; патологический перелом на фоне опухоли, анкилозирующего спондилита или воспалительного артрита; активный инфекционный процесс; застарелый перелом (срок травмы более 40 дней); оперированный в анамнезе позвоночник. Оценивали непосредственные и отдаленные (до 12 мес.) результаты хирургического лечения.

В Таблице 30 представлены основные клинические данные и данные инструментальных методов исследования перед операцией. Из-за малого размера выборки и того, что большинство параметров не соответствовало нормальному распределению (критерий Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова), при описании количественных признаков применяли медиану и квартили, а при дальнейшем анализе применяли методы непараметрической статистики. В большинстве случаев причиной травмы было падение с высоты (35%, 12/34) и дорожно-транспортное происшествие (47%, 16/34), травма ныряльщика (15%, 5/34), другая причина (3%, 1/34).

Таблица 30 – Основные клинические и инструментальные данные перед операцией

Параметр	Стабильная фиксация (n=28)	Нестабильная фиксация (n=6)	p*
Возраст, года	31 (22–42)	54 (42–59)	0,013
Рост, см	174 (170–177)	171 (168–181)	0,708
Масса тела, кг	72(65–81)	77 (70–86)	0,297
ИМТ, кг/м ²	23 (21–26)	25 (25–27)	0,121
Мужчины, n(%)	23 (82%)	5 (83%)	0,719
Срок после травмы, дни	12 (7–16)	16 (8–23)	0,22
Уровень поражения, n(%)			
C7	26 (93%)	6 (100%)	0,423
Th1	2 (7%)	0	
Подвывих C7, n(%)	7 (25%)	1 (17%)	0,328
AOSpine, n(%)			
A2	4 (14%)	0	0,262
A3	7 (25%)	0	
A4	12 (43%)	5(83%)	
C	5 (18%)	1 (17%)	
Повреждение суставного отростка, n(%)			
F0	16 (57%)	0	0,102
F1	1 (4%)	0	
F2	2 (7%)	1 (17%)	
F3	3 (11%)	1 (17%)	
F4	6 (21%)	4 (67%)	
Билатеральное повреждение суставного отростка, n (%)	5 (18%)	5 (83%)	0,005
Дислокация до операции, мм.	0 (0–1)	7 (4–14)	0,001
Дислокация до операции, n (%)	5 (18%)	6 (100%)	<0,001
Сегментарный кифоз до операции, град.	5 (2–10)	15 (5–27)	0,017
ДППК, n (%)	16 (57%)	6 (100%)	0,069
ПВПК, %	37 (26–43)	30 (21–35)	0,145
ПВПК более 30%, n (%)	20 (71%)	4 (67%)	0,584
Угол наклона Th1 позвонка, град.	17 (15–27)	28 (20–36)	0,034
Проекционный угол, град.	10 (-7;21)	-5 (-23;13)	0,145
Проекционный угол < -20°, n (%)	2 (7%)	3 (50%)	0,029
Грудинно-шейный угол, град.	94 (87–104)	78 (63–91)	0,033
Грудинно-шейный угол < 70°, n (%)	1 (4%)	3 (50%)	0,012
ВАШ исходно, баллы	6 (5–6)	6 (5–7)	0,439
NDI исходно, %	30 (22–34)	31 (20–36)	0,481
<i>Примечание: для количественных признаков определены: медиана и квартили;</i>			
<i>* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U-критерий Манна-Уитни для независимых выборок</i>			

Распределение по полу было 4,6:1 (28 мужчин и 6 женщин). Медиана возраста составила 31 год (квартили: 24–47). Медиана ИМТ – 24 (квартили: 22–26). Медиана срока травмы была 12 дней (квартили: 8–16). Пациенты с развившейся нестабильностью фиксации были значимо старше, среди них преобладали больные с повреждениями типа А4 и билатеральными повреждениями суставных отростков. Также между группами больных выявлены статистически значимые отличия по сагиттальным угловым параметрам. По прочим показателям группы больных были сопоставимы.

Применяли шкалу ВАШ для оценки болевого синдрома в области шеи накануне операции, а также через 7 дней, 2, 6 и 12 месяцев после операции. Для оценки функциональных результатов хирургического лечения использовался модифицированный опросник Oswestry – Neck Disability Index (NDI) до и через 12 месяцев после операции [464, 484].

Все изученные пациенты были без неврологического дефицита. По шкале ВАШ и NDI удалось оценить отдаленные результаты у 28 из 34 пациентов (82%). Выраженность болевого синдрома по ВАШ исходно составила 6 (5–6; медиана и квартили). Степень исходных функциональных нарушений по шкале NDI – 30 (21–34; медиана и квартили). Обращает на себя внимание отсутствие статистически значимых различий по интенсивности болевого синдрома и функциональных возможностей пациентов между группами пациентов до операции.

Инструментальное предоперационное обследование включало рентгенографию (100%), КТ (31/34, 91%) и МРТ (10/34, 29%). Оценивали уровень и тип травмы со степенью повреждения суставного отростка по классификации AOSpine [136], сегментарный кифоз, степень дислокации позвонка, потерю высоты передней колонны (ПВПК – соотношение высоты поврежденного позвонка к усредненной высоте передней колонны позвонка выше и ниже компримированного [468]), дефицит просвета позвоночного канала (ДППК).

Кроме того, ретроспективно оценивали *угол наклона Th1 позвонка* (T1 slope) – угол, образуемый линией, проходящей вдоль верхней замыкательной пластинки тела Th1 позвонка, и горизонтальной линией; *проекционный угол* доступа к

поврежденному позвонку (угол, образуемый линией, проходящей вдоль верхней замыкательной пластинки тела позвонка (C7-Th2), и линией, проходящей от передневерхнего угла тела позвонка к рукоятке грудины), и *грудинно-шейный угол* (угол, образуемый линией перпендикулярной нижней замыкательной пластинки C7 позвонка и линией, проходящей от середины нижней замыкательной пластины C7 позвонка к рукоятке грудины).

В большинстве случаев наблюдалась изолированное повреждение C7 позвонка (3%, 32/34), в 2-х – Th1 позвонка (6%). По классификации AOSpine превалировал тип A4 повреждения (50%, 17/34). Подвывих C7 наблюдался в 8 случаях (23%, 8/34). Повреждение суставного отростка различной степени наблюдалось в 53% (18/34) случаев. Чаще встречался подтип F4 – разрыв капсулы сустава с нестабильностью или подвывихом (56%, 10/18). Билатеральное повреждение суставных отростков наблюдалось в 10 из 18 случаев. Дислокация позвонка наблюдалась в 11 случаях (32%). Медиана степени смещения составила 7 мм (6–13 мм; квартили). Медиана сегментарного кифоза до операции составила 5 град. (4–12 град.; квартили). Медиана потери высоты передней колонны – 35% (25–42%; квартили). Дефицит просвета позвоночного канала наблюдался у 65% (22/34) пациентов.

Для определения возможности выполнения переднего доступа без манубриотомии оценивали проекционный угол (10 град., -9; 20 град.; Me, квартили) и грудинно-шейный угол (93 град., 84; 101 град.; Me, квартили). Параметры, предполагающие затрудненный доступ – проекционный угол меньше -20 град. и грудинно-шейный угол меньше 70 град. (что соответствует литературным данным [58, 143]), выявлены у 5 (15%) и 4 (12%) пациентов, соответственно. Однако манубриотомию выполняли только в 1 случае при доступе к Th1 позвонку (проекционный угол -25 град., грудинно-шейный угол 80 град.).

При большинстве случаев выполняли только передний хирургический доступ. В 4 случаях (12%) при дислокации, превышающей 3 мм, выполнен циркулярный спондилосинтез (360 град.) (Таблица 31).

Таблица 31 – Проведенные операции на шейногрудном переходе, основные интраоперационные параметры и послеоперационные осложнения

Параметр	Стабильная фиксация (n = 28)	Нестабильная фиксация (n = 6)	p*
Тип операции, n(%)			
Передняя шейная корпорэктомия и фиксация пластиной	21 (75%)	4 (67%)	0,207
Передняя шейная дискэктомия и фиксация пластиной	3 (11%)	1 (17%)	
Комбинированное симультанное вмешательство (вентральный спондилодез + задняя винтовая фиксация в боковые массы позвонков)	4 (14%)	0	
Фиксация разнонаправленными винтами, n (%)	14 (50%)	0	0,031
Манубриотомия, n (%)	1 (4%)	0	0,824
Время операции, мин.	100 (61–120)	65 (58–102)	0,22
Кровопотеря, мл	120 (100–150)	120 (90–250)	0,912
Госпитализация, дни	7 (6–9)	7 (6–8)	0,81
Осложнения (всего), n (%)	9 (32%)	2 (33%)	0,65
Дисфагия/дисфония	5 (18%)	1 (17%)	0,719
Ревизия по поводу гематомы	1 (4%)	0	0,824
Преходящий синдром Горнера	1 (4%)	1 (17%)	0,326
Медиастинальная гематома	1 (4%)	0	0,824
Синдром Арлекина	1 (4%)	0	0,824
<i>Примечание: для количественных признаков определены: медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок</i>			

Передний доступ выполняли в положении на спине по методу Cloward/Smith-Robinson через левосторонний разрез по внутреннему краю грудинно-ключично-сосцевидной мышцы (Рисунок 60). Разрез слева был предпочтительнее в связи с большим риском повреждения возвратного гортанного нерва при правостороннем доступе [359]. Справа возвратный гортанный нерв может отходить от блуждающего нерва на разной высоте. Он проходит под подключичной артерией, а затем наискосок через переднюю сторону тел позвонков к борозде между трахеей и пищеводом. В норме нерв идет под нижней щитовидной артерией, но в отдельных случаях может располагаться и перед артерией, где его можно повредить при правостороннем доступе.

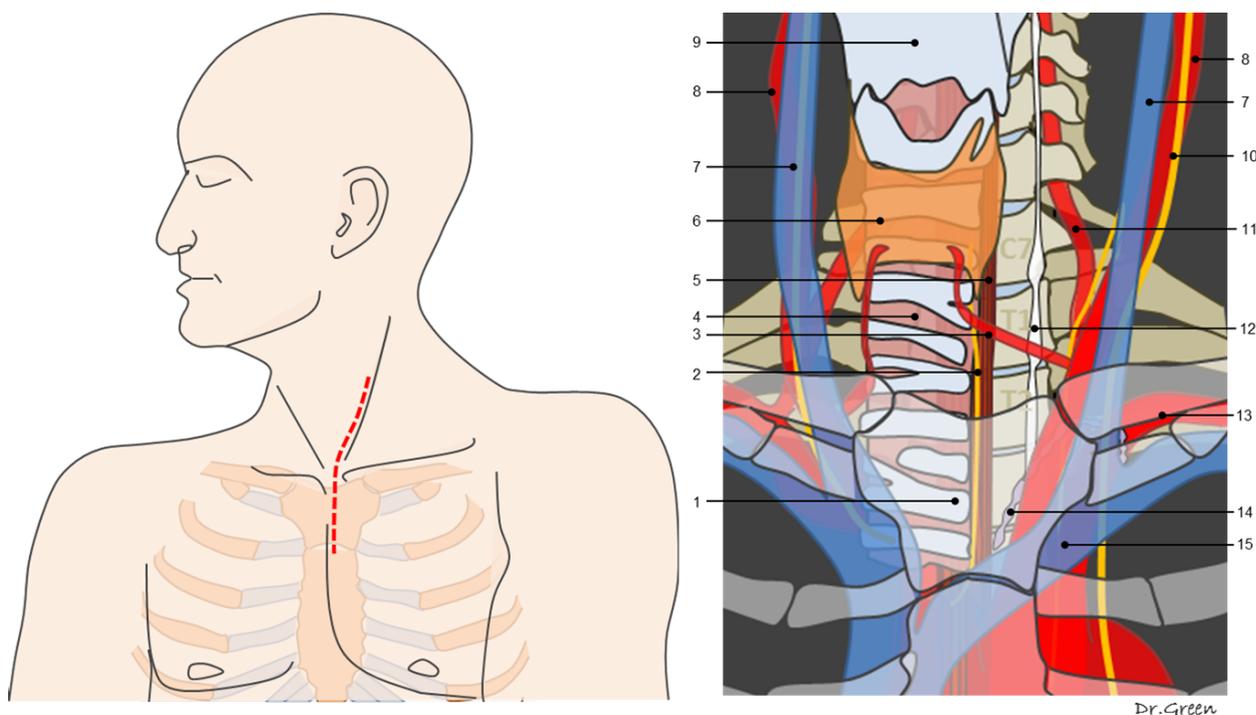


Рисунок 60 – Схема анатомии шейногрудного перехода, вид спереди. Фасции и мышцы шеи не показаны. С7 – шейный, Т1-Т2 – грудные позвонки.

- 1 – рукоятка грудины, 2 – возвратный гортанный нерв,
 3 – нижняя щитовидная артерия, 4 – трахея, 5 – пищевод, 6 – щитовидная железа,
 7 – внутренняя яремная вена, 8 – общая сонная артерия, 9 – гортань,
 10 – блуждающий нерв, 11 – позвоночная артерия, 12 – симпатический ствол,
 13 – подключичная артерия, 14 – грудной проток, 15 – безымянная вена

При доступе к ШГП важно учитывать особенности топографической анатомии этой зоны. В исследовании, проведенном R. Xu et al. [121], левая брахиоцефальная вена находится на уровне от Th1 до Th2 в 80%; дуга аорты располагается от Th2 до Th3 в 90% случаев. Правый возвратный гортанный нерв достигает трахеопищеводной борозды в нижней трети С6 более чем у 50%. Грудной проток опорожняется на стыке левой подключичной вены и левой внутренней яремной вены на уровне между С7 и Th2. Нижняя щитовидная артерия, ветвь щитошейного ствола или подключичной артерии проходят поперек передней поверхности тел позвонков и впадают в нижний полюс щитовидной железы. При необходимости сосуд перевязывается. На передней поверхности длинной мышцы шеи, примерно на том же уровне расположен симпатический ствол со звездчатым ганглием, латеральнее проходит позвоночная артерия. Ниже из грудной клетки выходит грудной лимфатический проток, впадающий в венозный угол (впадение

левой внутренней яремной вены в безымянную вену). Левый возвратный гортанный нерв отходит от блуждающего нерва, огибает дугу аорты и проходит на уровне ШГП между трахеей и пищеводом. На уровне Th1 позвонка располагается купол плевры между длинной мышцей шеи и подключичной артерией. Важно сохранять вышеперечисленные нервные структуры и грудной проток для минимизации частоты послеоперационных осложнений (дисфония, дисфагия, синдром Горнера, синдром Арлекина, лимфоррея). Доступ осуществляется между брахиоцефальным стволом и левой общей сонной артерией. Мы не нашли исследований, посвященных анатомическим вариациям расположения дуги аорты и отхождения брахиоцефальных ветвей от дуги аорты. Однако, на нашем опыте, мы столкнулись с тем, что у одного пациента с травмой Th1 позвонка доступ пришлось выполнять между левой общей сонной и левой подключичной артерией. Это, видимо, было связано с развернутой дугой аорты и «бычьим» типом дуги аорты (отхождение левой общей сонной артерии от брахиоцефального ствола). На Рисунке 61 представлены возможные варианты доступа в зависимости от анатомических особенностей отхождения ветвей дуги аорты.

После смещения сосудисто-нервного пучка латерально и пищевода медиально рассекали предпозвоночную фасцию и переднюю продольную связку по средней линии и распатором раздвигали в боковом направлении до основания поперечных отростков. При поднадкостичном выделении тел позвонков кровотечение останавливали с помощью воска. Проводили рентгенологическую верификацию уровня с установленной в межпозвонковом диске иглой. После чего выделяли тела позвонков выше и ниже поврежденного.

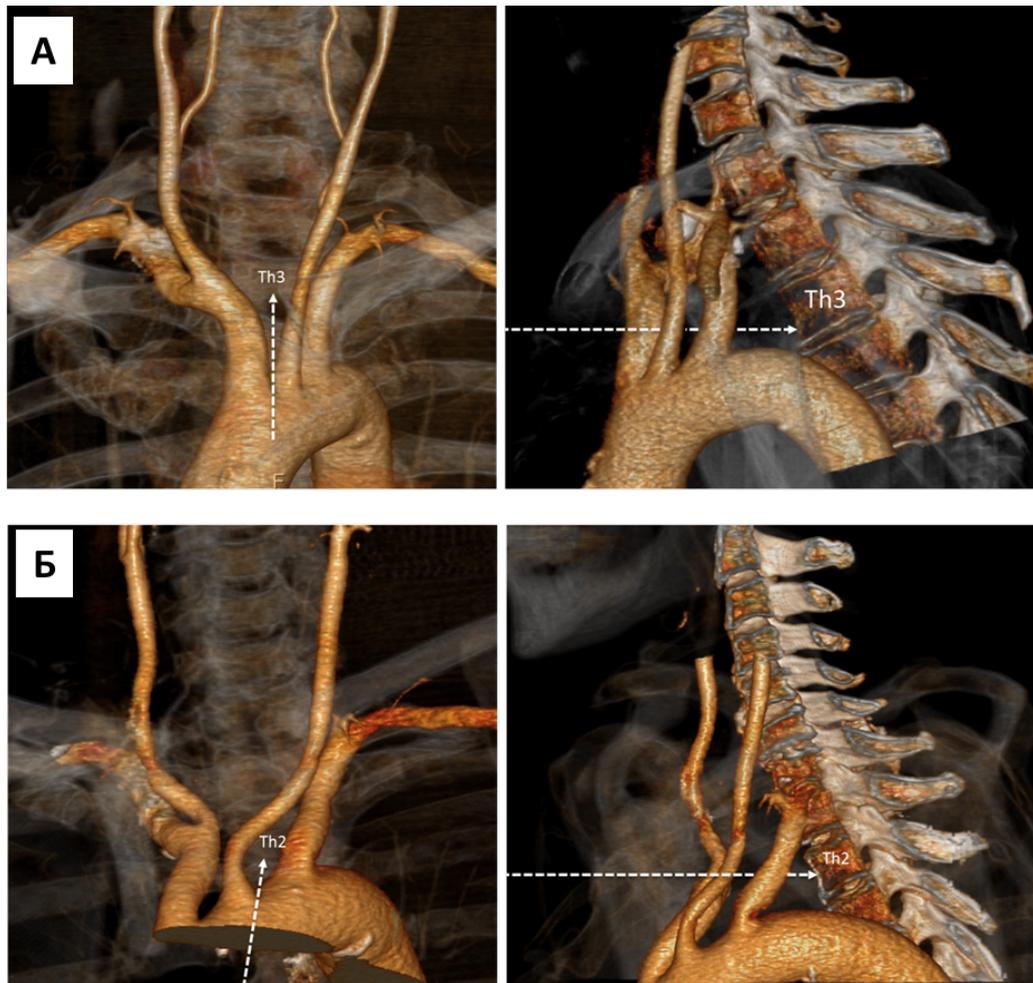


Рисунок 61 – Варианты доступа при анатомических особенностях отхождения ветвей дуги аорты. А – между брахиоцефальным стволом и левой общей сонной артерией. Б – между левой общей сонной артерией и левой подключичной артерией при развернутой дуге аорты или «бычьим» типе дуги аорты (описание в тексте)

Комбинированное simultанное вмешательство включало вентральный спондилодез и заднюю винтовую фиксацию. При повреждении типа С выполняли переднюю шейную дискэктомию с межтеловым корпородезом кейджем и фиксацией пластиной (12%; 4/34). В остальных случаях выполняли переднюю шейную корпорэктомию, корпородез (MESH, аутокость) и фиксацию пластиной. Производилась дискэктомию и корпэктомию при необходимости. После осевой тракции при дислокации выполняли передний корпородез с применением кейджа (4/34), MESH (29/34) или аутокости (1/34). Вертикальный размер имплантата выбирался таким образом, чтобы устранить сегментарный кифоз. После рентгенологического контроля во всех случаях устанавливалась вентральная

пластина, которую фиксировали к смежным позвонкам монокортикальными винтами. Для межтеловой фиксации применяли стандартные пластины для моно- и бисегментарной фиксации шейного отдела позвоночника. В 14 случаях (41%) применяли методику разнонаправленного введения винтов (Рисунок 62) для наиболее стабильной и жесткой фиксации пластины, что было показано в нашем исследовании при биомеханическом моделировании (Глава 3.2.).

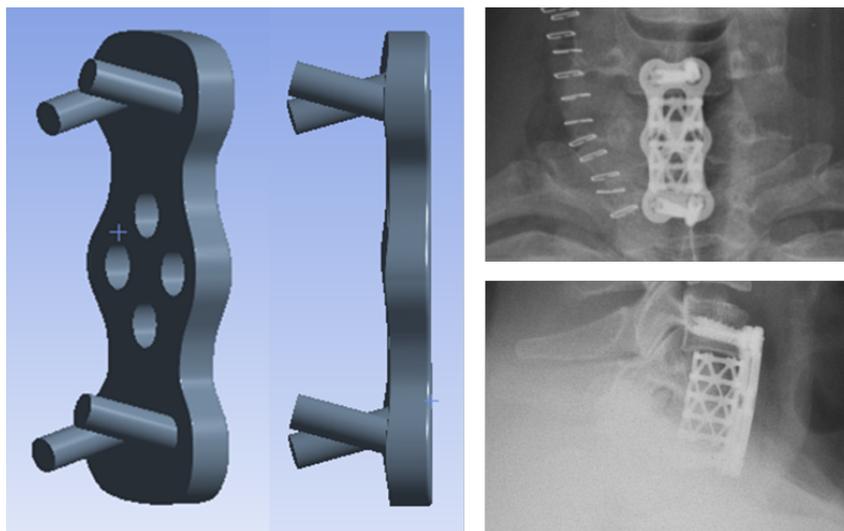


Рисунок 62 – Модель и пример разнонаправленного введения винтов для фиксации пластины

При комбинированном вмешательстве задний доступ выполняли одновременно после поворота пациента и укладки на живот с валиками под грудную клетку и таз. После обработки и отграничения операционного поля производили разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции остистых отростков от С6 до Th2 позвонков (при дорзальной фиксации). Выполнялось скелетирование и декорткация задних опорных структур позвоночника, гемостаз по ходу операции. Билатерально устанавливались через боковые массы винты (4 шт.) в тела С6 и Th1 позвонков. Винты соединялись штангами, производилась дистракция и фиксация системы (Рисунок 63). В послеоперационном периоде шейный отдел фиксировался жестким воротником типа «Филадельфия».

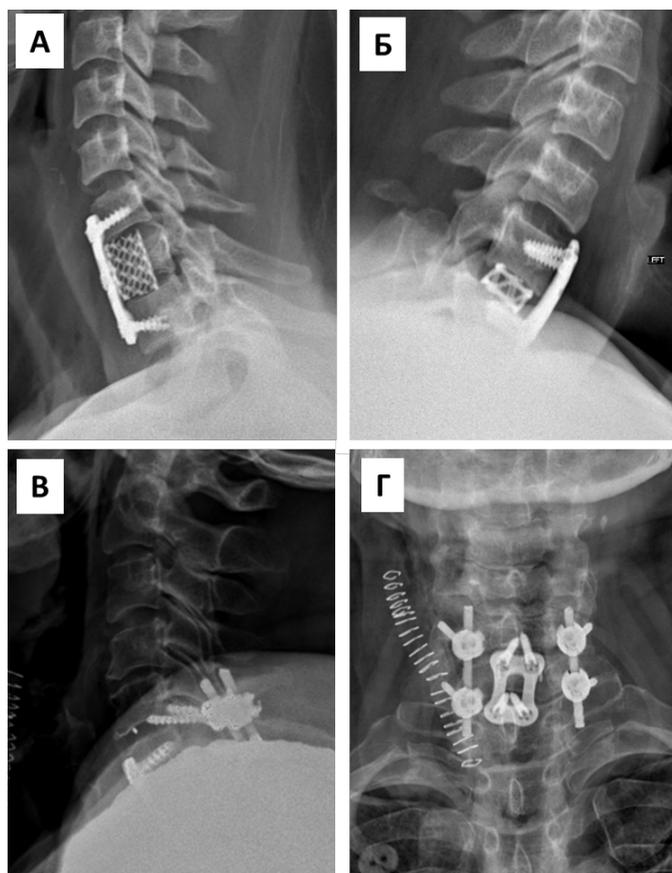


Рисунок 63 – Варианты хирургического вмешательства. А – передняя шейная корпорэктомия с межтеловым корпорорезом сетчатым имплантом MESH и фиксация пластиной. Б – передняя шейная дискэктомия с межтеловым корпорорезом и фиксацией пластиной. В, Г – комбинированный вентральный спондилодез и задняя винтовая фиксация в боковые массы позвонков

Медиана времени операции при переднем спондилодезе составила 80 мин. (60–110 мин.; квартили), при комбинированном вмешательстве – 160 мин. (152–287 мин.; квартили). Кровопотеря – 120 мл (100–150 мл; квартили) и 250 мл (132–337 мл; квартили), соответственно. Медиана сроков госпитализации для всех пациентов составила 7 дней (6–9 дней; квартили), значимо не отличалась в зависимости от типа хирургического вмешательства.

Осложнения наблюдались у 11 пациентов (32%, 11/34). Преходящая дисфагия и дисфония наблюдались у 6 пациентов (18%). Подкожная напряженная гематома, потребовавшая ревизии, у 1 пациента (3%). Преходящий синдром Горнера – у 2 пациентов (6%). В 1 (3%) случае выявлен преходящий синдром Арлекина, характеризующийся потоотделением и покраснением шеи и лица с одной стороны. У одной больной по данным КТ в послеоперационном периоде

диагностирована бессимптомная медиастинальная гематома (Рисунок 64), которая существенно регрессировала по данным контрольной КТ через 3 мес.

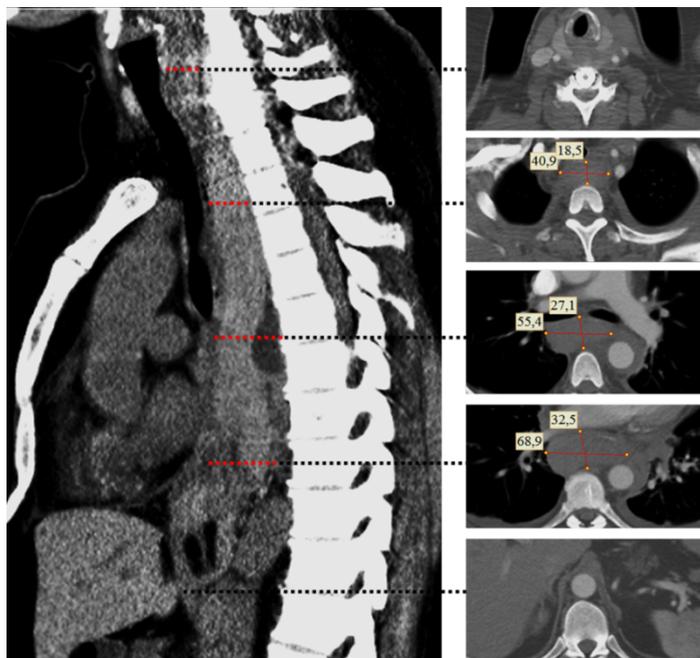


Рисунок 64 – КТ с внутривенным и пероральным контрастированием. Состояние после оперативного лечения – переднего спондилодеза C7-Th1. Структурные изменения на уровне оперативного вмешательства паравертебрально распространяются каудально в заднее средостение (размер 26 см x 5 см x 2,6 см).

На уровне Th5-Th6 по передне-боковой поверхности тел позвонков слева определяется гиподенсивное образование с четким ровным контуром, размером 3x2,8x2,6 см, не накапливает контрастное вещество. На фоне указанных изменений пищевод оттеснен, на уровне нижней трети несколько расширен, при пероральном контрастировании «затеклов» из пищевода не выявлено. На уровне верхней трети трахеи отмечается незначительная ее деформация. Изменения циркулярно охватывают грудной отдел аорты. Несколько компремировано левое предсердие структурными изменениями заднего средостения

Результаты лечения представлены в Таблице 32. Во всех случаях удалось добиться коррекции ДППК, в большинстве случаев коррекции потери высоты передней колонны (76%, 26/34).

Таблица 32 – Результаты хирургического лечения травмы шейногрудного перехода

Параметр	Стабильная фиксация (n = 28)	Нестабильная фиксация (n = 6)	p*
Коррекция ДППК, n(%)	16 (100%)	6 (100%)	-
Коррекция ПВПК, n(%)	25 (89%)	1 (17%)	0,001
Кифотическая деформация, градус, Ме (квартили)			
до операции	5 (2–10)	15 (5–27)	0,017
после операции 1 нед.	1 (0–2)	5 (4–10)	<0,001
после операции 2 мес.	0 (0–2)	5 (4–11)	<0,001
после операции 6 мес.	0 (0–2)	17 (4–24)	<0,001
после операции 12 мес.	0 (0–2)	19 (5–28)	<0,001
p**	<0,001	0,017	
Дислокация позвонка, мм, Ме (квартили)			
до операции	0 (0–1)	7 (4–14)	<0,001
после операции 1 нед.	0	1 (0–4)	0,133
после операции 2 мес.	0	1 (0–5)	0,133
после операции 6 мес.	0	7 (3–14)	0,001
после операции 12 мес.	0	8 (6–14)	<0,001
p**	0,004	0,002	
ВАШ, баллы, Ме (квартили)			
до операции	6 (5–6)	6 (5–7)	0,439
после операции 1 нед.	2 (2–3)	3 (2–4)	0,074
после операции 2 мес.	1 (1–2)	2 (1–2)	0,133
после операции 6 мес.	0 (0–1)	4 (3–4)	<0,001
после операции 12 мес.	0 (0–1)	4 (4–6)	<0,001
p**	<0,001	0,001	
NDI, баллы			
до операции	30 (22–34)	31 (20–36)	0,481
после операции 12 мес.	21 (11–23)	23 (15–27)	0,344
p***	<0,001	0,002	
<i>Примечание: для количественных признаков определены: медиана и квартили;</i>			
<i>* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок;</i>			
<i>** – двухфакторный ранговый дисперсионный анализ Фридмана для связанных выборок;</i>			
<i>*** – критерий Q Кокрена для двух и более связанных выборок</i>			

Сегментарная кифотическая деформация скорректирована у 97% (33/34) пациентов. Дислокация позвонка устранена в 100 % случаев. Через 12 мес. после операции отмечалось значимое улучшение по шкале ВАШ и NDI у 82% (28/34).

Нестабильность фиксации определяли при наличии перелома/миграции элементов МК и увеличении кифотической деформации. Критериями потери коррекции считали: сегментарный кифоз ≥ 11 град. и сегментарную дислокацию позвонка $\geq 3,5$ мм [422].

Всего нестабильность металлофиксации выявлена у 6 пациентов (17,6%, 6/34). Во всех случаях наблюдалась миграция винта, переломов винтов не было выявлено. Несостоятельность выявлена через 6 мес. у 5 пациентов (83%), у 1 (17%) пациента через 12 мес. после операции. В 4 (67%) случаях несостоятельность МК сочеталась со значимым увеличением кифотической деформации (Рисунок 65). На Рисунке 65А представлено состояние после оперативного лечения – коррекции деформации позвоночника по поводу перелома С7 и фиксации его металлической конструкцией и сетчатым эндопротезом на уровне сегментов С6-Th1, вывих С6 позвонка с выраженной деформацией позвоночного канала с дислокацией МК. На Рисунке 65Б – состояние после оперативного лечения – фиксации шейного отдела позвоночника конструкцией с уровня С6 по С7 позвонки, смещение тела С6 позвонка кпереди на 9 мм, значительно снижена высота диска С6-С7. На Рисунке 65В – состояние после коррекции деформации позвоночника по поводу перелома С7 и фиксации его металлической конструкцией, тело С6 позвонка смещено кпереди на 0,5 см, определяется деформация позвоночного канала с компрессией дурального мешка на уровне С7. На Рисунке 65Г – состояние после переднего корпорореза С6-7 позвонков, смещение тела С6 позвонка кпереди на 9 мм, значительно снижена высота диска С6-7.

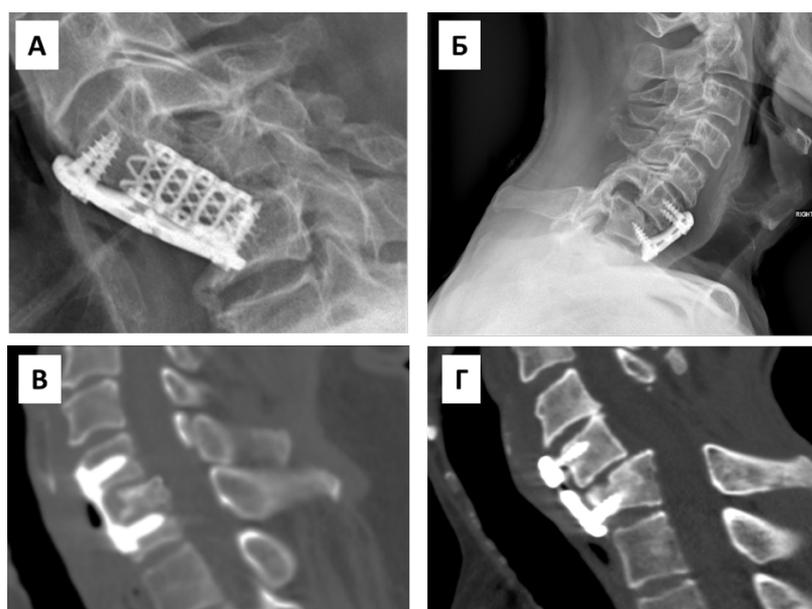


Рисунок 65 – Рентгенография и КТ пациентов с нестабильностью металлофиксации

В большинстве случаев при выявлении нестабильности металлофиксации (67%, 4/6) выполнена реоперация: удаление нестабильной МК, комбинированный симультантный передний спондилодез (MESH) с фиксацией пластиной и задняя фиксация в боковые массы. За время наблюдения после реоперации (до 6 мес.) признаков повторной нестабильности фиксирующих систем не выявлено, сформирован костно-металлический блок.

Для выявления предикторов развития несостоятельности мы разделили пациентов на две группы: 1 группа (n=28) – пациенты со стабильной фиксацией в течение 1 года после операции; 2 группа (n=6) – пациенты, у которых выявлена нестабильность фиксации. Мы провели ретроспективное исследование (однофакторный и многомерный регрессионный анализ) предикторов несостоятельности. В представленных выше таблицах представлен сравнительный анализ предоперационных, интраоперационных данных и результатов лечения в обеих группах. При однофакторном анализе значимыми предикторами несостоятельности МК оказались: дислокация до операции (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–4,2), возраст более 46 лет (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,0–4,5), билатеральное повреждение суставного отростка (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,0–3,6), Кифоз до операции > 11 град. (ОШ – 1,6; ДИ95% 1,1–3,0), грудинно-шейный угол < 70 град. (ОШ – 3,6; ДИ95% 1,6–19,7), проекционный угол < -20° (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–6,6), угол наклона Th1 позвонка > 20 град. (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,1–3,1) (Рисунок 66).

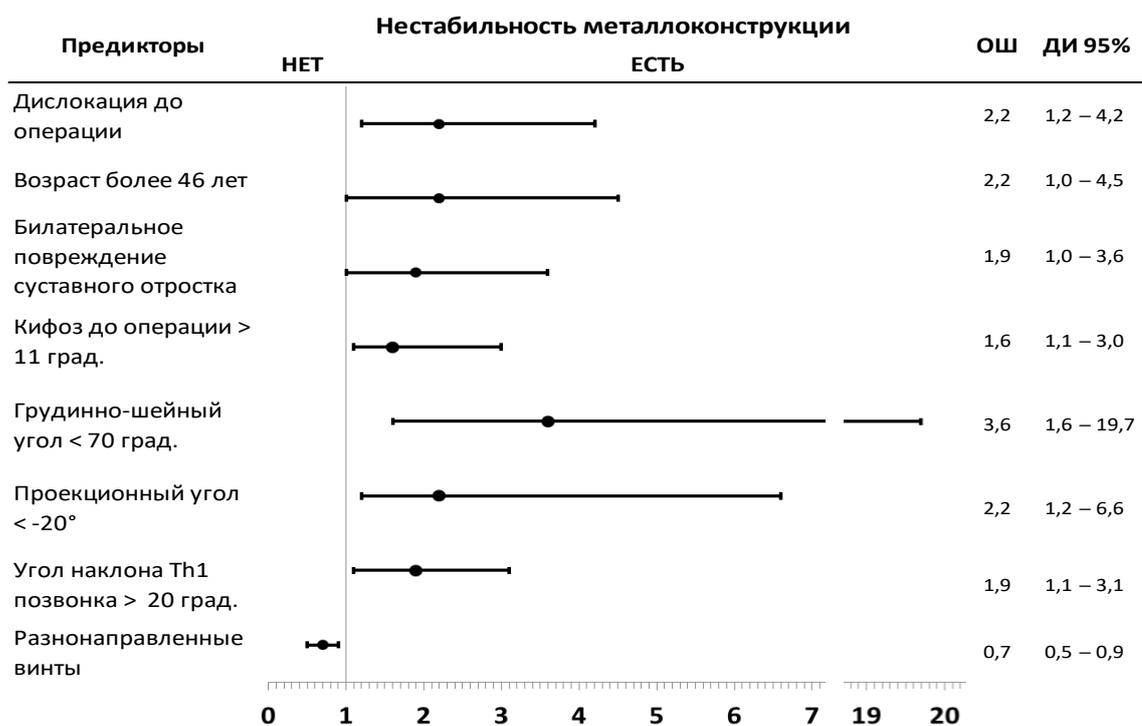


Рисунок 66 – Выявленные при однофакторном анализе предикторы несостоятельности МК шейногрудного перехода.
ОШ – отношение шансов, ДИ – доверительный интервал

Анатомические особенности доступа к ШГП (проекционный угол, грудино-ключичный угол) в нашем исследовании оказались значимыми при однофакторном анализе, что связано, вероятно, с невозможностью выполнить полноценную фиксацию ШГП (в том числе разнонаправленное введение винтов) при переднем доступе без манубриотомии/стернотомии в случае затрудненного доступа к С7-Th1 позвонкам (Рисунок 67). Это подтверждают данные представленного нами ранее исследования: при выявлении затрудненного доступа к ШГП (грудинно-ключичный угол менее 70 град., проекционный угол менее -20 град.) необходимо выполнять манубриотомию для возможности полноценного инструментирования ШГП (Глава 3.3.).

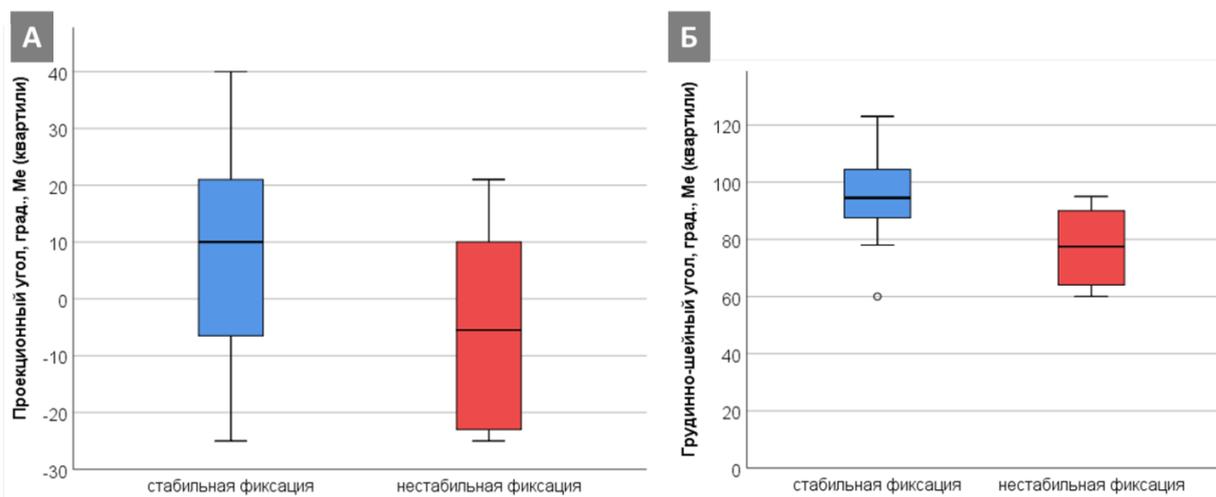


Рисунок 67 – Данные проекционного угла и грудинно-ключичного угла до операции в группах стабильной и нестабильной фиксации

Угол наклона Th1 позвонка в группе с нестабильной фиксацией оказался статистически значимо выше, чем в группе со стабильной фиксацией, соответственно 28 град. (20–36 град., квантили) и 17 град. (15–27 град, квантили) ($p=0,034$). Пограничное значение угла наклона Th1 позвонка при проведении ROC-анализа и применении индекса Юдена оказалось 20 град. с чувствительностью 74% и специфичностью 62%. Выявлена слабая отрицательная корреляция угла наклона Th1 с грудинно-ключичным углом (коэффициент Спирмена $R = -0,28$, $p=0,036$) и с проекционным углом ($R = -0,31$, $p=0,027$).

Применение разнонаправленных винтов снижало риск развития нестабильности при однофакторном анализе (ОШ – 0,7; ДИ95% 0,5–0,9), что подтвердило данные биомеханического моделирования (Глава 3.2.).

В группе с нестабильной фиксацией отмечалось значимое нарастание интенсивности болевого синдрома через 6 мес. после операции по шкале ВАШ, увеличение сегментарного кифоза, дислокации и потери высоты передней колонны. К 1 году после вмешательства негативная динамика по этим показателям нарастает в группе пациентов с нестабильностью фиксации (Рисунок 68).

В модель многофакторного анализа (МФА) ввели параметры со значимостью $<0,1$ при однофакторном анализе (ОФА). Количественные параметры с применением ROC-анализа и индекса Юдена (для вычисления порогового значения) переведены в номинальные (Таблица 33).

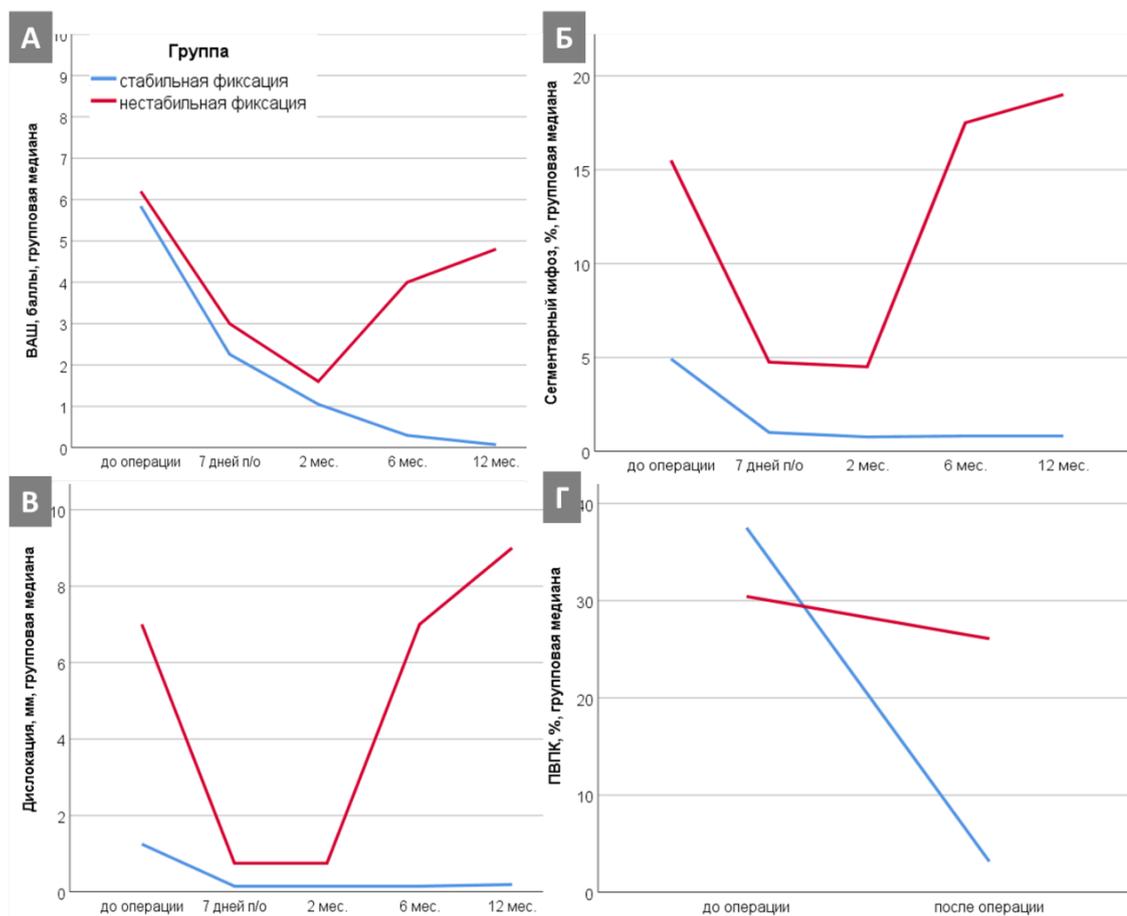


Рисунок 68 – Диаграмма результатов хирургического лечения в группах стабильной и нестабильной фиксации: А – динамика болевого синдрома по шкале ВАШ; Б – динамика сегментарного кифоза; В – динамика дислокации позвонка; Г – коррекция потери высоты передней колонны

Таблица 33 – Модель многофакторного регрессионного анализа

Параметр	ОФА	МФА	
	р	знач. В	р
Возраст > 46 лет	<0,1	4,4	0,063
Дислокация до операции	<0,1	21,3	<0,001
Билатеральное повреждение суставного отростка	<0,1	2,2	0,137
AOSpine A4	<0,1	2,9	0,087
Кифоз до операции > 11 град.	<0,1	2,3	0,122
Проекционный угол < -20°	<0,1	3,4	0,064
Грудинно-шейный угол < 70°	<0,1	3,4	0,064
Нет фиксации разнонаправленными винтами	<0,1	2,9	0,087
Нет коррекции ПВПК	<0,1	4,4	0,063
ДППК до операции	<0,1	1,3	0,251

При многомерной логистической регрессии наличие дислокации (сочетания перелома типа А4 с дислокацией, или с повреждением типа С) повышало риск развития нестабильности МК. Пограничное значение смещения позвонка при проведении ROC-анализа и применении индекса Юдена оказалось 3 мм с чувствительностью 100% и специфичностью 82% (Рисунок 69).

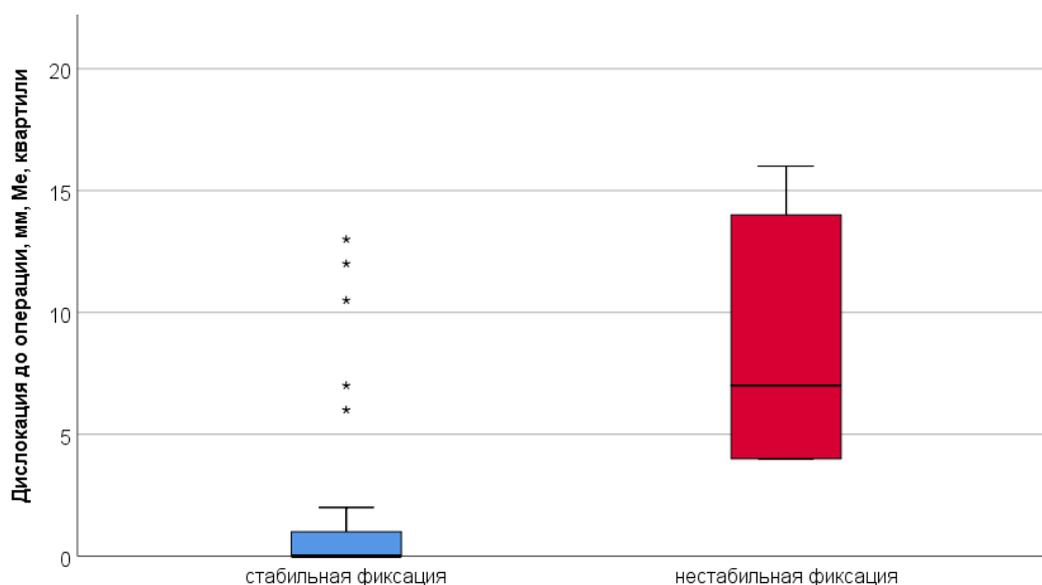


Рисунок 69 – Степень дислокации тела позвонка до операции в группах стабильной и нестабильной фиксации

3.5. Разработка алгоритма лечения

Анализ результатов лечения и биомеханическое моделирование позволило разработать новый алгоритм хирургического лечения повреждений шейногрудного перехода (Рисунок 70).

При переломах типа А0 и А1 хирургическое лечение не показано. При неосложненных переломах А2 и отсутствии признаков нестабильности (выраженный сегментарный кифоз > 15 град., дефицит просвета позвоночного канала > 50%, потеря высоты передней колонны > 50%) также показано ортезирование. При наличии признаков нестабильности необходимо выполнять спондилосинтез из переднего доступа (MESH, аутокость) и фиксацию пластиной.

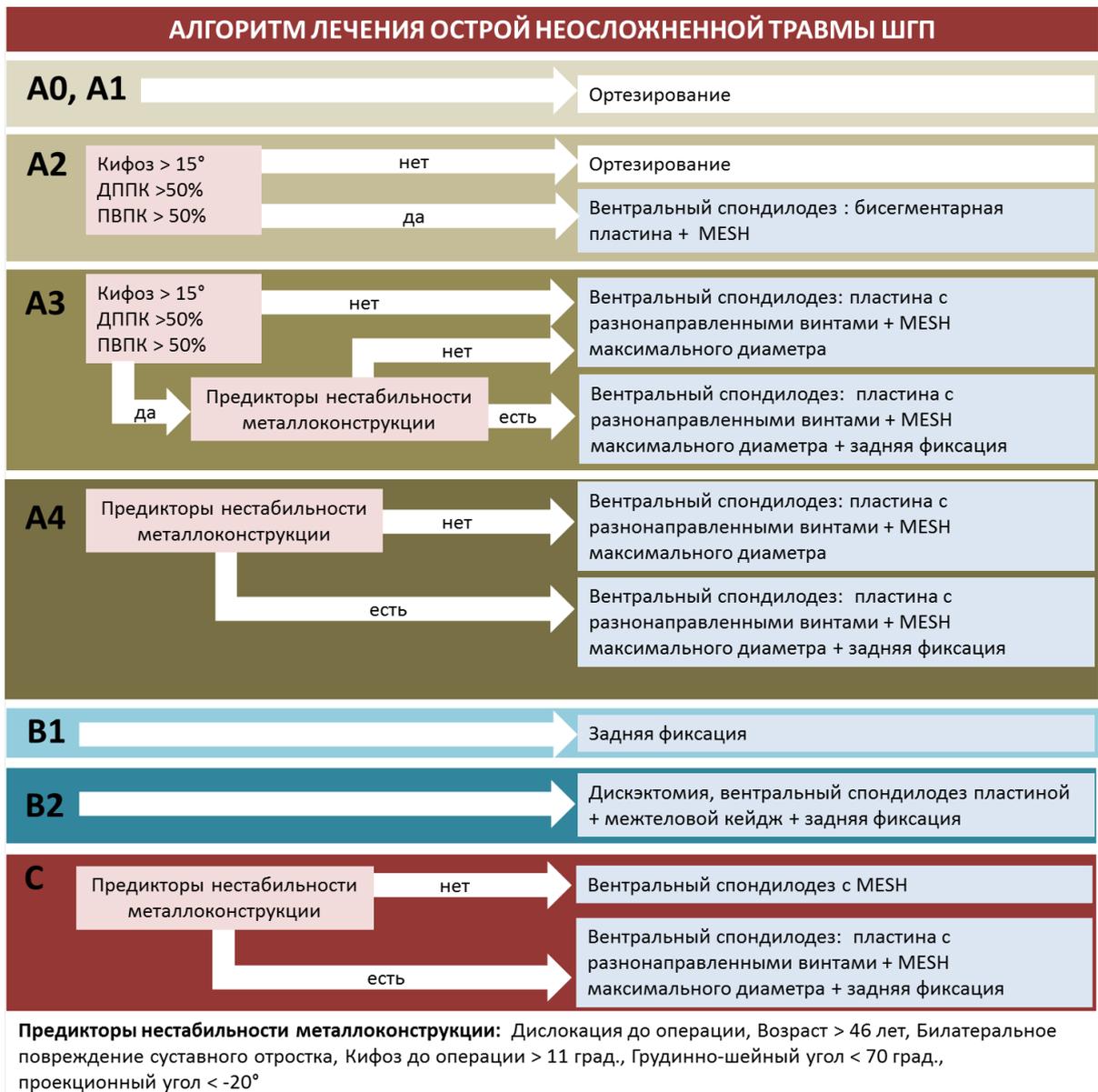


Рисунок 70 – Алгоритм хирургического лечения при повреждениях шейногрудного отдела позвоночника с учетом типа повреждения

При переломах типа А3 и отсутствии признаков выраженной нестабильности (выраженный сегментарный кифоз > 15 град., дефицит просвета позвоночного канала > 50%, потеря высоты передней колонны > 50%), а также при отсутствии предикторов нестабильности МК (дислокация до операции, возраст > 46 лет, билатеральное повреждение суставного отростка, кифоз до операции > 11 град., грудинно-шейный угол < 70 град., проекционный угол < -20°) показан вентральный спондилодез с применением MESH максимального диаметра и фиксацией пластиной с разнонаправленными винтами. При наличии выраженного сегментарного кифоза > 15 град., дефицита просвета позвоночного канала > 50%,

потери высоты передней колонны > 50%) и наличия предикторов нестабильности МК показано одномоментное выполнение вентрального спондилосинтеза с применением MESH максимального диаметра, фиксацией пластиной с разнонаправленным введением винтов и задней фиксации с введением винтов в боковые массы С6 или С7 позвонков и транспедикулярным введением винтов в Th1 или Th2 позвонки.

При переломах типа А4 вне зависимости от выраженности кифоза, ДППК и ПВПК при наличии предикторов нестабильности МК показано одномоментное выполнение вентрального спондилодеза с применением MESH максимального диаметра, фиксацией пластиной с разнонаправленным введением винтов и задней фиксации с введением винтов в боковые массы С6 или С7 позвонков и транспедикулярным введением винтов в Th1 или Th2 позвонки. При отсутствии предикторов нестабильности МК достаточно выполнить вентральный спондилодез.

У нас есть опыт лечения пациентов с переломами ШГП типа В, однако основываясь на данных литературы и результатов биомеханического моделирования (Глава 3.2.), мы предлагаем такую тактику лечения: при переломах типа В1 – задняя фиксация. При переломах В2 – дискэктомия, вентральный спондилодез пластиной + межтеловой кейдж + задняя фиксация

При переломах типа С вне зависимости от сроков травмы при наличии предикторов развития нестабильности металлофиксации мы выполняли комбинированное вмешательство: одномоментный вентральный спондилодез с применением MESH максимального диаметра и фиксацией пластиной с разнонаправленным введением винтов и заднюю фиксацию с введением винтов в боковые массы С6 или С7 позвонков и транспедикулярным введением винтов в Th1 или Th2 позвонки. При отсутствии предикторов – передняя фиксация.

3.6. Обсуждение результатов

Травма ШГП – достаточно редкая патология. Кроме того, сложность рентгенологической визуализации в этой области приводит к высокой частоте нераспознанных травм ШГП, 4,5–33% [161, 415]. Учитывая плановый характер вмешательств и широкое применение в предоперационной диагностике КТ (в 91% случаев, 31/34) в НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, информацию об информативности рентгенографии и частоту пропущенных травм ШГП мы не смогли оценить.

При выявлении травмы ШГП основными задачами лечения являются немедленная стабилизация, восстановление анатомии позвоночника и ранняя реабилитация. Однако, несмотря на более чем 100-летнюю историю лечения травмы нижнешейного отдела позвоночника, тактика лечения ШГП до сих пор предмет для дискуссий [454].

Если показания к задней фиксации большинством хирургов ограничиваются повреждениями, не затрагивающими переднюю колонну – чаще при травмах флексионно-дистракционных или сочетании бокового сгибания и осевого вращения [347], то объем стабилизации при трехколонном повреждении до конца не определен. При таких поражениях применяется как передняя, так и циркулярная фиксация [292, 449, 460, 474]. Показанием к циркулярной фиксации могут быть двусторонние переломовывихи и особенно застарелые повреждения [100, 399], крайне нестабильные или особо сложные травмы [440], травма на фоне анкилозирующего спондилоартрита (болезнь Бехтерева) и политравмы с длительной искусственной вентиляцией легких [378, 454].

Таким образом, тактика лечения травмы ШГП до сих пор остается дискуссионной. На сегодняшний день опубликовано небольшое количество статей, посвященных хирургическому лечению травмы шейногрудного перехода. Это связано, во-первых, с редкостью изолированных переломов этой зоны позвоночника [227, 345, 387], а, во-вторых, со сложностью хирургических

вмешательств на этом уровне, что затрудняет набор больших групп пациентов для клинических исследований.

В опубликованных работах число исследуемых пациентов не превышает 40 случаев, в большинстве же своем это клинические примеры или серии до 10 пациентов. В наше исследование вошло всего 34 пациента с травмой ШГП за десятилетний период. Отсутствие большого клинического материала делает биомеханическое моделирование незаменимым подспорьем для анализа различных вариантов лечения, применения различных медицинских технологий, оценки предикторов возможных осложнений при редкой патологии. Современное компьютерное биомеханическое моделирование поднимает наши возможности на следующий уровень. Малозатратные, легко воспроизводимые и быстро выполнимые методы математического моделирования широко внедряются в современный научно-исследовательский процесс.

На основе биомеханического математического моделирования мы изучили несколько вопросов, возникших в ходе нашей клинической работы. Во-первых, при анализе модели шейногрудного отдела позвоночника в норме мы выявили рост эквивалентных напряжений на позвонки Th1 и Th2, в то же время напряжения в других позвонках оказались существенно ниже. Это указывает на повышенные требования к стабильности именно нижнего полюса МК при остеосинтезе переломов ШГП. И, соответственно, необходимость хорошей визуализации нижнего позвонка, что зачастую затруднительно в этой области.

Во-вторых, мы провели оценку разных вариантов введения винтов при фиксации передней пластины в различных типах травмы ШГП (тип А и С по классификации AOSpine). При обоих вариантах травм ШГП разнонаправленное введение винтов в верхний и в нижний позвонки оказывается наиболее стабильной конструкцией среди трех рассмотренных. При этом оказывается наименьшая нагрузка на нижний позвонок (Th1).

В нашем клиническом ретроспективном исследовании по оценке предикторов несостоятельности МК также подтвердилось преимущество разнонаправленного введения фиксирующих винтов. Данную методику мы

применили у 14 (50%) пациентов. Ни у одного из них не возникло несостоятельности металлофиксации. Применение разнонаправленных винтов снижало риск развития нестабильности при однофакторном анализе (ОШ – 0,7; ДИ95% 0,5–0,9).

В-третьих, мы провели математическое моделирование применения сетчатых эндопротезов MESH для межтелового спондилодеза различных диаметров. Выявлено, что применение кейджа типа MESH максимального диаметра (13 мм) дает наименьшие перемещения в зафиксированном участке позвоночника, что говорит о более высокой стабильности данного варианта. Также показано, что эквивалентные напряжения оказались наименьшими в данном варианте по сравнению с другими при всех рассмотренных вариантах нагружения. Это позволило сделать вывод о целесообразности использования в клинической практике кейджа типа MESH максимально возможного диаметра.

В-четвертых, изучено с использованием математического моделирования влияние степени наклона позвонка на стабильность фиксации. При анализе напряженно-деформированного состояния моделей повреждений типа А и типа С с разной степенью наклона мы выявили, что во всех типах повреждений угол наклона более 20 град. является критичным углом, при котором происходит скачкообразное (порядка 10%) увеличение напряжений в винтах и позвонках, а также перемещений верхнего позвонка относительно зафиксированного. Смоделированный в нашем исследовании угол наклона является аналогом такого показателя саггитального баланса, как T1 slope (угол наклона Th1 позвонка). В дальнейшем, при ретроспективном однофакторном анализе клинических данных мы также подтвердили, что наклон Th1 позвонка более 20 град. является риском развития нестабильности МК (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,1–3,1) с чувствительностью 74% и специфичностью 62%. Это косвенно подтверждает данные А.Д. Ластевского с соавторами, показавших, что определенные параметры саггитального баланса могут влиять на потерю интраоперационно достигнутой коррекции в отдаленном периоде [27]. Авторы на основе результатов своего исследования сделали предположение, что увеличение параметра T1A и T1 slope усиливает шейный

лордоз [418], что, в свою очередь, способствует формированию сдвиговых нагрузок в зоне ШГП. Этим можно объяснить повышение риска нестабильности МК в послеоперационном периоде [27].

И, наконец, в-пятых, учитывая малое количество (всего 4 из 34 операций) выполненных нами комбинированных вмешательств (циркулярный спондилосинтез), для получения каких-либо значимых выводов по стабильности данной конструкции, мы провели математическое моделирование данной методики. Дополнительная установка дорсальной конструкции на уровне С6-Th1 в совокупности с передним спондилодезом позволяет существенно снизить напряжения в нижнем позвонке и пластине и перемещения всего позвоночно-двигательного сегмента. Это позволяет повысить стабильность фиксации и снизить нагрузку на переднюю пластину и при типе А, и при типе С переломов ШГП.

В ретроспективный анализ результатов лечения изолированной травмы в НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России вошло 34 пациента, и в большинстве случаев выполняли только передний хирургический доступ. Лишь в 4 случаях (12%) при дислокации, превышающей 3 мм, выполнен циркулярный спондилосинтез (360 град.). Поэтому мы не старались оценить преимущества того или иного метода и попытались проанализировать только клинико-демографический характер пациентов, особенности и осложнения переднего доступа, а также предикторы нестабильности МК.

Считается, что для переднего доступа к С7 и Th1, и даже Th2 позвонкам достаточно выполнять стандартный нижнешейный доступ по Cloward без манубриотомии/стернотомии [95, 218, 320, 406]. Однако в клинической практике мы сталкиваемся с индивидуальными анатомическими особенностями (форма грудной апертуры, высота расположения рукоятки грудины и степень шейногрудного кифоза), которые влияют на возможность доступа [243, 359, 379] и приводят к необходимости выполнения манубриотомии или стернотомии. Это существенно повышает травматичность доступа, частоту осложнений и требует присутствия торакального хирурга [314, 315]. В связи с этим, актуальным является

определение параметров предоперационной оценки возможности выполнения переднего доступа без манубриотомии. Ранее было показано, что стандартные параметры оценки саггитального баланса сильно зависят от положения и осанки [269]. Поэтому были предложены несколько рентгенографических показателей: линия межпозвонкового диска, угол входа в грудную клетку, угол обзора хирурга и проекционный угол. Однако из-за имеющихся ограничений (применение только при дегенеративном поражении; привязка к анатомическим ориентирам, которые могут быть утрачены вследствие особенностей травмы; сложность оценки при стандартной рентгенографии из-за плохой визуализации верхних грудных позвонков) мы предложили новый рентгенологический показатель – грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle).

Для изучения нового показателя мы провели анализ 84 КТ-исследований случайных взрослых пациентов без поражения позвоночника. Мы выявили, что доступ без манубриотомии может быть выполнен в 93%, 67% и 13% для C7, Th1 и Th2 позвонков, соответственно. Определили, что доступ к C7 позвонку без манубриотомии можно осуществить при грудинно-шейном угле более 70 град. в 100% случаев, к Th1 позвонку при угле более 90 град. – в 94% случаев, и к Th2 позвонку при угле более 110 град. – в 43% случаев. В нашем исследовании выявлена зависимость грудинношейного угла от возраста, что согласуется с данными J.F. Baker et al. [95]. Причем показано, что у пожилых пациентов доступ может быть затруднен и практически невозможен при необходимости вентрально инструментировать Th2 позвонок у пациентов старше 70 лет.

В проведенном клиническом ретроспективном исследовании мы показали значимость оценки грудинношейного угла для прогнозирования несостоятельности МК. Это, по-видимому, связано с плохой визуализацией и затруднениями при введении фиксирующих винтов, в том числе невозможностью разнонаправленного введения винтов. В исследовании А.Д. Ластевского с соавт. также была выявлена связь угла доступа к позвонку (ТИА) с потерей коррекции в отдаленном периоде после операции [27]. Мы пришли к выводу, что при планировании хирургического лечения травмы ШГП необходима

предоперационная оценка возможности выполнения переднего доступа без манубриотомии. В качестве такой оценки грудинно-шейный угол является удобным как в расчетах, так и в интерпретации. При выявлении необходимости выполнения манубриотомии/стернотомии стоит рассмотреть вариант циркулярного спондилодеза (360 град.).

Особенностью переднего доступа, выявленной на нашем опыте, являются анатомические вариации расположения дуги аорты и отхождения брахиоцефальных ветвей от дуги аорты. Стандартный доступ к позвонкам ШГП осуществляется между сонными артериями. Однако мы столкнулись с вариантом, когда пришлось выполнить доступ между левой общей сонной и левой подключичной артерией, что было связано с развернутой дугой аорты и «бычьим» типом дуги аорты (отхождение левой общей сонной артерии от брахиоцефального ствола). Такой вариант отхождения брахиоцефальных сосудов (как, предположительно, 2 и 3 типы дуги аорты) может существенно осложнить доступ к позвонкам и повышает риск повреждения сосудов.

Наш опыт хирургического лечения пациентов с одноуровневой травмой позвоночника в области шейногрудного перехода показал хорошие ближайшие и отдаленные (до 1 года) результаты. Во всех случаях удалось добиться коррекции ДППК, и в большинстве случаев коррекции потери высоты передней колонны (76%, 26/34). Сегментарная кифотическая деформация скорректирована у 97% (33/34) пациентов. Дислокация позвонка устранена в 100 % случаев. Через 12 мес. после операции отмечалось значимое улучшение по шкале ВАШ и NDI у большинства пациентов (82%, 28/34).

Осложнения наблюдались у 11 пациентов (32%, 11/34). Однако все осложнения были нетяжелыми и преходящими: дисфагия, дисфония, синдром Горнера, синдром Арлекина. Лишь в 1 случае (3%) потребовалась ревизия по поводу напряженной подкожной гематомы. У одной больной по данным КТ в послеоперационном периоде диагностирована бессимптомная медиастинальная гематома, которая регрессировала по данным контрольного КТ через 3 мес. Не

было тяжелых местных и системных осложнений, описанных в литературе [127, 336, 394, 396].

Нестабильность металлофиксации с потерей коррекции кифоза и появлением или усилением болевого синдрома выявлена у 6 пациентов (17,6%, 6/34) через 6–12 мес. после операции, что соответствует литературным данным: частота нестабильности при хирургии шейногрудного перехода варьирует от 9% до 18%. В 4 случаях несостоятельность МК сочеталась со значимым увеличением кифотической деформации, отмечалось значимое изменение по шкале ВАШ, увеличение сегментарного кифоза, дислокации и потери высоты передней колонны, что соответствует данным литературы [27, 357, 396].

Предикторами несостоятельности, выявленными в различных исследованиях, являются: билатеральный характер повреждения, флексионно-дистракционных повреждения 3-го типа по классификации Allen – Ferguson, изолированная передняя стабилизация, болезнь Бехтерева, безинструментальная ламинэктомия, вентральная многоуровневая корпэктомия (два или три уровня), предшествующие операции на шейном отделе позвоночника, употребление табака, мужской пол, многоуровневое поражение, применение аллотрансплантата, пожилой возраст [27, 116, 357, 389, 396].

В нашем исследовании при однофакторном анализе значимыми предикторами несостоятельности МК оказались: дислокация до операции (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–4,2), возраст более 46 лет (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,0–4,5), билатеральное повреждение суставного отростка (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,0–3,6), Кифоз до операции > 11 град. (ОШ – 1,6; ДИ95% 1,1–3,0), грудинно-шейный угол < 70 град. (ОШ – 3,6; ДИ95% 1,6–19,7), проекционный угол < -20° (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–6,6), угол наклона Th1 позвонка > 20 град. (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,1–3,1). Мы не выявили связи развития нестабильности с полом, сроком травмы, степенью подвывиха. Применение аллотрансплантата было только в 1 случае, что не привело к развитию несостоятельности МК. При многомерной логистической регрессии только наличие дислокации (сочетания перелома типа А4 с дислокацией или с повреждением типа С) повышало риск развития нестабильности МК. Как и в

других, основными ограничениями нашего исследования послужили малое количество наблюдений, ретроспективный неослепленный анализ результатов хирургического лечения, малое число комбинированных вмешательств. Свойства клинического материала делают нецелесообразным проспективное исследование по оценке алгоритма, но благодаря существованию такого инструмента как биомеханическое моделирование и выявление предикторов развития нестабильности фиксации мы имеем возможность использовать их как дополнительный аргумент при выборе варианта спондилосинтеза при редкой патологии, которой является травма переходного шейногрудного отдела позвоночника.

Осложнения, связанные с выполнением доступа, зафиксированы у пациентов, оперированных в 2010–2013 годах. Отсутствие подобных проблем в дальнейшем связано, по всей видимости, с повышением уровня хирургических навыков бригад. Следует отметить, что все пациенты, послеоперационный период которых осложнился развитием нестабильности металлофиксации, были прооперированы до 2018 года, когда еще не использовались разнонаправленно введенные винты и не учитывались результаты компьютерного биомеханического моделирования при выборе тактики хирургической реконструкции.

В соответствии с нашими клиническими и экспериментальными данными внедрение алгоритмического подхода в хирургическое лечение повреждений переходного шейногрудного отдела позвоночника позволяет повысить эффективность и безопасность хирургической реконструкции данной зоны. Наш клинический опыт опубликован в рецензируемых журналах [5, 34, 42].

ГЛАВА 4. ГРУДОПОЯСНИЧНЫЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА

4.1. Дизайн исследования

Объектом исследования были пациенты с повреждениями переходного грудопоясничного отдела позвоночника (Th11-L2 позвонков), оперированных с 2010 по 2019 гг. Морфология переломов представлена типами A2-4, B1-2 и C по классификации AOSpine. Для решения поставленных задач были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами Th10-L4 и 70 пациентов с повреждениями грудопоясничного отдела позвоночника. С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки от C7 до S5, ребра, межпозвонковые диски, дугоотростчатые суставы и связки. Оценена эффективность различных методик спондилосинтеза в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника.

Для оценки предикторов несостоятельности фиксации всех 273 пациентов, прооперированных с 2010 по 2017 гг., разделили на 3 группы:

- 1 группа (n=215) – пациенты со стабильной фиксацией в течение 1 года после операции;
- 2 группа (n=49) – пациенты, у которых выявлена нестабильность фиксации (перелом/миграция винта или стержня);
- 3 группа (n=9) – пациенты с посттравматическим остеолизом позвонка в послеоперационном периоде.

Был проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для выявления значимых предикторов несостоятельности фиксации и остеолиза.

На основе выявленных предикторов и биомеханического моделирования разработан новый алгоритм хирургического лечения при повреждениях

груднопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения. Для обоснования алгоритма проведено сравнительное ретроспективное исследование: группа контроля (100 пациентов, оперированных в 2015–2017 гг.) и основная группа (60 пациентов, оперированных с применением нового алгоритма в 2018–2019 гг.). Дизайн проведенных исследований представлен на Рисунке 71.



Рисунок 71 – Дизайн проведенных исследований

При поступлении пациента в стационар с 2015 года предварительный диагноз формулировали в приемном отделении с использованием прототипа запатентованного в 2019 году справочника-переходника по классификациям переломов AO/ASIF и AOSpine. Затем окончательный клинический диагноз с применением данного справочника формулировали в профильном отделении при планировании вмешательства. Соотношение случаев расхождения определения

типа перелома в диагнозе при использовании справочника-переходника и без такового представлено на Рисунке 72.

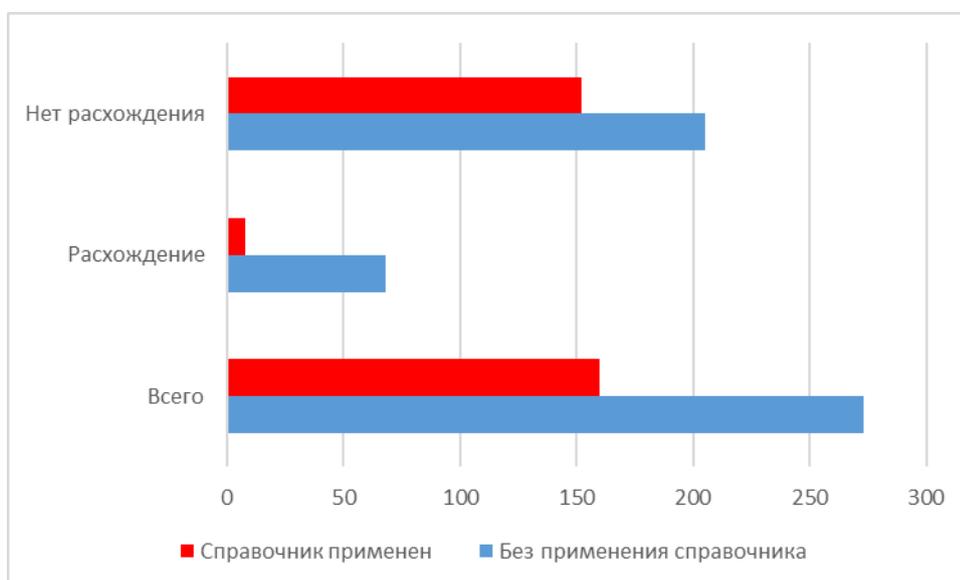


Рисунок 72 – Соотношение пациентов с расхождением диагноза и без такового в зависимости от применения справочника переходника

Применение справочника-переходника позволило уменьшить количество расхождения диагноза с 25% (68 случаев из 273) до 5% (8 случаев из 160).

4.2. Результаты биомеханического моделирования

4.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала

Для решения поставленных в работе 1 и 2 задач по созданию трехмерных геометрических твердотельных моделей грудного отдела позвоночника в норме и при патологии, а также построению системы «поврежденные позвоночно-двигательные сегменты–фиксатор» и исследованию ее напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках и вариантах спондилосинтеза, были использованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами Th10-L4. В качестве добровольцев

выступали пациенты с гемангиомами позвоночника, оперированные в связи с данной патологией, при этом новообразование не нарушало геометрию позвонков. Дефекты тел позвонков, образовавшиеся в результате поражения гемангиомой, не моделировались, данная область при построении твердотельной модели замещалась «губчатой костью». Получено информированное согласие добровольцев, участвующих в исследовании на выполнение компьютерной томографии и публикацию данных из медицинской карты стационарного больного. Статистически значимых различий по половозрастному составу и антропометрическим данным между группой добровольцев и пациентов с повреждениями позвоночника не выявлено (70 пациентов) (Таблица 34).

Наиболее распространенные переломы грудопоясничного отдела позвоночника по данным литературы и нашим данным являются переломами типа А3 и А4. Поэтому мы разрабатывали и оценивали различные системы фиксации и оптимизацию их компоновки при данных переломах.

Таблица 34 – Общая характеристика пациентов и добровольцев

	Пациенты с повреждениями Th11-L2, n=70	Добровольцы, n=20	p*
Возраст, лет	46 (35;54)	47 (38;55)	0,981
Пол мужской, %	64%	70%	0,864
Вес, кг	73 (67;78)	76 (72;86)	0,598
Рост, см	172 (165;177)	174 (169;177)	0,373
<i>Примечание: для описания количественных данных использовали Медиану и 25–75 перцентили, * – для количественных признаков использован U- критерий Манна-Уитни, для качественных признаков – Хи-квадрат Пирсона</i>			

4.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме и при патологии

С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки от С7 до S5, ребра, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки (Рисунок 73А). Все элементы позвоночника, кроме связок, моделировались трехмерными телами. Связки представлялись линейными одномерными элементами [71].

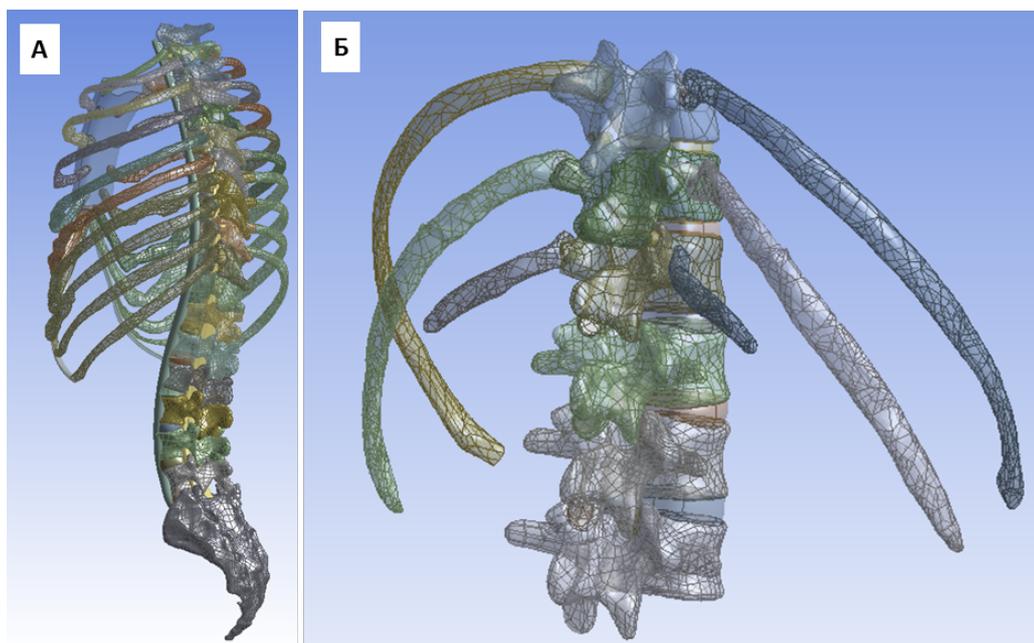


Рисунок 73 – Трехмерная геометрическая модель позвоночника. А – трехмерная модель сегмента позвоночника от грудного позвонка С7 до крестцового позвонка S5. Б – трехмерная модель сегмента позвоночника от грудного позвонка Th10 до поясничного позвонка L3

Материалы элементов позвоночника являлись линейно-упругими, изотропными и однородными [19]. Толщина кортикального слоя позвонков считалась равной 0,5 мм [235]. При биомеханическом моделировании рассматривалась часть модели от Th10 позвонка до L3 позвонка (Рисунок 73Б). При биомеханическом моделировании позвонок L3 жестко закреплялся, а к позвонку Th10 прикладывались моменты, моделирующие наклоны тела человека. Также к верхним замыкательным пластинкам позвонков Th10-L3 прикладывались силы, моделирующие вес тела человека.

Связки позвоночника моделировались одномерными механическими элементами, которые могут работать на растяжение и сжатие. Жесткости связок брались из литературы [94] и различаются в зависимости от сегмента позвоночника и от типа связки. На рисунках ниже связки представлены в виде пружин, связывающих позвонки между собой. Анализировали эквивалентные напряжения в позвонках: в губчатой и кортикальной кости (Рисунок 74, Рисунок 75). Рисунок 75 показывает, что передняя поверхность тел позвонков наименее нагружена при наклоне назад.

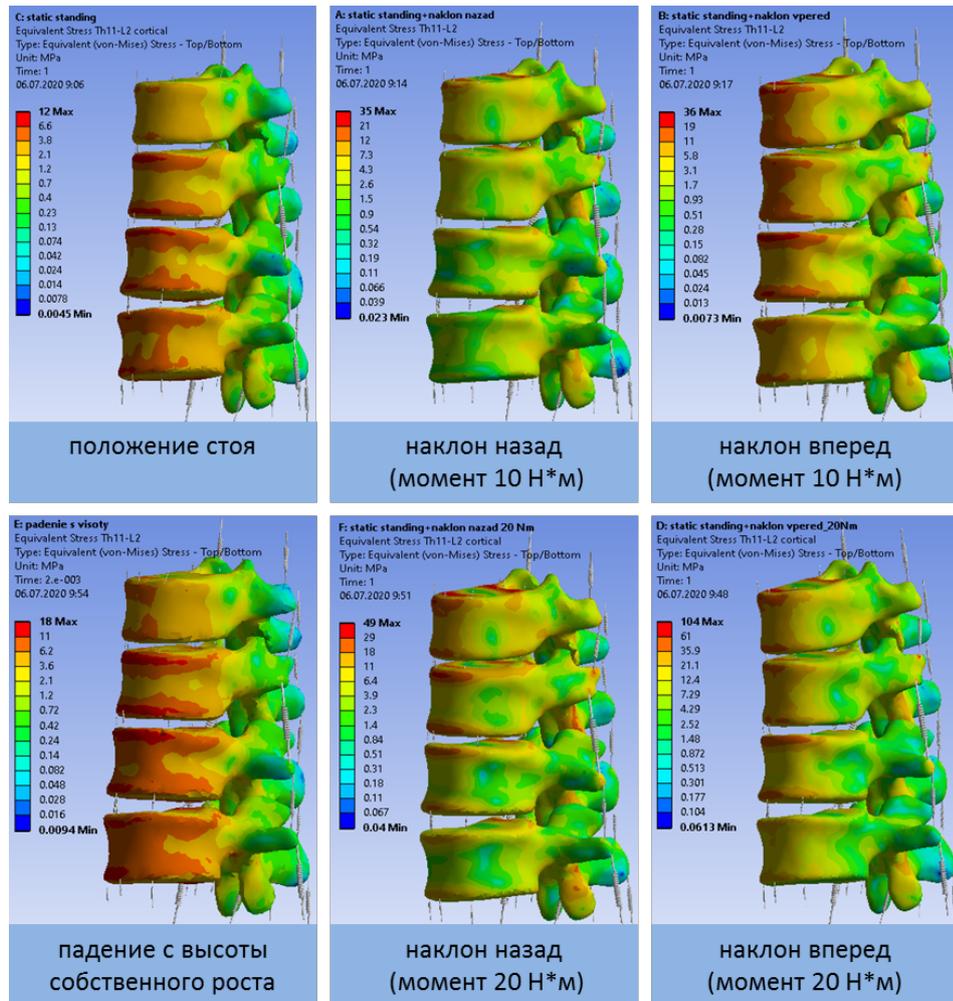


Рисунок 74 – Эквивалентные напряжения в МПа в кортикальной кости позвонков Th11-L2

Наибольшие напряжения сосредоточены на кортикальном слое передних отделов тел позвонков в положении стоя, падении с высоты собственного роста и наклоне вперед. При наклоне назад на задней стенке не так выражены пики напряжений – наибольшие значения напряжений сосредоточены на задней части тел позвонков и на отростках (Рисунок 76).

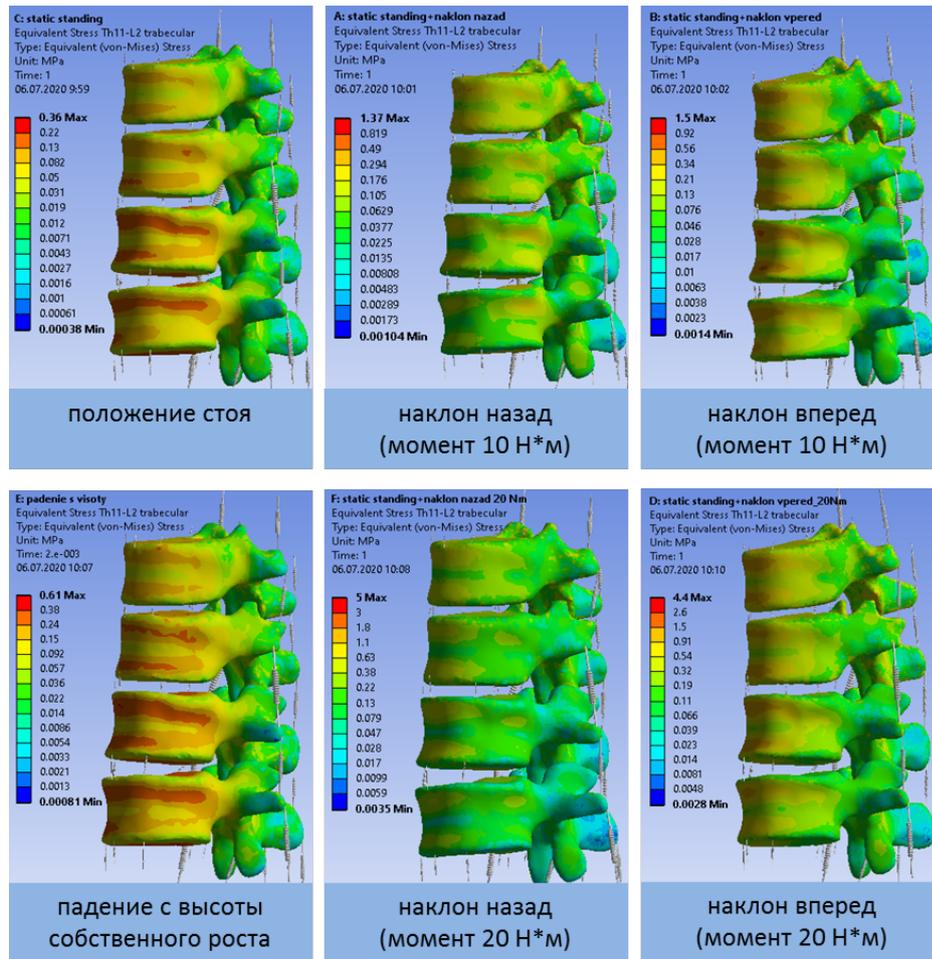


Рисунок 75 – Эквивалентные напряжения в МПа в губчатой кости позвонков Th11-L2

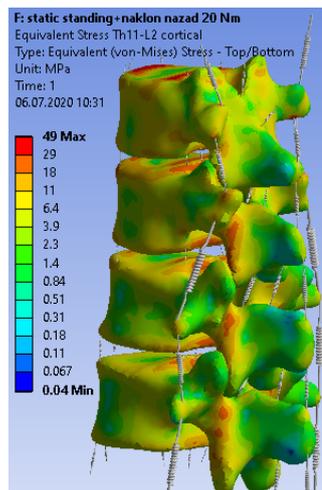


Рисунок 76 – Эквивалентные напряжения в МПа в кортикальной кости позвонков Th11-L2 при наклоне назад

В Таблицы 35 и 36 внесены максимальные значения эквивалентных напряжений в позвонках Th11-L2 при различных вариантах нагружения, а также в позвонках Th10 и L3, не входящих в состав грудопоясничной переходной зоны.

Таблица 35 – Максимальные значения эквивалентных напряжений в МПа в кортикальной кости позвонков Th10-L3

Положение стоя		наклон назад (момент 10 Н*м)	наклон вперед (момент 10 Н*м)	падение с высоты собственного роста	наклон назад (момент 20 Н*м)	наклон вперед (момент 20 Н*м)
Th11-L2	12	35	36	58	49	104
Th10, L3	8	24	27	37	32	75

Таблица 36 – Максимальные значения эквивалентных напряжений в МПа в губчатой кости позвонков Th11-L2

Положение стоя		наклон назад (момент 10 Н*м)	наклон вперед (момент 10 Н*м)	падение с высоты собственного роста	наклон назад (момент 20 Н*м)	наклон вперед (момент 20 Н*м)
Th11-L2	0,36	1,37	1,5	0,61	5	4,4
Th10, L3	0,26	1,1	1,2	0,42	3,2	3,4

Из таблиц видно, что позвонки оказываются наиболее нагруженными при наклоне вперед и величине изгибающего момента 20 Н*м, а также при падении с высоты роста.

Были также рассмотрены «экстремальные» нагрузки, действующие на моделируемый сегмент позвоночника. Параметры прилагаемого усилия соответствуют таковым при кататравме и дорожно-транспортных происшествиях, приводящих к переломам позвоночника, согласно данным литературы [196, 201, 213, 251]. Экстремальные нагрузки моделируют падение с высоты [272], различные виды фронтальных столкновений и т. д. [196]. Подобные нагрузки достаточны для формирования переломов позвонков. В частности, исследовалась особенности формирования переломов позвонка L1 трех типов: А, В и С при сжимающих нагрузках, действующих вдоль оси позвоночника (Рисунок 77А), гиперэкстензии (Рисунок 77Б), а также сгибания в комбинации с ротацией вокруг оси позвоночного столба (Рисунок 77В).

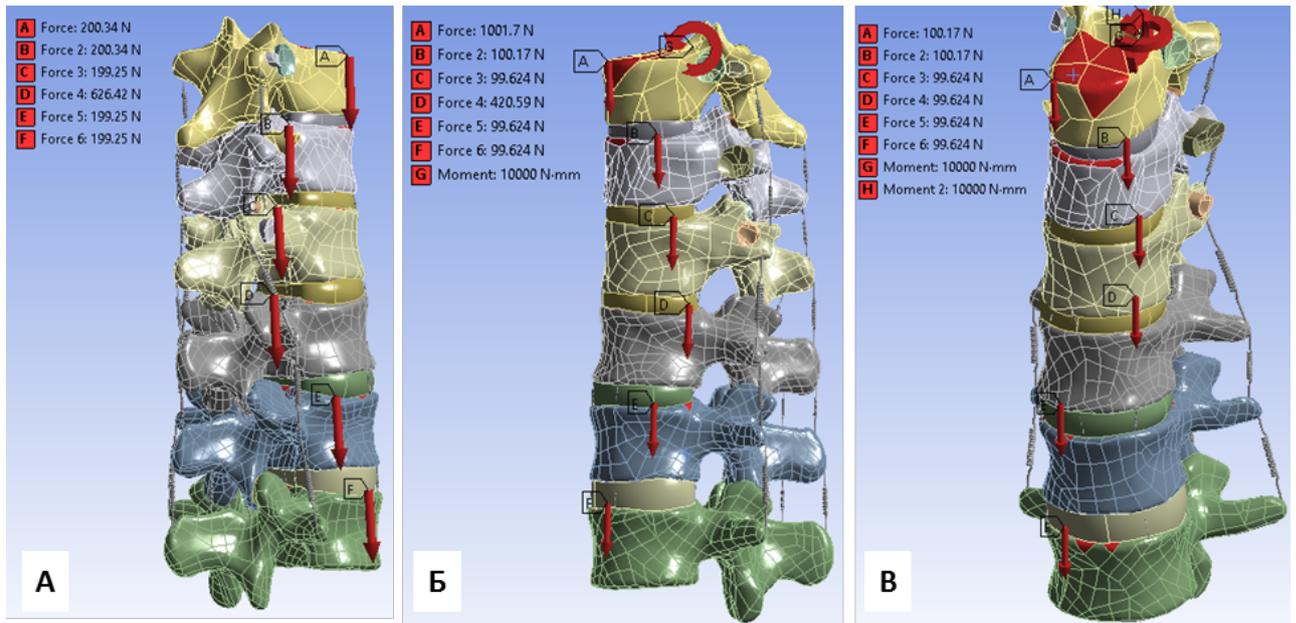


Рисунок 77 – Экстремальные нагрузки: А – сжимающая вдоль оси позвоночника; Б – гиперэкстензия; В – сгибание в комбинации с ротацией вокруг оси

Далее приведем поля эквивалентных напряжений в губчатой кости позвонков при экстремальных нагрузках (Рисунки 78–81).

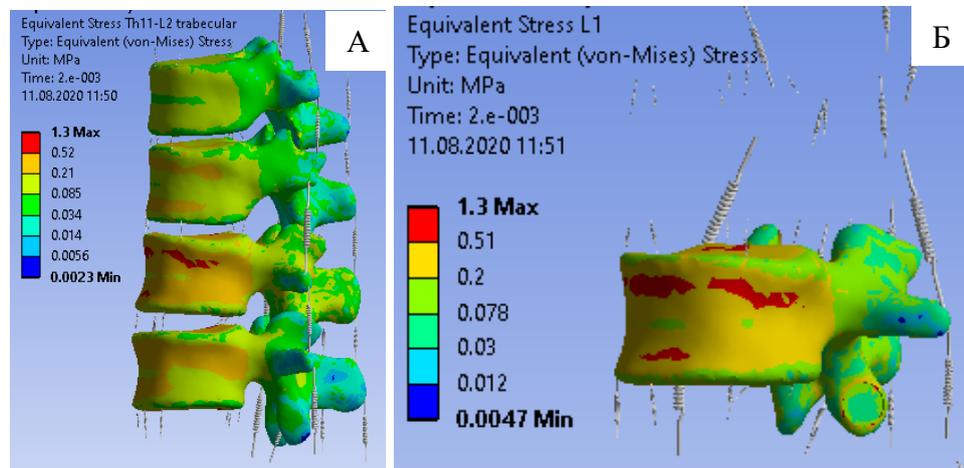


Рисунок 78 – Поле эквивалентных напряжений в губчатой кости при сжимающей нагрузке, направленной вдоль оси позвоночника: А – позвонки Th11-L2; Б – позвонок L1

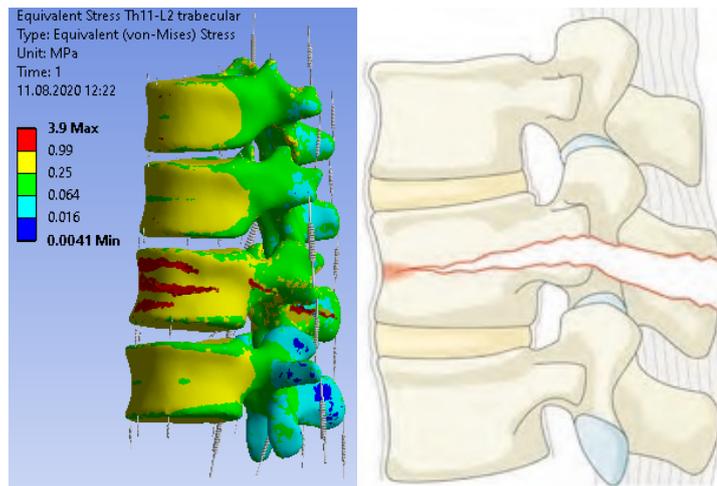


Рисунок 79 – Поле эквивалентных напряжений в губчатой кости при переломах типа Chance (позвонок L1 типа B)

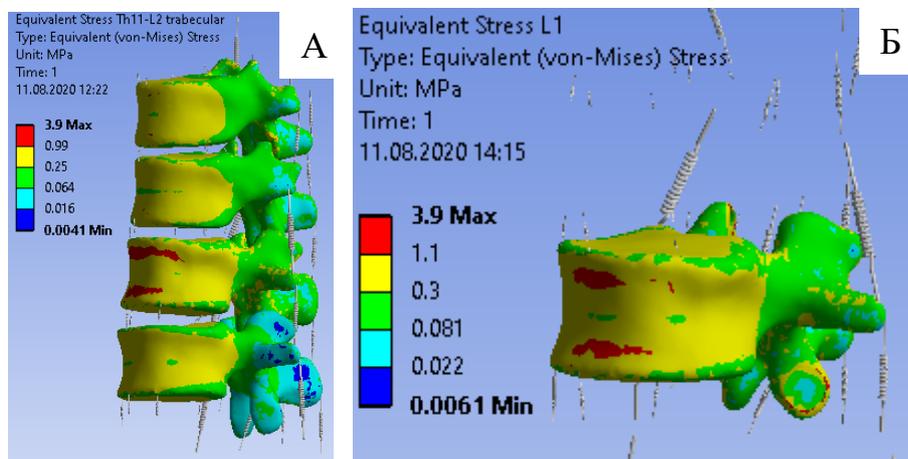


Рисунок 80 – Поле эквивалентных напряжений в губчатой кости при гиперэкстензии: А – позвонки Th11-L2; Б – позвонок L1

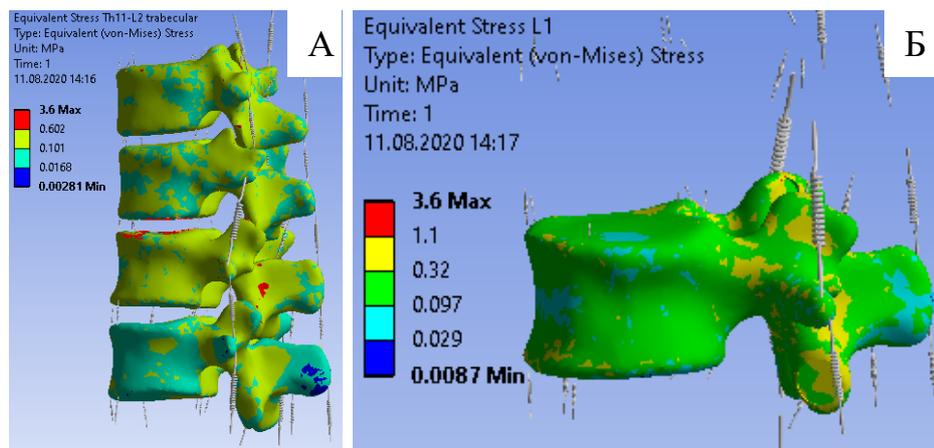


Рисунок 81 – Поле эквивалентных напряжений в губчатой кости при флексии в комбинации с поворотом вокруг оси: А – позвонки Th11-L2; Б – позвонок L1

Из Рисунков 78–81 и Таблицы 37 видно, что при экстремальных нагрузках наибольшие эквивалентные напряжения возникают в губчатом слое позвонка L1. Это может свидетельствовать о том, что позвонок L1 при рассмотренных нагрузках подвергается наибольшему риску повреждения и перелома по сравнению с другими рассмотренными позвонками. Данное наблюдение соответствует литературным сведениям о наибольшем распространении в структуре травмы позвоночника взрывных (A3, A4) переломов L1 позвонка – до 30% [306]. По данным, полученным при биомеханическом моделировании, уровень эквивалентных напряжений в губчатой кости позвонка L1 превышает уровень напряжений в других позвонках в 1,5 и более раз и может достигать 3,9 МПа.

Таблица 37 – Максимальные значения эквивалентных напряжений в МПа в губчатой кости позвонков Th11-L2 при «экстремальных» нагрузках

Положение стоя		наклон назад (момент 10 Н*м)	наклон вперед (момент 10 Н*м)	падение с высоты собственного роста	наклон назад (момент 20 Н*м)	наклон вперед (момент 20 Н*м)
Th11-L2	0,36	2,1	4,3	1,4	13	11,6
Th10, L3	0,26	1,8	1,9	1,0	5,4	6,1

4.2.3. Биомеханическое моделирование короткосегментарной транспедикулярной фиксацией, стандартной полисегментарной транспедикулярной фиксацией (8 винтов) и оптимизированной полисегментарной транспедикулярной фиксацией (6 винтов)

Было выполнено биомеханическое моделирование вариантов транспедикулярной вентральной и циркулярной фиксации. Твердотельная трехмерная модель груднопоясничного сегмента позвоночника Th12-L2 строилась на основе данных КТ пациента с компрессионно-оскольчатый переломом позвонка L1. Исходные снимки КТ имели разрешение 512 на 512 пикселей, толщина среза 0,5 мм. На КТ были представлены позвонки Th11, Th12, L1, L2, L3. Для обработки изображений и создания моделей позвонков использовался программный комплекс Mimics. На первом этапе для построения позвонков Th11, Th12, L1, L2, L3 костные

ткани позвонка (кортикальная и губчатая) отделялись друг от друга и преобразовывались в трехмерные модели. К каждому из создаваемых объектов применялась процедура сглаживания. В результате обработки КТ были построены твердотельные трехмерные модели кортикальной и губчатой тканей позвонков Th11, Th12, L1, L2, L3. Трехмерные модели имплантатов и металлофиксации были построены в программном пакете SolidWorks. В ранее построенные модели позвонков были размещены модели имплантатов и металлофиксации, в результате чего были получены модели:

- модели позвонков Th11 – L3 с поврежденным телом позвонка L1. Фиксация позвонков Th12 и L2 бисегментарной транспедикулярной конструкцией;
- модели позвонков Th11 – L3 с поврежденным телом позвонка L1. Билатеральное введение транспедикулярных винтов в позвонки Th11, Th12 и L2, L3;
- модели позвонков Th11 – L3 с поврежденным телом позвонка L1. Билатеральное введение транспедикулярных винтов в позвонки Th11, L3 и унилатеральное – в Th12 и L2 позвонки.

На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника. На Рисунке 82 представлены рентгенограммы пациентов, КТ которых использовано при моделировании. Полученные твердотельные модели инструментированного позвоночника представлены на Рисунке 83.

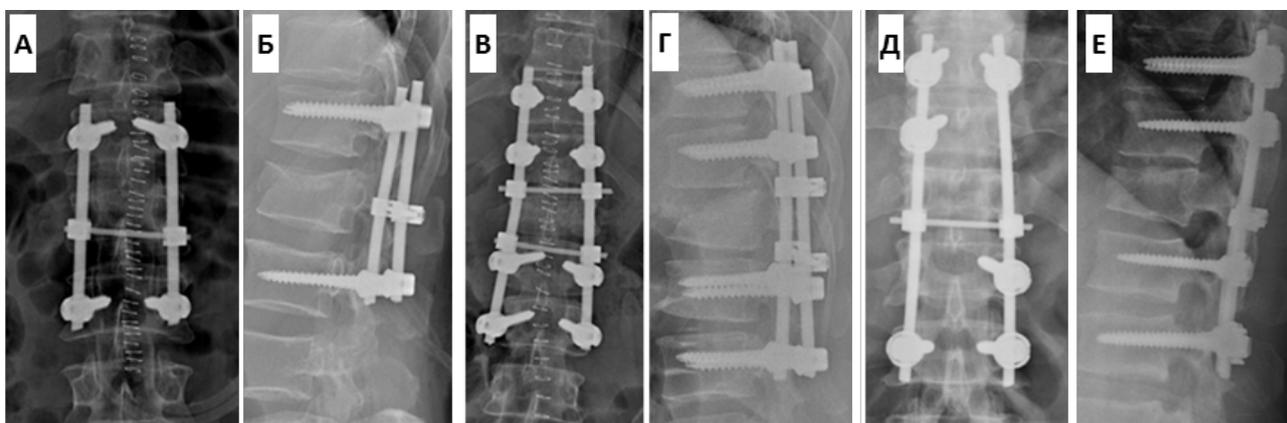


Рисунок 82 – Бисегментарная (А, Б) и варианты полисегментарной ТПФ с применением 8 винтов (В, Г) и 6 винтов (Д, Е), послужившие исходным материалом при биомеханическом моделировании

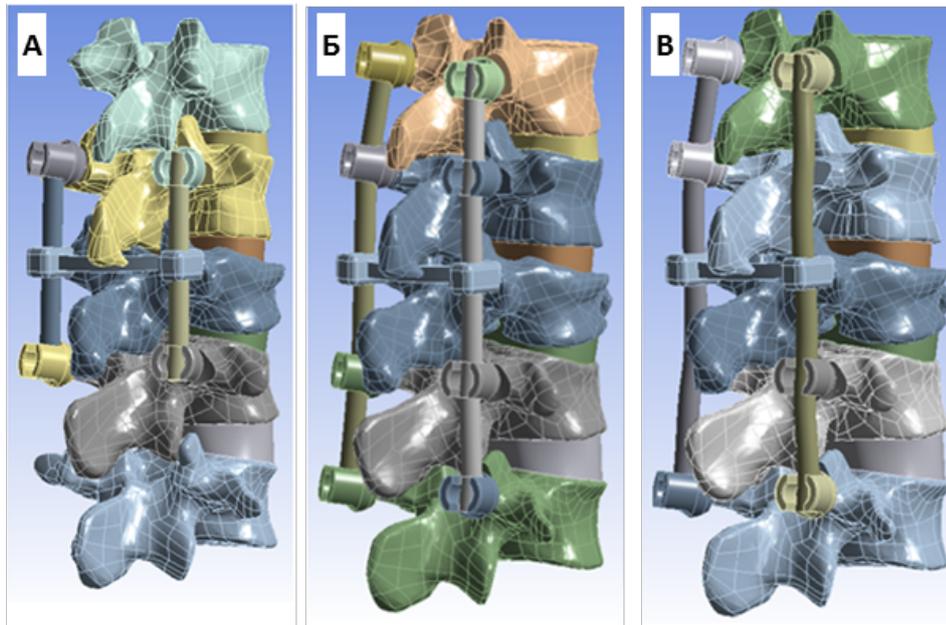


Рисунок 83 – Твёрдые модели инструментированного позвоночника.
 А – бисегментарная ТПФ, Б – полисегментарная ТПФ с применением 8 винтов,
 В – полисегментарная ТПФ с применением 6 винтов

Моделировались несколько нагружений рассматриваемого сегмента позвоночника: сгибание, поворот, рагибание, наклон вправо, наклон влево. Сегмент позвоночника нагружался осевой силой 700 Н и различными моментами величиной 7,5 Н*м.

На Рисунках 84 и 85 сведены напряжения в винтах и позвонках. В каждом из рассмотренных случаев напряжения не превышали критических значений, одновременно способных разрушить материалы позвонков и фиксаторов, однако при большом количестве циклов с большей вероятностью дестабилизируется перегруженная бисегментарная система.

На Рисунке 86 представлены перемещения в системах позвоночник – МК. Твёрдые модели систем фиксации представлены на Рисунке 87. 6-винтовая и 8-винтовая варианты фиксации оказались наиболее удачными вариантами. Распределение напряжений в фиксирующих системах и позвоночнике при сгибании представлены на Рисунках 88 и 89.

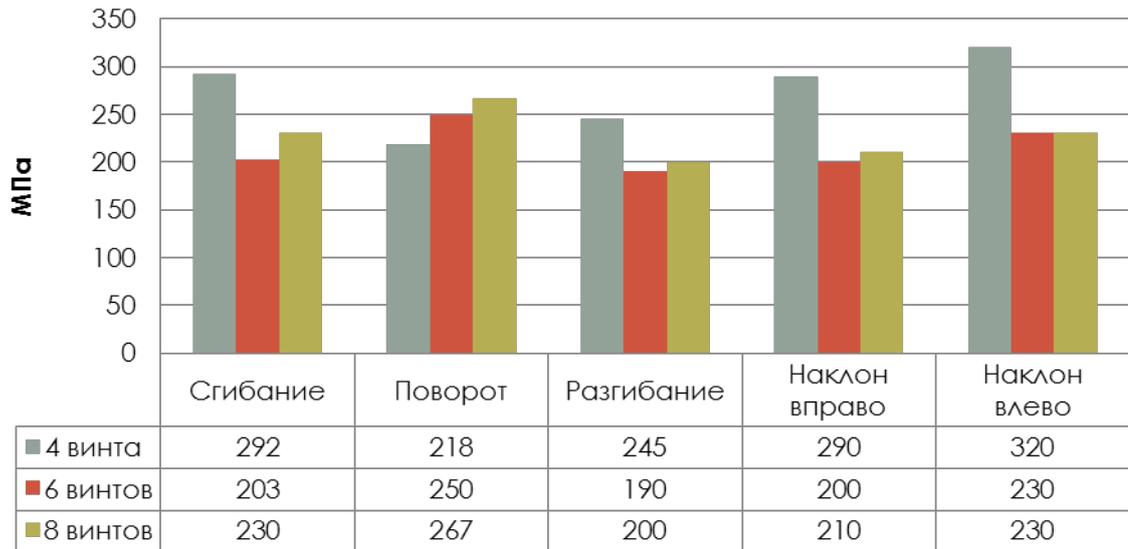


Рисунок 84 – Максимальные эффективные напряжения в МК, МПа

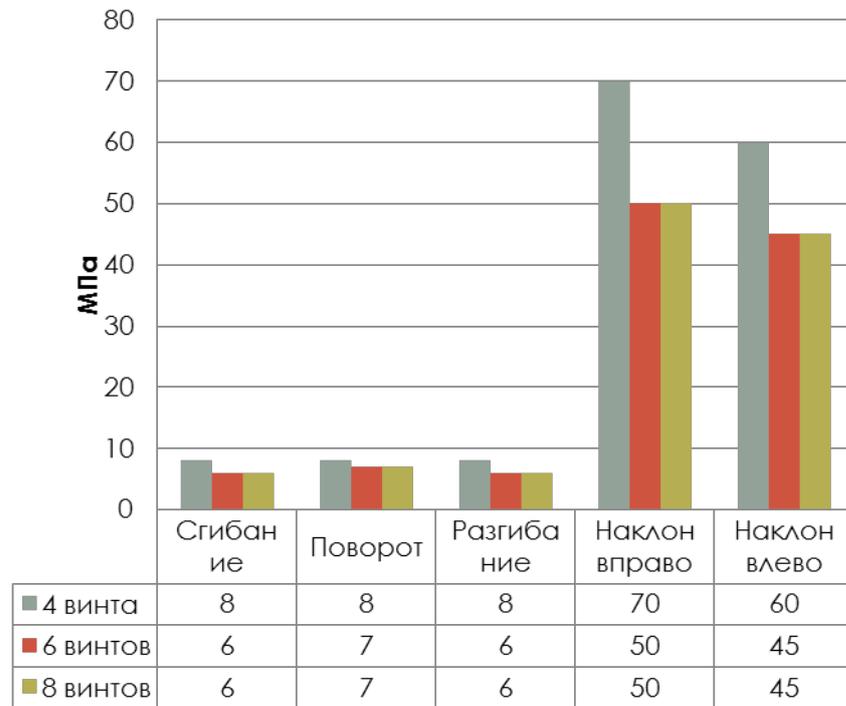


Рисунок 85 – Максимальные напряжения в позвонках, МПа

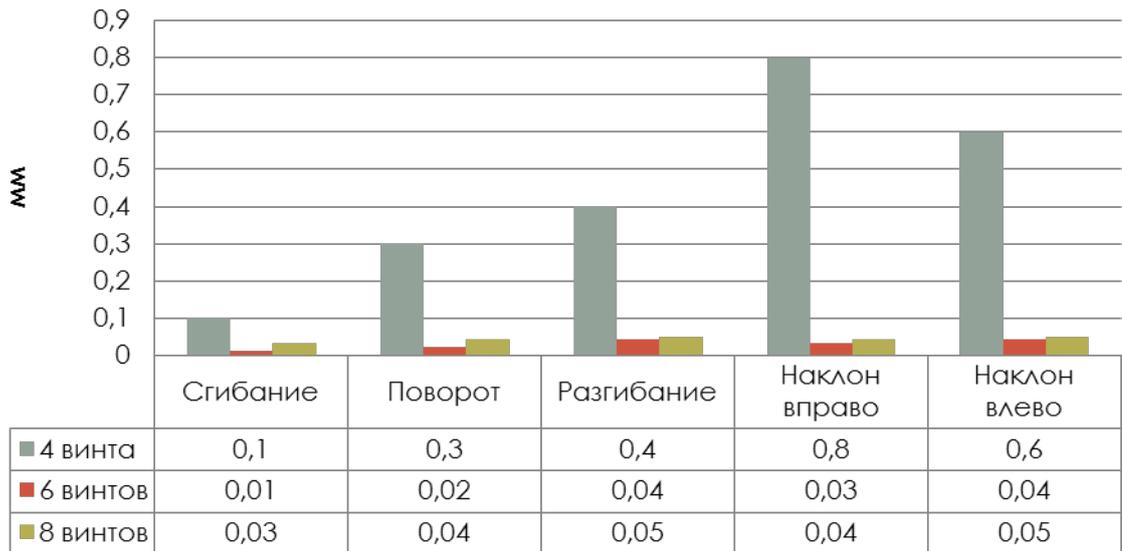


Рисунок 86 – Значения перемещений в системе позвоночник – МК (мм)

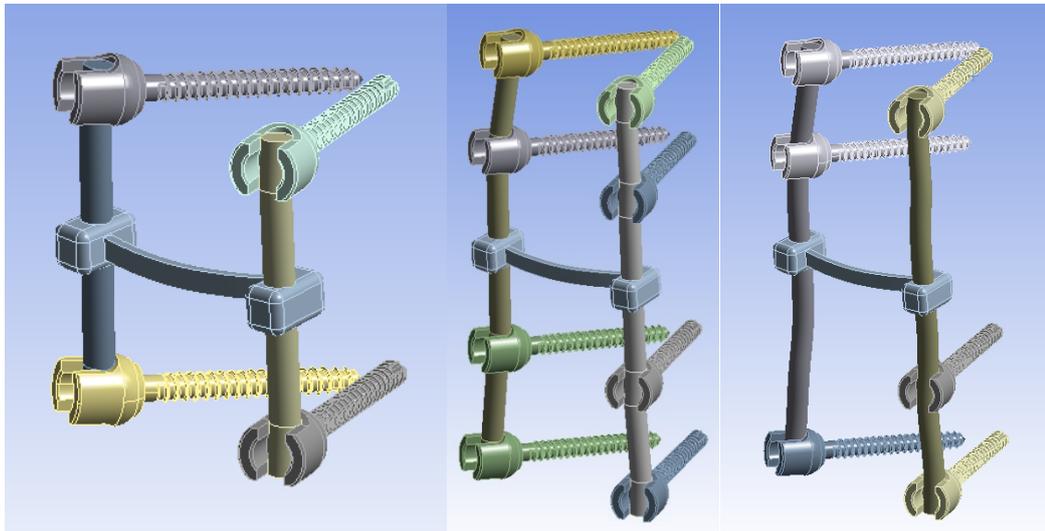


Рисунок 87 – Модели транспедикулярных систем

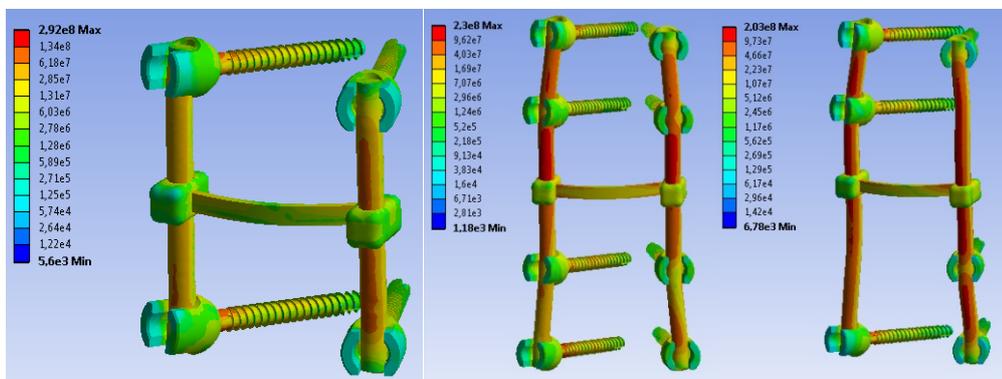


Рисунок 88 – Напряжения в транспедикулярных системах при сгибании

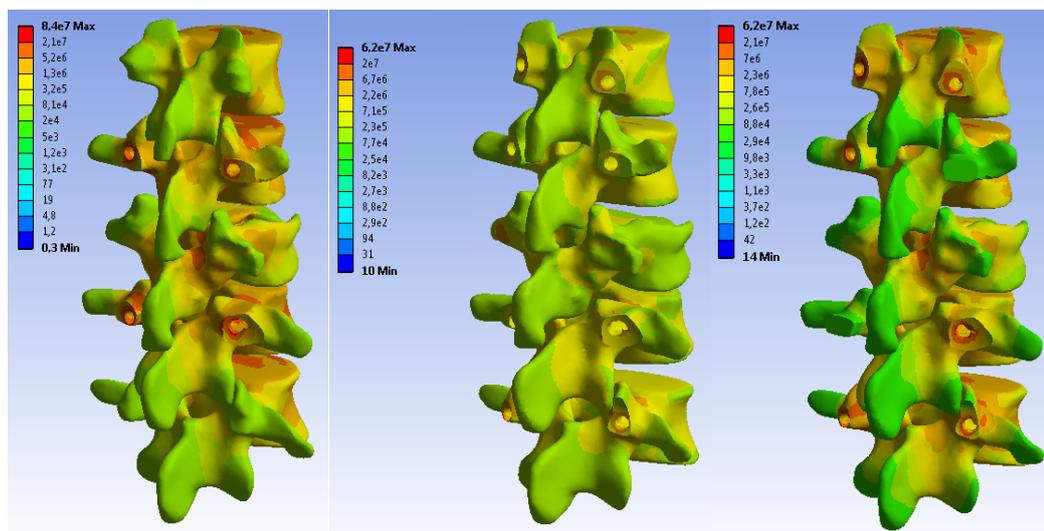


Рисунок 89 – Напряжения в позвоночнике при сгибании

Таким образом, при повреждениях типа А3 и А4, локализованных на уровне переходного грудопоясничного отдела позвоночника, предпочтительнее применение полисегментарной фиксации (6 или 8 винтов) с позиции распределения напряжений в фиксирующих системах и позвоночнике при различных нагрузках по данным биомеханического моделирования и, соответственно, меньшего риска развития нестабильности МК.

4.2.4. Биомеханическое моделирование короткосегментарной «транспедикулярной фиксации, дополненной промежуточным винтом» и стандартной короткосегментарной транспедикулярной фиксации

На основе данных КТ были построены твердотельные трехмерные модели переходного грудопоясничного отдела позвоночника. В построенные модели были размещены модели имплантатов и металлофиксаций:

- модели позвонков Th11 – L1 с нерезецированным телом Th12 позвонка, инструментирование позвонков Th11 и L1 4 винтами;
- модели позвонков Th11 – L1 с нерезецированным телом Th12 позвонка, инструментирование позвонков Th11 и L1 4 винтами, дополнительный винт в Th12 слева;

- модели позвонков Th11 – L1 с частично резецированным телом Th12 позвонка, инструментирование позвонков Th11 и L1 4 винтами, установка кейджа типа «MESH»;
- модели позвонков Th11 – L1 с частично резецированным телом Th12 позвонка, инструментирование позвонков Th11 и L1 4 винтами, дополнительный винт в Th12 слева, установка кейджа типа «MESH».

На Рисунке 90 представлены примеры рентгенограмм пациентов, КТ которых использовано при моделировании.

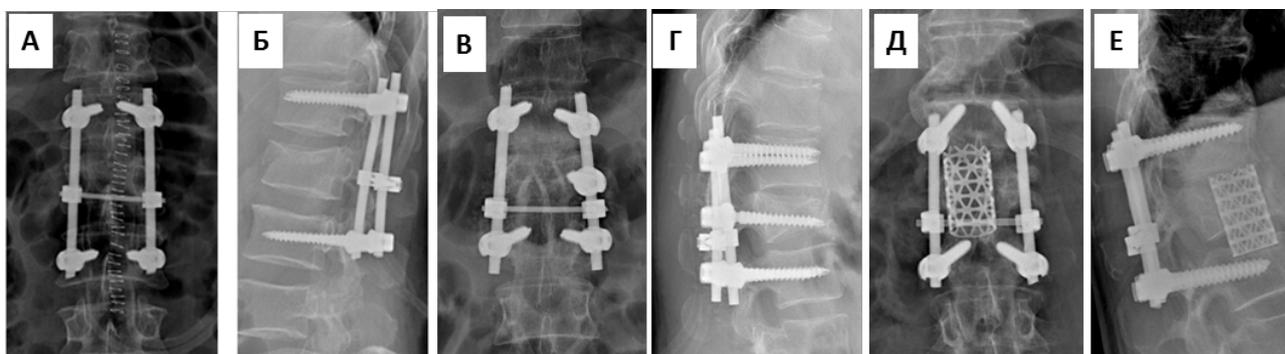


Рисунок 90 – Рентгенограммы пациентов, послужившие исходным материалом при биомеханическом моделировании: бисегментарная стандартная ТПФ (А, Б); вариант короткосегментарной транспедикулярной системы с дополнительным «промежуточным» транспедикулярным винтом, установленным в поврежденный позвонок (В, С); бисегментарная стандартная ТПФ с установкой кейджа типа «MESH» (Д, Е)

Трехмерные модели сегмента позвоночника с установленными имплантатами представлены на Рисунке 91 и Рисунке 92.

Модель позвоночника нагружалась осевой силой 300 Н и различными моментами величиной 7,5 Н*м. Все материалы считались идеально упругими, изотропными. В результате моделирования были рассчитаны поля напряжений и перемещений, визуализация которых представлена на рисунках ниже (Рисунки 93–98). Приведены поля распределения перемещений и напряжений для случая комбинированной нагрузки «компрессионная сила – изгибающий момент (наклон вперед)». Для остальных типов комбинированной нагрузки (во всех случаях прикладывалась компрессионная сила, к которой добавлялись изгибающие

моменты назад, влево, вправо, а также скручивающий момент) картины распределения напряжений и перемещений имели схожий вид.

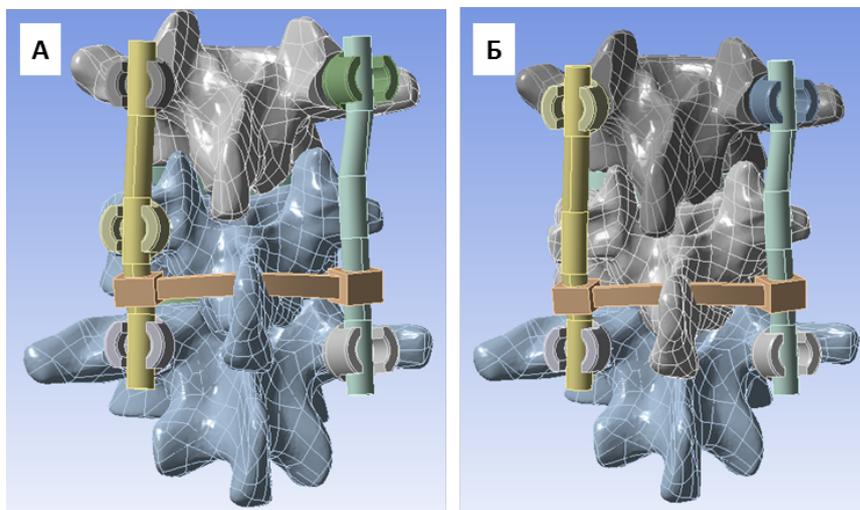


Рисунок 91 – Трехмерные модели сегмента позвоночника с установленными имплантатами

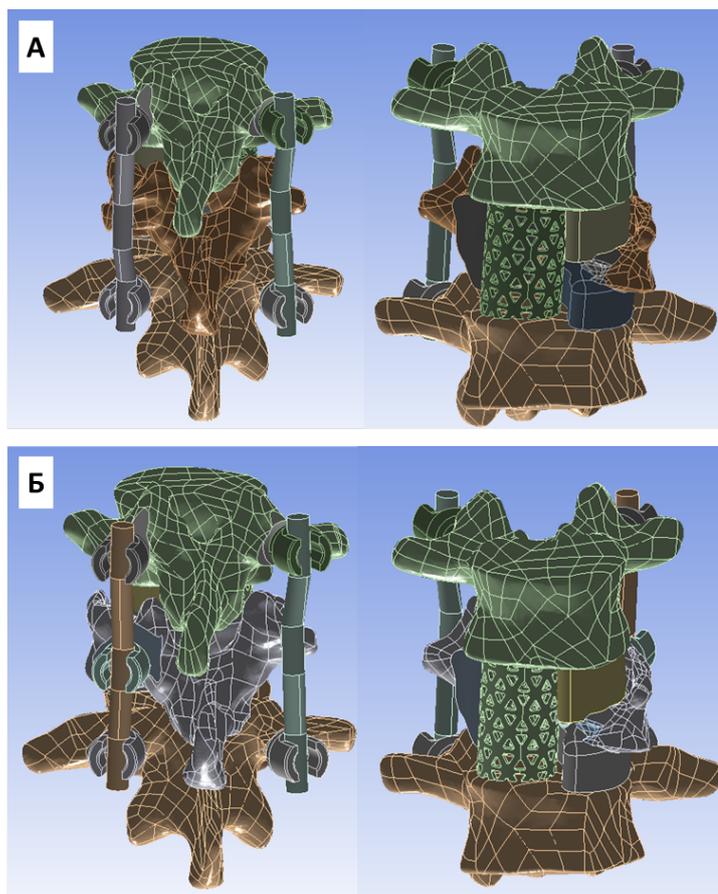


Рисунок 92 – Трехмерные модели сегмента позвоночника с установленными имплантатами (вариант с резецированными позвонками)

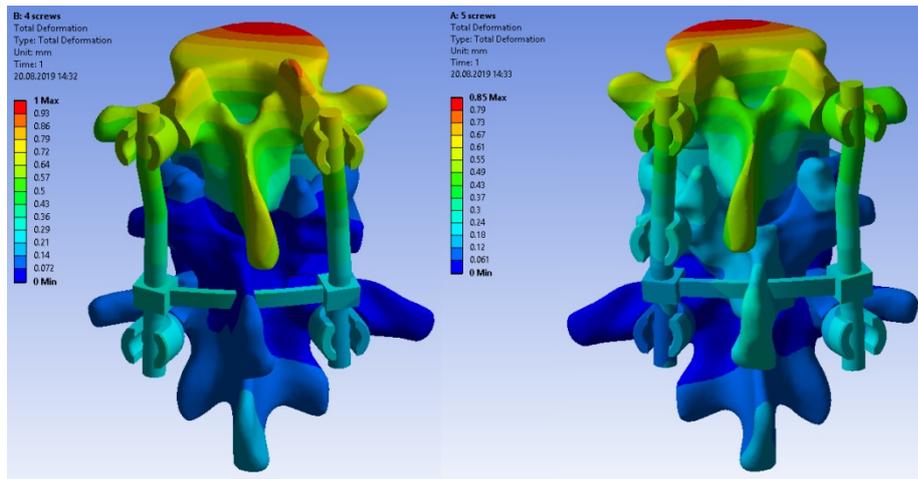


Рисунок 93 – Поля перемещений в моделях с 4 винтами без резекции позвонков (слева) и с 5 винтами без резекции позвонков (справа)

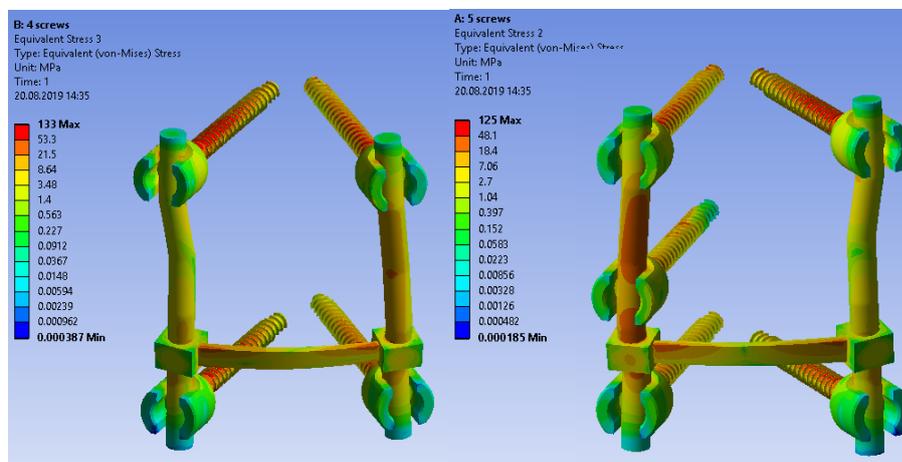


Рисунок 94 – Поля эквивалентных напряжений в имплантатах в моделях с 4 винтами без резекции позвонков (слева) и с 5 винтами без резекции позвонков (справа)

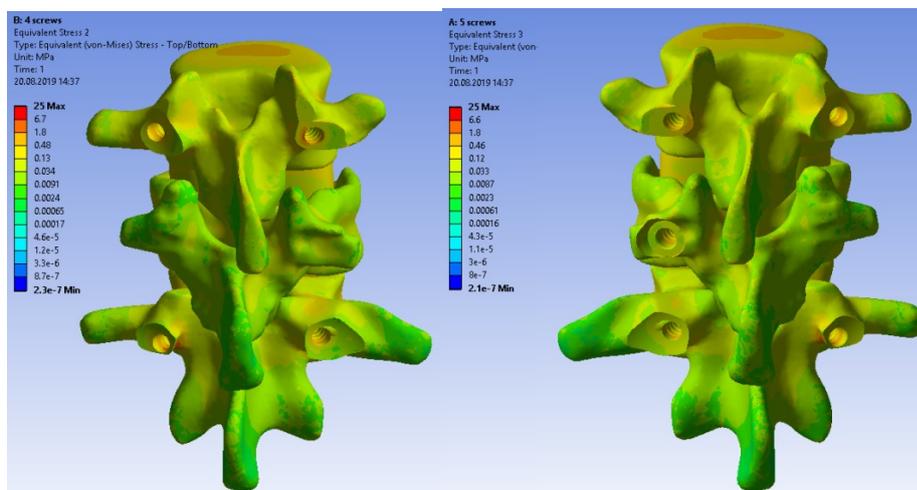


Рисунок 95 – Поля эквивалентных напряжений в твердых и мягких тканях в моделях с 4 винтами без резекции позвонков (слева) и с 5 винтами без резекции позвонков (справа)

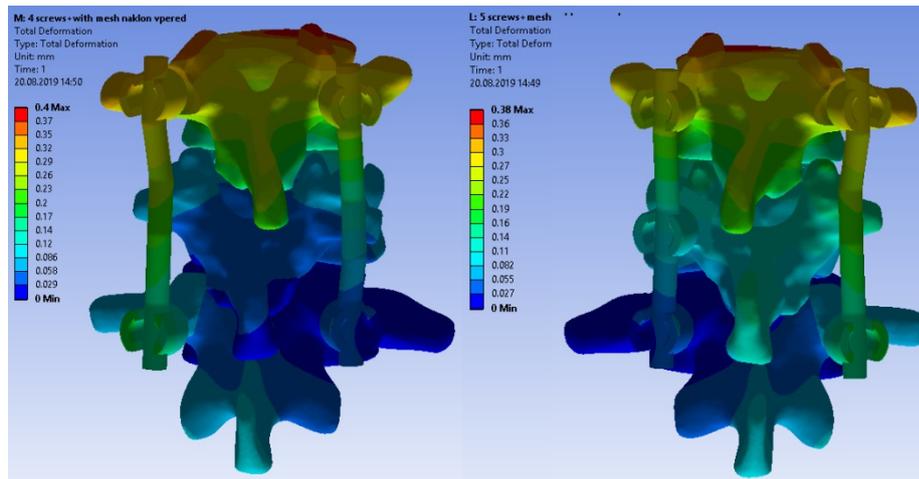


Рисунок 96 – Поля перемещений в моделях с 4 винтами и кейджем (слева) и с 5 винтами и кейджем (справа)

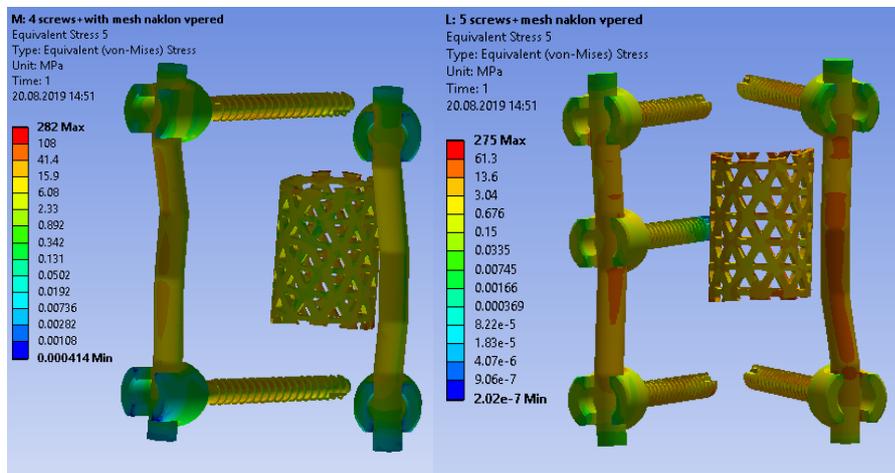


Рисунок 97 – Поля эквивалентных напряжений в имплантатах в моделях с 4 винтами и кейджем (слева) и с 5 винтами и кейджем (справа)

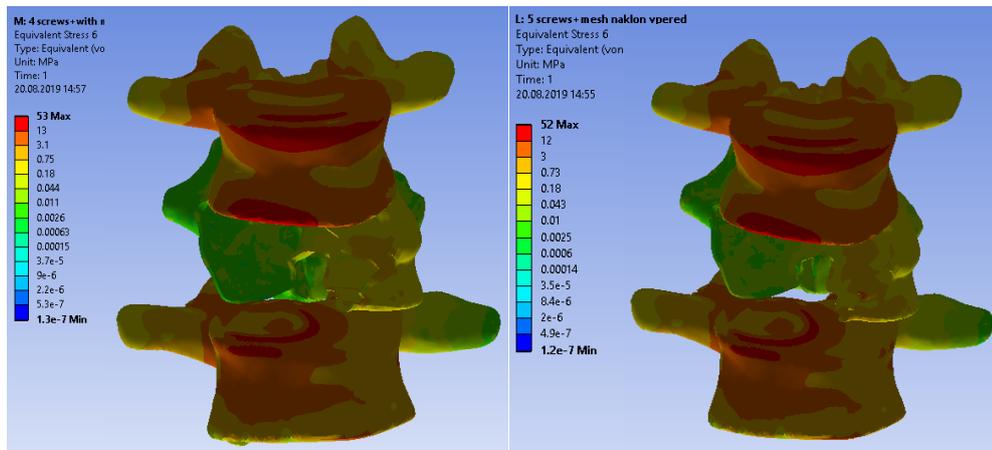


Рисунок 98 – Поля эквивалентных напряжений в твердых и мягких тканях в моделях с 4 винтами и кейджем (слева) и с 5 винтами и кейджем (справа)

Результаты расчетов для всех вариантов нагружения и систем фиксации были сведены в Таблицы 38–40.

Таблица 38 – Максимальные перемещения в моделях (мм)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ 4 винта	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6
ТПФ 5 винтов	0,9	0,9	0,7	0,7	0,6
ТПФ 4 винта, кейдж	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4
ТПФ 5 винтов, кейдж	0,4	0,3	0,5	0,6	0,4

Таблица 39 – Максимальные напряжения в транспедикулярной конструкции (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ 4 винта	133	330	150	200	170
ТПФ 5 винтов	125	300	140	190	180
ТПФ 4 винта, кейдж	282	161	280	220	320
ТПФ 5 винтов, кейдж	275	158	240	210	280

Таблица 40 – Максимальные напряжения в костных структурах (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ 4 винта	25	21	31	30	24
ТПФ 5 винтов	25	21	33	28	26
ТПФ 4 винта, кейдж	53	28	53	39	55
ТПФ 5 винтов, кейдж	51	27	37	37	52

Таким образом, вариант с установкой 5 винтов более предпочтителен по сравнению с 4-винтовой фиксацией. Стабильность у обоих вариантов высокая и практически одинаковая. 5-винтовой вариант более предпочтителен с точки зрения возникающих внутренних усилий (эквивалентных напряжений) в позвонках: для 5-винтовой конфигурации они были ниже, чем для 4-винтовой во всех вариантах нагружения.

4.2.5. Биомеханическое моделирование короткосегментарной транспедикулярной фиксации без промежуточных винтов, с двумя (стандартная методика) и одним промежуточным винтом (модифицированная методика)

Было выполнено биомеханическое моделирование трех вариантов транспедикулярной фиксации:

- фиксация в сегментах Th12 - L2. Транспедикулярная система с 4 винтами, введенными в смежные с поврежденным позвонки (Рисунок 99 А, Б);
- фиксация в сегментах Th12 - L2. Транспедикулярная система с 4 винтами, введенными в смежные с поврежденными позвонки и дополненная одним «промежуточным» транспедикулярным винтом, введенными в поврежденный позвонок (Рисунок 99 В, Г);
- фиксация в сегментах Th12 - L2. Транспедикулярная система с 4 винтами, введенными в смежные с поврежденными позвонки и дополненная двумя «промежуточными» транспедикулярными винтами, введенными в поврежденный позвонок (Рисунок 99 Д, Е).

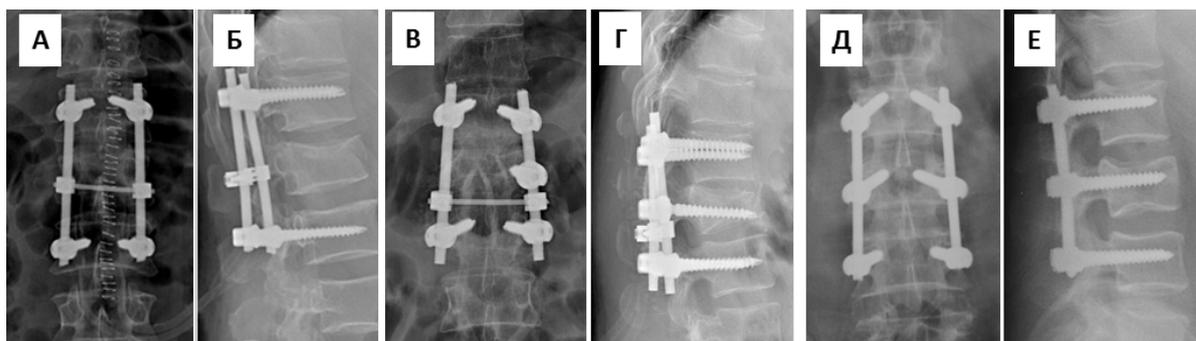


Рисунок 99 – Бисегментарная стандартная ТПФ без промежуточных винтов (А, Б), с дополнительным одним «промежуточным» транспедикулярным винтом (В, Г) и двумя «промежуточными» винтами (Д, Е)

На Рисунках 100 и 101 представлены трехмерные модели фиксирующих систем и сегмента позвоночника без дополнительных винтов, с одним и двумя

«промежуточными» винтами. Результаты моделирования для расчета полей напряжений и перемещений представлены на Рисунках 102–104.

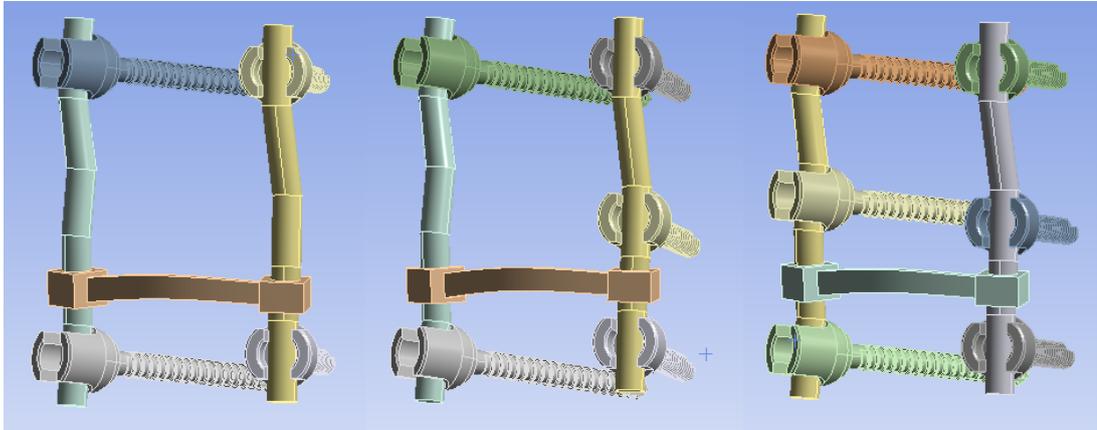


Рисунок 100 – Трехмерные модели сегмента позвоночника без промежуточных винтов, с 1 винтом и двумя «промежуточными» винтами (слева направо)

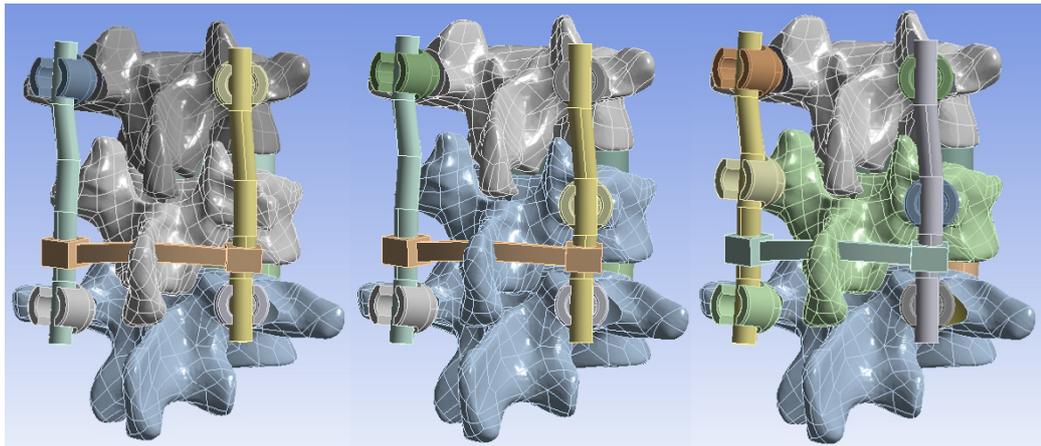


Рисунок 101 – Модели сегментов позвоночника с установленными фиксаторами без промежуточных винтов, с 1 винтом и двумя «промежуточными» винтами (слева направо)

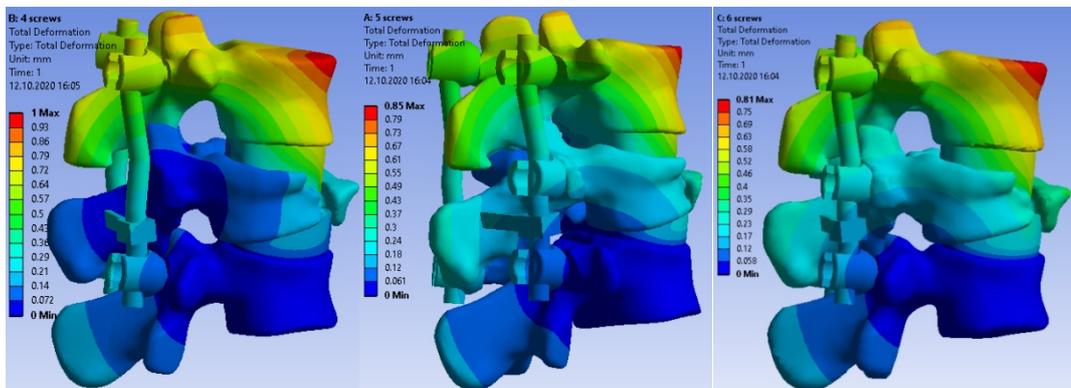


Рисунок 102 – Перемещения в модели при наклоне вперед без промежуточных винтов, с 1 винтом и двумя «промежуточными» винтами (слева направо)

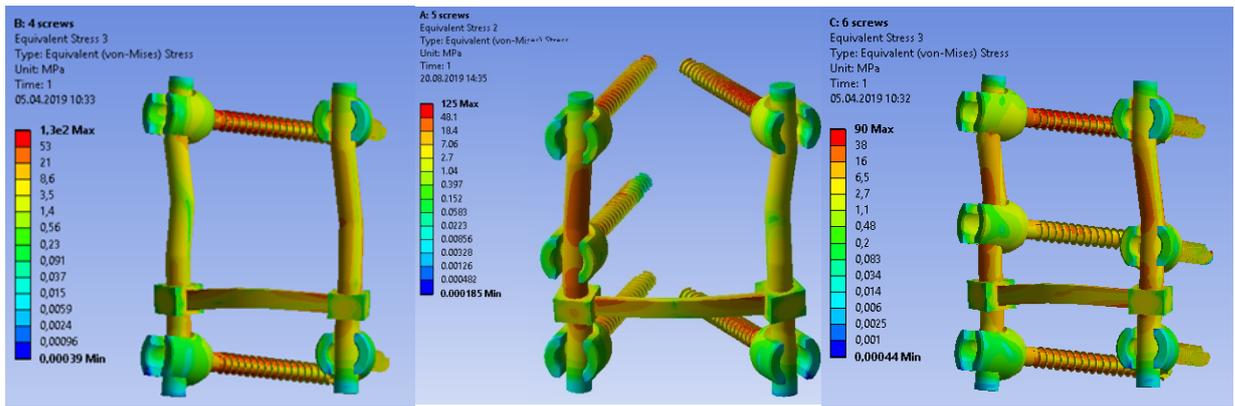


Рисунок 103 – Поля эквивалентных напряжений в имплантатах при наклоне вперед в моделях без промежуточных винтов, с 1 винтом и двумя «промежуточными» винтами (слева направо)

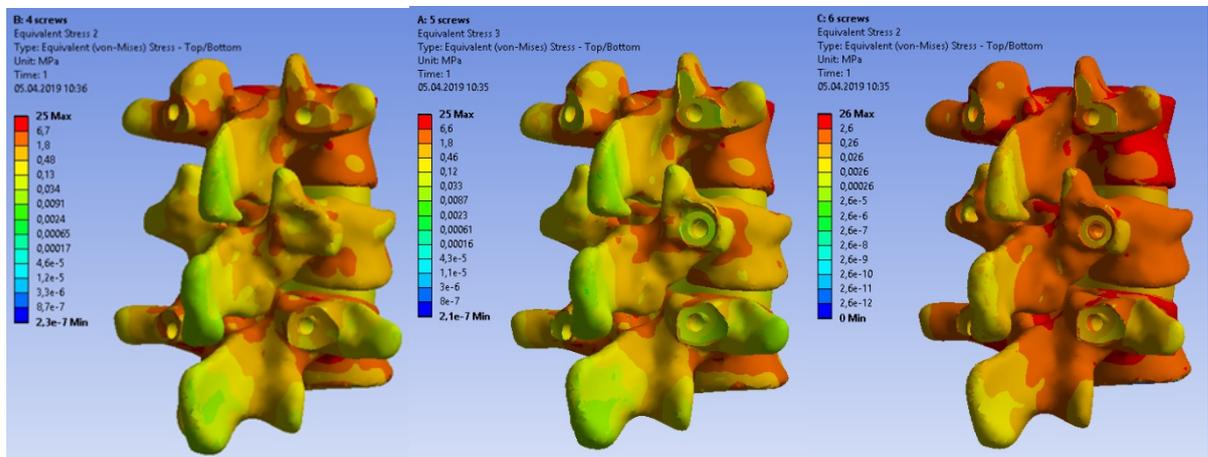


Рисунок 104 – Поля эквивалентных напряжений в твердых и мягких тканях при наклоне вперед в моделях без промежуточных винтов, с 1 винтом и двумя «промежуточными» винтами (слева направо)

Результаты расчетов для всех вариантов нагружения и систем фиксации были сведены в Таблицы 41–43. В таблицы сведены напряжения в винтах и позвонках. В каждом из рассмотренных случаев напряжения не превышали критических значений, которые могут разрушить материалы позвонков и фиксаторов. Однако, чем меньше напряжения, тем лучше. Стабильность фиксации в этих трех случаях оказалась высокой, поэтому значения перемещений и диапазоны движений вносить в таблицу не стали, так как они практически идентичны для всех рассмотренных вариантов фиксации. 5-винтовая и 6-винтовая варианты фиксации оказались наиболее удачными вариантами.

Таблица 41 – Максимальные перемещения в моделях (мм)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6
ТПФ 1 промежуточный винт	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6
ТПФ 2 промежуточных винта	0,9	0,9	0,7	0,7	0,6

Таблица 42 – Максимальные напряжения в транспедикулярной конструкции (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	133	330	150	200	170
ТПФ 1 промежуточный винт	130	300	150	200	170
ТПФ 2 промежуточных винта	190	250	140	190	180

Таблица 43 – Максимальные напряжения в костных структурах (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	25	21	31	30	24
ТПФ 1 промежуточный винт	25	21	31	30	24
ТПФ 2 промежуточных винта	26	31	33	28	26

С точки зрения биомеханики 5-винтовая система фиксации наиболее рациональна. При этом стабильность 5-винтовой фиксации аналогична 6-винтовой фиксации. 4-винтовая фиксации менее стабильна, чем 5- и 6-винтовая. При 6-винтовой фиксации имплантаты менее нагружены, чем при 4- и 5-винтовой. Но позвонки менее нагружены при 5- и 4-винтовой, нежели при 6-винтовой конструкции.

Таким образом, стабильность у 5- и 6-винтовой фиксации высокая и практически одинаковая. Из этого можно сделать вывод, что для обеспечения положительного эффекта промежуточной транспедикулярной фиксации достаточно унилатерального введения винта в поврежденный позвонок. При этом появляется возможность резекции тела поврежденного позвонка и выполнения опорного корпородеза без перемонтажа транспедикулярной системы.

4.2.6. Биомеханическое моделирование эксцентрического позиционирования имплантатов типа MESH по сравнению со стандартной методикой

С позиции биомеханики рассмотрено эксцентрическое расположение имплантата MESH при выполнении вентрального спондилосинтеза в объеме резекции поврежденного позвонка, коррекции и фиксации винтовой конструкцией типа Antares и корпородеза MESH.

Провели биомеханическое моделирование при компрессионно-оскольчатом переломе позвонка L1 (Рисунок 105) для выбора оптимальной тактики хирургического лечения:

- резекция тела L1 позвонка. Фиксация позвонков Th12 и L2 бисегментарной вентральной конструкцией, корпородез MESH. Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2;
- резекция тела L1 позвонка. Фиксация позвонков Th12 и L2 бисегментарной вентральной конструкцией, корпородез MESH. Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2.



Рисунок 105 – КТ при компрессионно-оскольчатом переломе позвонка L1. Срезы в трех плоскостях: А – фронтальная, Б – сагиттальная, В – аксиальная

На Рисунке 106 представлены твердотельные трехмерные модели позвонков.

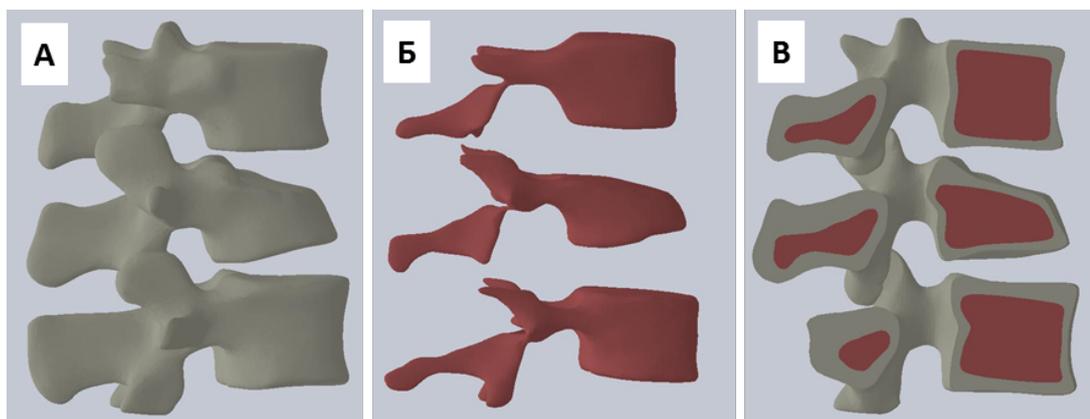


Рисунок 106 – Трехмерные модели позвонков: А – кортикальная ткань позвонков, Б – губчатая ткань позвонков, В – кортикальная и губчатая ткани позвонков в сборке

В системе SolidWorks были построены трехмерные модели имплантатов и металлофиксаций. В ранее построенные модели позвонков были размещены модели имплантатов и металлофиксаций, в результате чего были получены модели:

- модели позвонков Th12 - L2 с резецированным телом позвонка L1. Фиксация позвонков Th12 и L2 бисегментарной вентральной конструкцией, корпородез MESH. Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2 (Рисунок 107А);
- модели позвонков Th12 - L2 с резецированным телом позвонка L1. Фиксация позвонков Th12 и L2 бисегментарной вентральной конструкцией, корпородез MESH. Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2 (Рисунок 107Б).

С использованием построенных трехмерных моделей сегмента грудно-поясничного отдела позвоночника с имплантатами и металлофиксациями созданы биомеханические модели. Проведены расчеты биомеханических моделей под действием осевой нагрузки, а также изгибающих и скручивающих моментов. Из-за сложности геометрии моделей создавалась нерегулярная тетраэдрическая сетка. Были проанализированы значения перемещения позвонков и напряжения, возникающие в имплантатах, металлофиксациях и тканях позвонков. Максимальные перемещения для двух

вариантов хирургического реконструктивного вмешательства не превысили 1 мм. В Таблице 44 представлены максимальные значения перемещений.

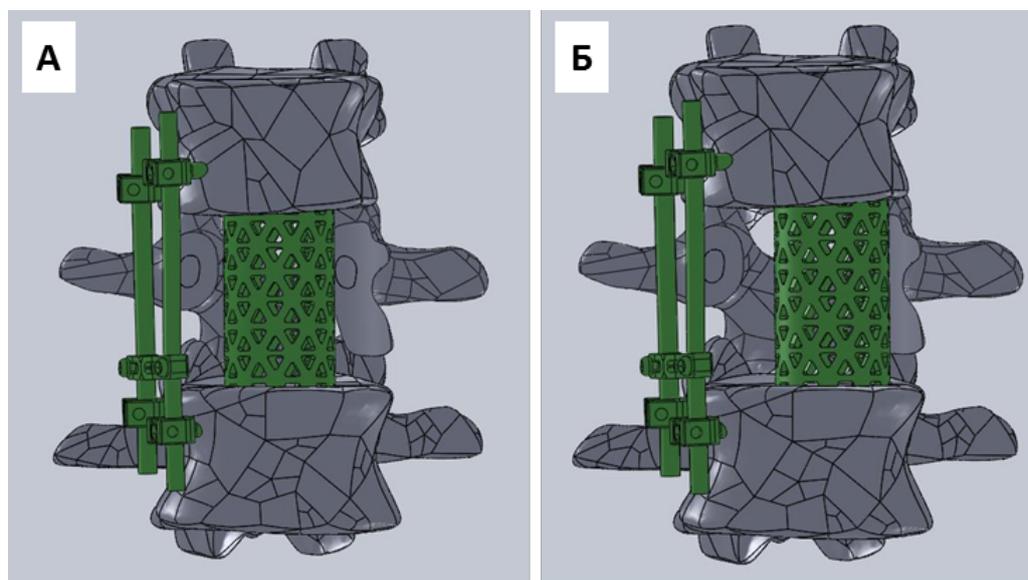


Рисунок 107 – Модель позвонков Th12, L1, L2 с фиксацией позвонков Th12 и L2 бисегментарной вентральной конструкцией, корпородез MESH. А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2. Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

Таблица 44 – Максимальные значения перемещений (мм)

Прикладываемая нагрузка	Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков	Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков
Осевая нагрузка	0,1	0,1
Сгибание	0,3	0,3
Разгибание	0,5	0,4
Наклон влево	0,2	0,1
Наклон вправо	0,2	0,2
Поворот против часовой стрелки	0,5	0,6
Поворот по часовой стрелке	0,3	0,5

На Рисунке 108 представлены поля перемещений в обеих моделях для рассмотренных вариантов хирургического лечения при разгибании. Поля перемещений для других вариантов нагрузок выглядят аналогичным образом.

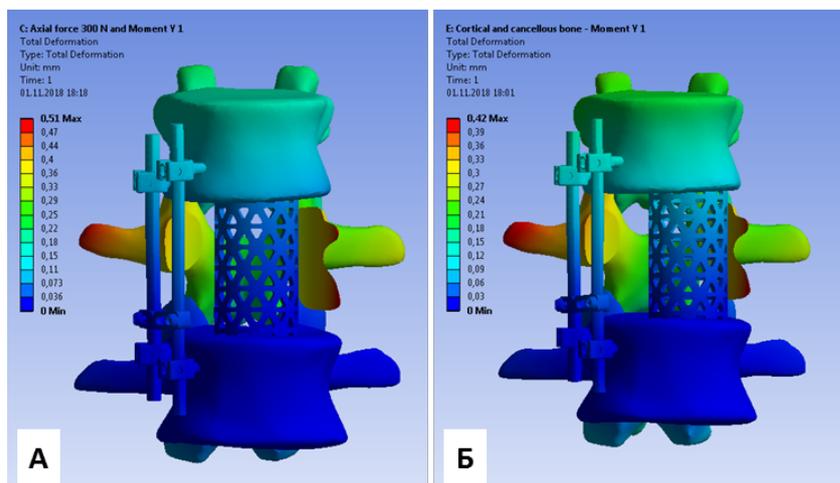


Рисунок 108 – Поля полных перемещений для двух моделей при разгибании:
 А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2;
 Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

Анализ напряженно-деформированного состояния имплантатов проводится для определения значения максимумов напряжений в вентральной конструкции и кейдже и сравнения их с пределом прочности. Имплантаты и металлофиксаторы изготовлены из титанового сплава, предел текучести которого составляет 550 МПа. В Таблицах 45 и 46 представлены максимальные значения напряжений для вентральной конструкции и кейджа.

Таблица 45 – Максимальные значения напряжений в вентральной конструкции, МПа

Прикладываемая нагрузка	Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков	Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков
Осевая нагрузка	17	28
Сгибание	68	79
Разгибание	45	37
Наклон влево	54	37
Наклон вправо	87	90
Поворот против часовой стрелки	54	73
Поворот по часовой стрелке	60	87

Максимальное значение напряжения для кейджа составило 467 МПа, для вентральной конструкции – 90 МПа, что ниже значения предела текучести для данного материала. На Рисунке 109 и Рисунке 110 представлены распределения значений поля напряжений в моделях для рассмотренных вариантов хирургического лечения при разгибании.

Таблица 46 – Максимальные значения напряжений в кейдже, МПа

Прикладываемая нагрузка	Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков	Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков
Осевая нагрузка	173	179
Сгибание	49	44
Разгибание	277	467
Наклон влево	140	186
Наклон вправо	201	169
Поворот против часовой стрелки	103	317
Поворот по часовой стрелке	198	130

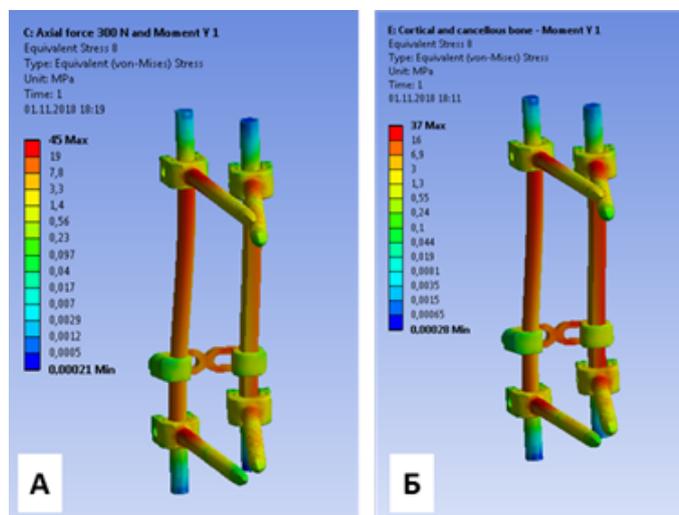


Рисунок 109 – Поля напряжений для вентральной конструкции в случае разгибания: А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2; Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

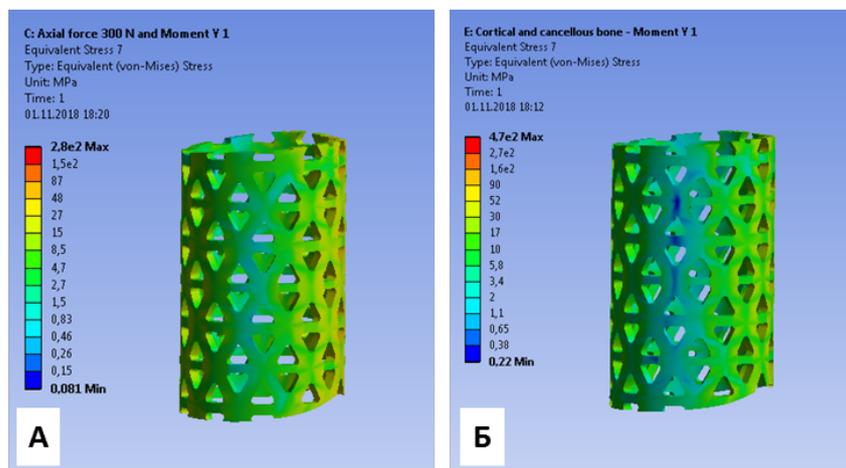


Рисунок 110 – Поля напряжений для вентральной конструкции в случае разгибания: А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2; Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

При анализе значений напряжения двух вариантов реконструктивного хирургического лечения сегмента позвоночника Th12-L2 будут рассматриваться ткани позвонков, а именно кортикальная и губчатая ткани. В Таблицах 47, 48 и на Рисунках 111 и 112 представлены максимальные значения напряжений для кортикальной и губчатой тканей позвонков Th12 и L2.

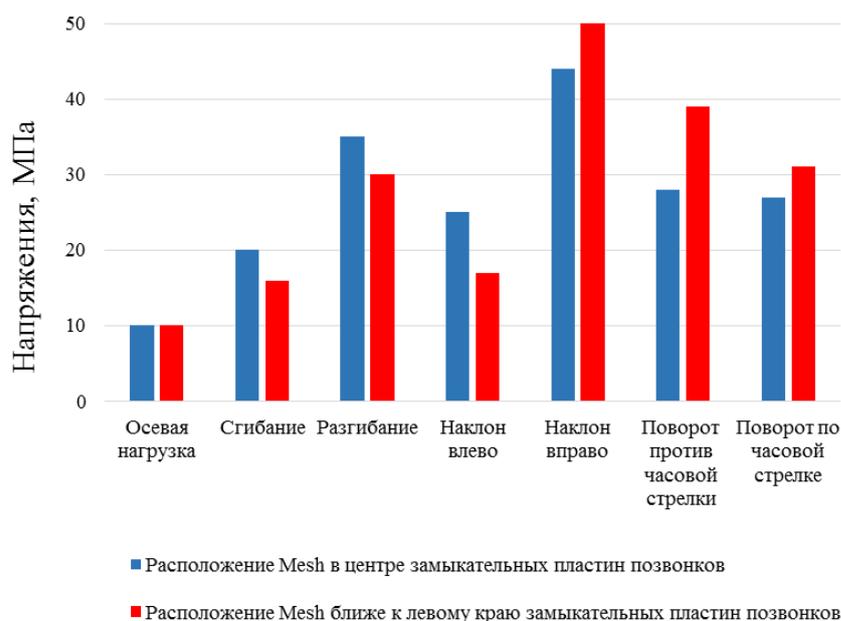


Рисунок 111 – Максимальные значения напряжений в кортикальной ткани позвонков, МПа

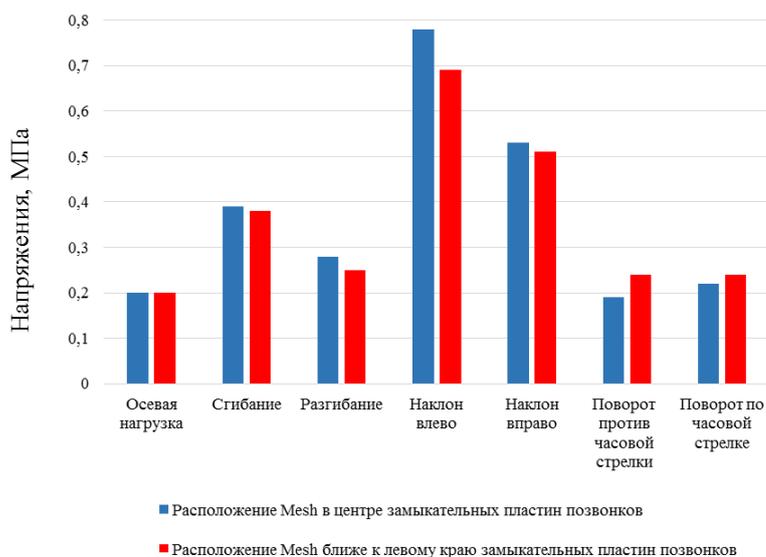


Рисунок 112 – Максимальные значения напряжений в губчатой ткани позвонков, МПа

Таблица 47 – Максимальные значения напряжений в кортикальной ткани, МПа

Прикладываемая нагрузка	Расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков	Расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков
Осевая нагрузка	10	10
Сгибание	20	16
Разгибание	35	30
Наклон влево	25	17
Наклон вправо	44	50
Поворот против часовой стрелки	28	39
Поворот по часовой стрелке	27	31

Таблица 48 – Максимальные значения напряжений в губчатой ткани, МПа

Прикладываемая нагрузка	MESH в центре замыкательных пластин позвонков	MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков
Осевая нагрузка	0,2	0,2
Сгибание	0,39	0,38
Разгибание	0,28	0,25
Наклон влево	0,78	0,69
Наклон вправо	0,53	0,51
Поворот против часовой стрелки	0,19	0,24
Поворот по часовой стрелке	0,22	0,24

На Рисунках 113 и 114 представлены поля напряжений в кортикальной и губчатой тканях позвонков Th12 и L2 для рассмотренных вариантов хирургического лечения при разгибании. Максимальные значения напряжения для кортикальной и губчатой тканей позвонков не превышают значения критических значений, которые могут привести к повреждению костной ткани.

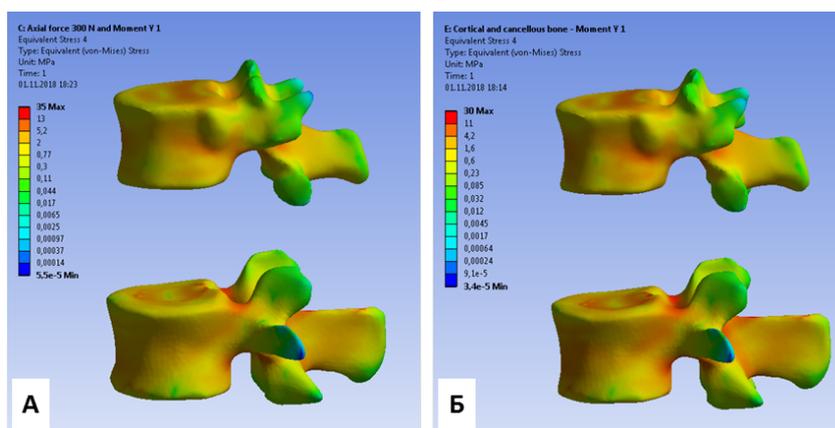


Рисунок 113 – Поля напряжений для кортикальной ткани позвонков в случае разгибания: А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2; Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

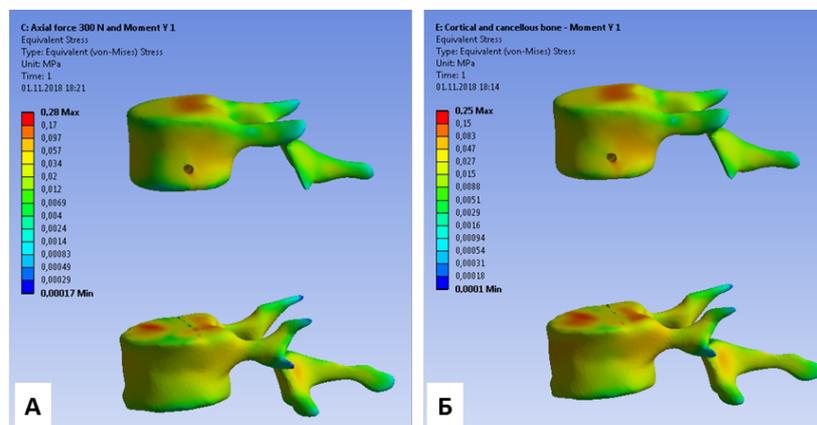


Рисунок 114 – Поля напряжений для кортикальной ткани позвонков в случае разгибания: А – расположение MESH в центре замыкательных пластин позвонков Th12 и L2; Б – расположение MESH ближе к левому краю замыкательных пластин позвонков Th12 и L2

Анализ результатов моделирования показал, что существенных отличий в напряженно-деформированных состояниях двух моделей при рассмотренных нагрузках выявлено не было. Оба варианта хирургического лечения, отличающиеся

друг от друга только расположением имплантата MESH относительно центра замыкательных пластинок смежных с поврежденным позвонков, обеспечивают необходимую стабильность фиксации и удовлетворяют биомеханическим критериям успешности хирургического реконструктивного лечения.

С точки зрения биомеханических критериев оба варианта хирургического реконструктивного лечения являются равнозначными по выбору. В ходе вентрального вмешательства объем резекции костной ткани поврежденного позвонка возможно сократить до минимально достаточной для эксцентрического расположения имплантата, что может положительно сказаться на сокращении продолжительности вмешательства.

Таким образом, использование короткосегментарных систем, дополненных «промежуточными» транспедикулярными винтами, а также вентральных систем, в ряде случаев предполагает эксцентрическое позиционирование имплантатов типа MESH при конверсии дорзальной фиксации в циркулярную. С позиции биомеханического моделирования статистически значимых различий между стабильностью такой компоновки МК по сравнению со стандартной не выявлено. Возможность дополнить при необходимости транспедикулярную фиксацию опорным корпородезом без перемонтажа транспедикулярной системы можно рассматривать как значимое преимущество предлагаемой компоновки системы. Эксцентрическое расположение имплантата MESH не сказывается на стабильности системы позвоночник-металлоконструкция.

4.2.7. Биомеханическое моделирование различных диаметров имплантатов типа MESH при дорсально-вентральном вмешательстве и вентральной фиксации

Трехмерные геометрические модели (Рисунок 115) создавались на основе данных компьютерной томографии в соответствии с методикой, изложенной ранее. Оценивали биомеханические параметры при использовании различных диаметров MESH (19, 22 и 25 мм) при транспедикулярной фиксации.

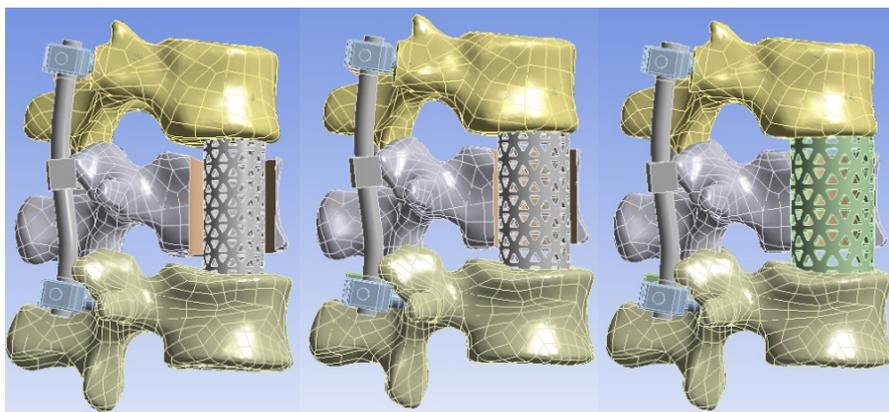


Рисунок 115 – Трехмерные геометрические модели Th12-L1-L2 с межтеловым заменителем типа MESH разных диаметров: 19, 22 и 25 мм (слева-направо)

Нижняя замыкательная пластинка позвонка L2 жестко закреплялась. Решение задачи биомеханики о воздействии внешних нагрузок на сегмент позвоночника вместе с установленными системами фиксации выполнялось численно методом конечных элементов в системе Ansys. Анализировали стабильность систем фиксации, а также величины нагрузок, действующих на имплантаты и костные структуры рассматриваемого сегмента позвоночника при различных вариантах внешних нагружений: положение стоя, наклон вперед, наклон назад, вращение вокруг оси, наклон вправо и наклон влево (Рисунок 116).

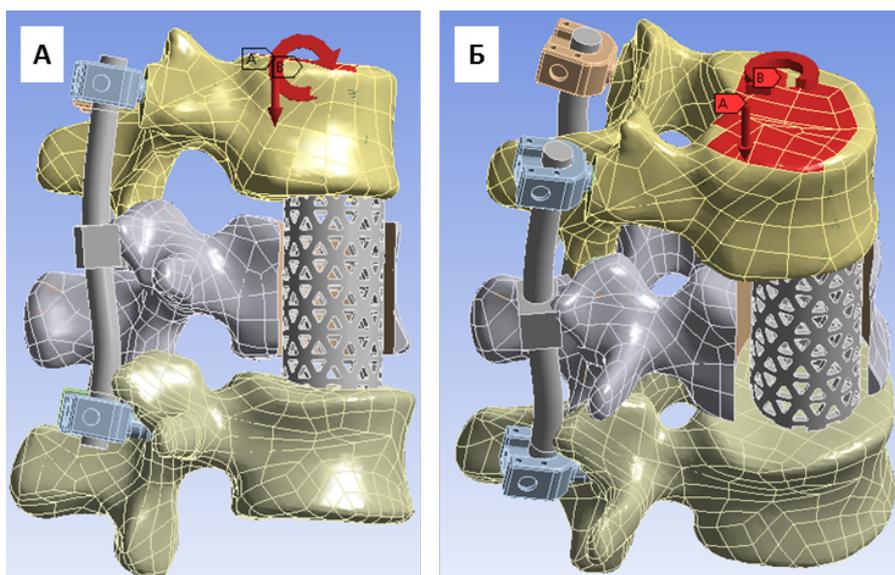


Рисунок 116 – Схема нагружения моделируемого сегмента позвоночника. А – моделирование наклона вперед (сила и момент показаны красными стрелками); Б – моделирование вращения вокруг оси

Рисунок 117 демонстрирует поля полных перемещений на модулях при наклоне вперед. Для каждого из рассмотренных диаметров кейджа MESH поля перемещений схожи и реалистичны для данного варианта нагружения. Аналогичная ситуация наблюдается и для других вариантов нагружения.

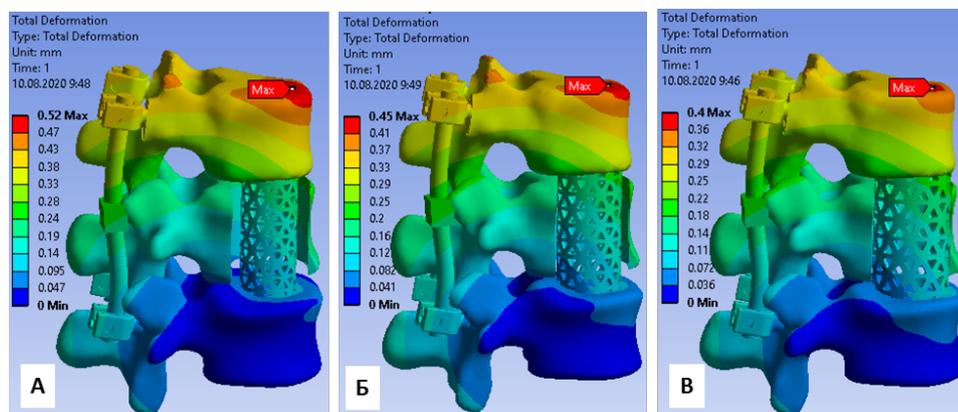


Рисунок 117 – Поля полных перемещений в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

Рисунки 118–120 показывают поля эквивалентных напряжений при моделировании наклона вперед: в кортикальной кости, в губчатой кости и в винтах.

Наибольшие напряжения в кортикальной кости достигаются в области контакта кейджа MESH и замыкательных пластин позвонков, это видно из Рисунка 120. Наибольшие напряжения на винтах достигаются на их резьбовой части. Наиболее нагруженные участки губчатой кости – области контакта с винтами. Эти выводы справедливы для всех рассмотренных диаметров кейджей.

Таблицы 49–52 демонстрируют поля эквивалентных напряжений.

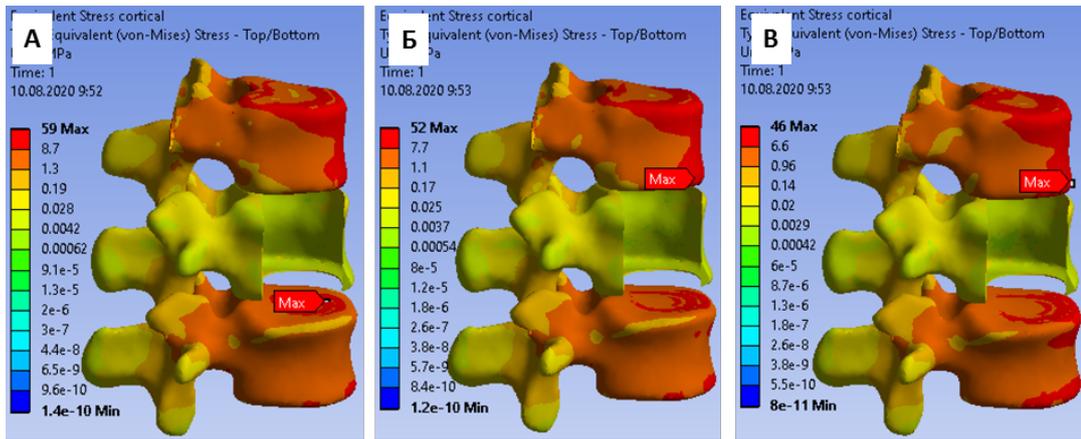


Рисунок 118 – Поля эквивалентных напряжений в кортикальной кости в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

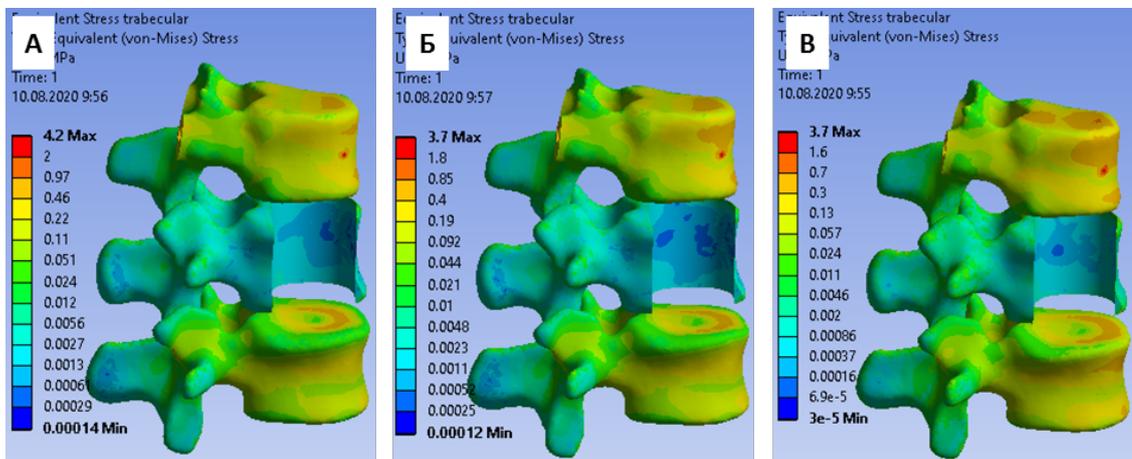


Рисунок 119 – Поля эквивалентных напряжений в губчатой кости в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

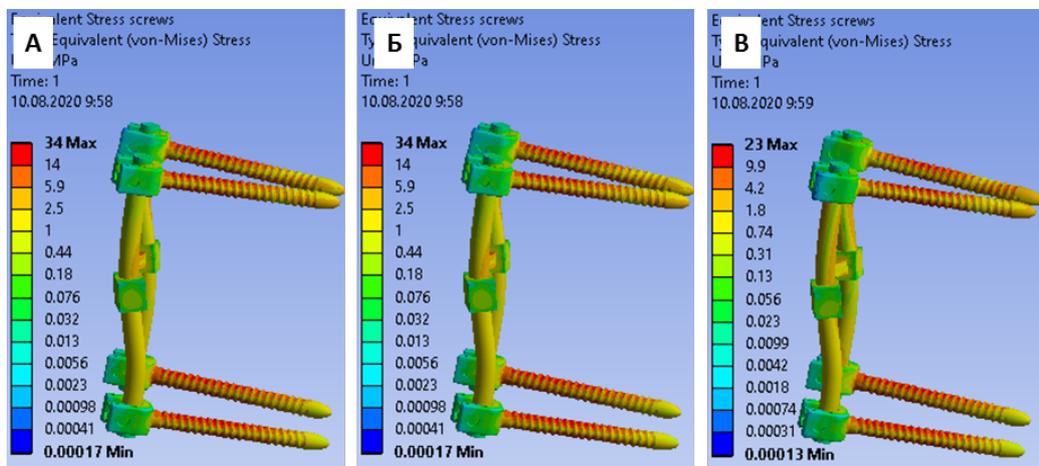


Рисунок 120 – Поля эквивалентных напряжений в винтах в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

Таблица 49 – Максимальные полные перемещения, мм

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклона назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	0,18	0,52	0,38	0,33	0,76	0,72
22	0,16	0,45	0,38	0,27	0,68	0,56
25	0,13	0,39	0,39	0,25	0,59	0,54

Анализ значений полных перемещений из Таблицы 49 показывает, что все три варианта демонстрируют схожую и достаточную стабильность фиксации. Полные перемещения при рассмотренных нагрузках не превышают 1 мм. Следует отметить, что вариант фиксации с кейджем типа MESH диаметром 25 мм демонстрирует наименьшие перемещения в зафиксированном участке позвоночника, что говорит о более высокой жесткости данного варианта по сравнению с двумя другими.

Таблица 50 – Наибольшие эквивалентные напряжения в винтах, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклона назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	20	34	65	51	64	62
22	20	29	64	44	58	55
25	20	23	59	35	55	47

Таблица 51 – Наибольшие эквивалентные напряжения в кортикальной кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклона назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	38	59	40	60	63	59
22	28	52	40	40	54	45
25	23	46	48	36	51	45

Таблица 52 – Наибольшие эквивалентные напряжения в губчатой кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклона назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	1,9	4,2	5,6	3,8	7,8	8,9
22	1,7	3,7	5,4	3,2	6,5	6,4
25	1,8	3,7	5,1	2,9	4,9	6,9

Если анализировать эквивалентные напряжения, возникающие при рассмотренных нагрузках в костных тканях и имплантатах, то можно отметить следующее. Все три варианта показывают допустимый уровень эквивалентных напряжений, однако при установке кейджа типа MESH диаметром 25 мм эквивалентные напряжения оказались наименьшими по сравнению с двумя другими вариантами при всех рассмотренных вариантах нагружения.

Подводя итог, можно заключить, что вариант транспедикулярной фиксации с установкой кейджа типа MESH диаметром 25 мм по сравнению с двумя другими вариантами является наиболее рациональным с точки зрения биомеханики.

Отдельно оценивали биомеханические параметры при использовании различных диаметров MESH (19, 22 и 25 мм) при вентральной фиксации (Рисунок 121). Рисунок 122 демонстрирует поля полных перемещений на моделях при наклоне вперед. Для каждого из рассмотренных диаметров кейджа MESH поля перемещений схожи и реалистичны для данного варианта нагружения. Аналогичная ситуация наблюдается и для других вариантов нагружения.

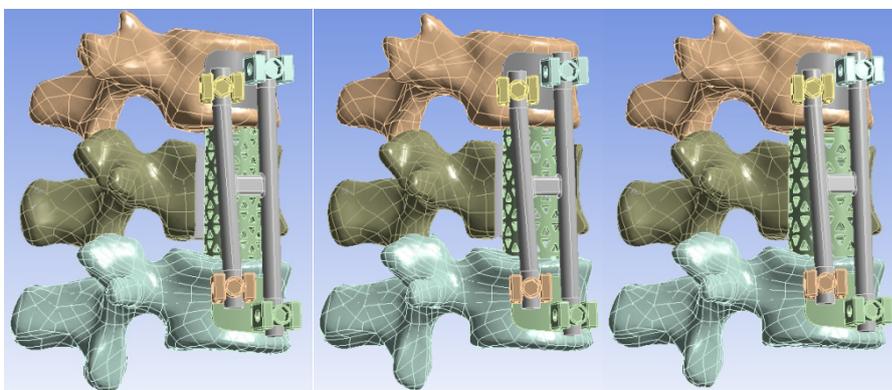


Рисунок 121 – Трехмерные геометрические модели Th12-L1-L2 с межтеловым заменителем типа MESH разных диаметров: 19, 22 и 25 мм (слева-направо)

Рисунки 123–125 показывают поля эквивалентных напряжений при моделировании наклона вперед: в кортикальной кости, в губчатой кости и в винтах.

Наибольшие напряжения в кортикальной кости достигаются в области контакта кейджа MESH и замыкательных пластин позвонков. Наибольшие напряжения на винтах достигаются на их резьбовой части. Наиболее нагруженные

участки губчатой кости – области контакта с винтами. Эти выводы справедливы для всех рассмотренных диаметров кейджей.

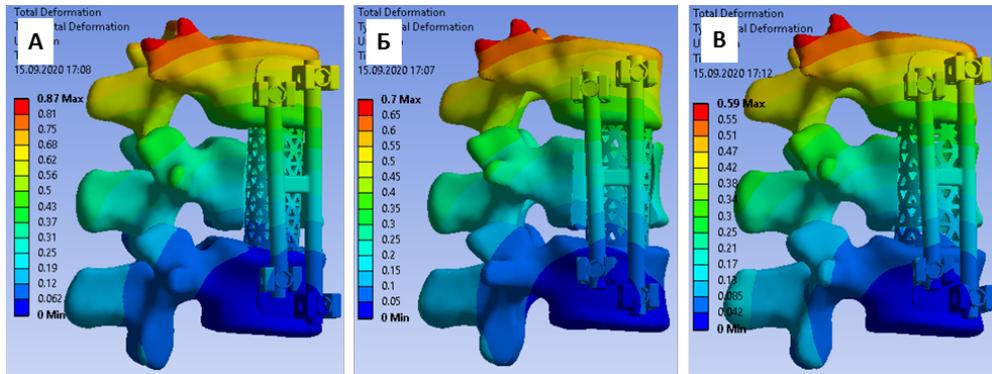


Рисунок 122 – Поля полных перемещений в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

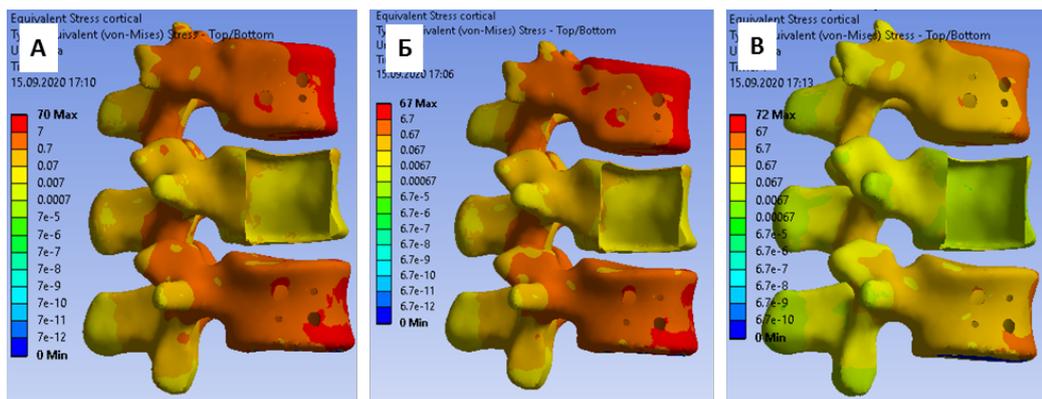


Рисунок 123 – Поля эквивалентных напряжений в кортикальной кости в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

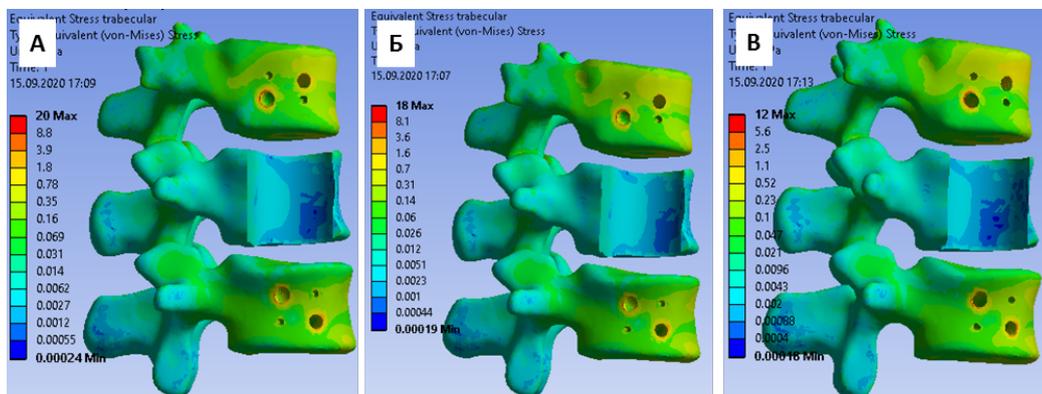


Рисунок 124 – Поля эквивалентных напряжений в губчатой кости в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

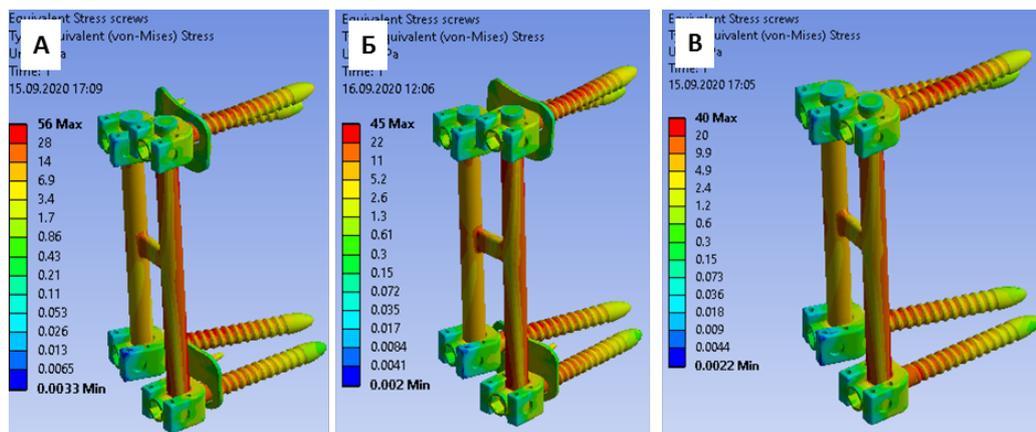


Рисунок 125 – Поля эквивалентных напряжений в винтах в случае моделирования наклона вперед: А – диаметр MESH 19 мм; Б – диаметр MESH 22 мм; В – диаметр MESH 25 мм

Таблицы 53–56 демонстрируют поля эквивалентных напряжений.

Таблица 53 – Максимальные полные перемещения, мм

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	0,50	0,87	0,87	0,57	0,55	1,08
22	0,44	0,75	1,10	0,56	0,52	0,95
25	0,38	0,59	1,01	0,40	0,52	0,84

Анализ значений полных перемещений из Таблицы 53 показывает, что все три варианта демонстрируют схожую и достаточную стабильность фиксации. Полные перемещения при рассмотренных нагрузках в большинстве случаев не превышают 1 мм. Следует отметить, что вариант фиксации с кейджем типа MESH диаметром 25 мм демонстрирует наименьшие перемещения в зафиксированном участке позвоночника, что говорит о более высокой жесткости данного варианта по сравнению с двумя другими.

Таблица 54 – Наибольшие эквивалентные напряжения в винтах, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	37	56	56	61	75	120
22	39	45	66	34	72	100
25	23	40	55	37	71	84

Таблица 55 – Наибольшие эквивалентные напряжения в кортикальной кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	42	70	70	55	62	74
22	36	72	73	35	62	62
25	30	72	70	36	63	53

Таблица 56 – Наибольшие эквивалентные напряжения в губчатой кости позвонков, МПа

Диаметр MESH, мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
19	3,4	20	20	14	29	25
22	4,2	18	26	10	27	21
25	5,3	12	23	11	27	17

Если анализировать эквивалентные напряжения, возникающие при рассмотренных нагрузках в костных тканях и имплантатах, то можно отметить следующее. Все три варианта показывают допустимый уровень эквивалентных напряжений, однако при установке кейджа типа MESH диаметром 25 мм эквивалентные напряжения оказались наименьшими по сравнению с двумя другими вариантами при всех рассмотренных вариантах нагружения.

Подводя итог, можно заключить, что вариант вентральной фиксации с установкой кейджа типа MESH диаметром 25 мм по сравнению с двумя другими вариантами является наиболее рациональным с точки зрения биомеханики.

4.2.8. Биомеханическое моделирование транспедикулярной фиксации и вентрального спондилодеза

Для сравнения биомеханических свойств вентральных и дорсальных систем фиксации построили трехмерные геометрические модели в соответствии с методикой, изложенной ранее (Рисунок 126 и Рисунок 127):

- транспедикулярная фиксация в сегментах Th11 - L2 с межтеловым опорным имплантатом типа MESH;

- вентральная фиксация в сегментах Th11 - L2 с межтеловым опорным имплантатом типа MESH.

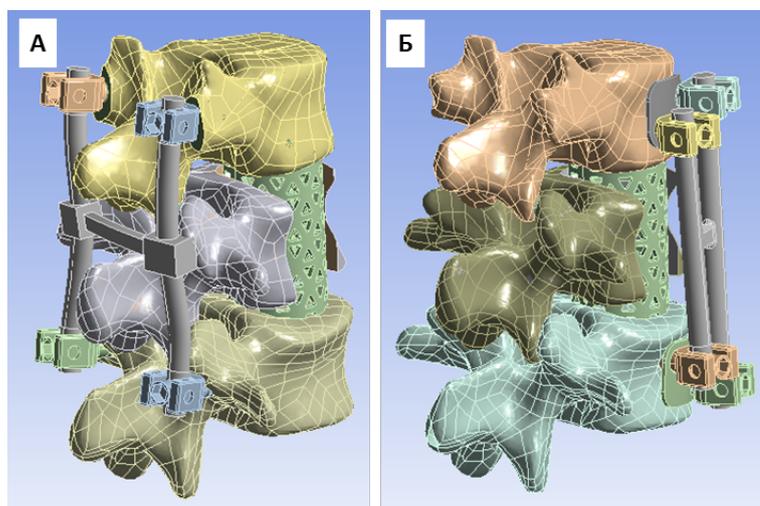


Рисунок 126 – Трехмерные геометрические модели позвонков Th12-L1-L2 с межтеловым опорным имплантатом типа MESH и системами фиксации:
А – транспедикулярная; Б – вентральная

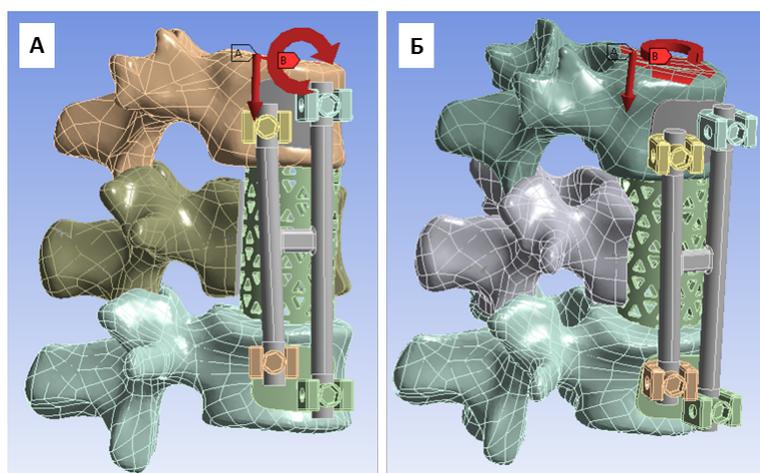


Рисунок 127 – Схема нагружения моделируемого сегмента позвоночника на примере вентральной системы фиксации: А – моделирование наклона вперед (сила и момент показаны красными стрелками); Б – моделирование вращения вокруг оси (сила и момент показаны красными стрелками)

Нижняя замыкательная пластинка L2 позвонка жестко закреплялась. Решение задачи биомеханики о воздействии внешних нагрузок на сегмент позвоночника вместе с установленными системами фиксации выполнялось численно методом конечных элементов в системе Ansys. Анализировали стабильность систем фиксации (Таблица 57), а также величины нагрузок,

действующий на имплантаты (Таблица 58) и костные структуры (Таблицы 59, 60) рассматриваемого сегмента позвоночника при различных вариантах внешних нагрузений: положение стоя, наклон вперед, наклон назад, вращение вокруг оси, наклон вправо и наклон влево.

На Рисунке 128 показаны типичные поля полных перемещений для обоих рассмотренных вариантов фиксации. На Рисунках 129–132 показаны типичные поля эквивалентных напряжений для обоих рассмотренных вариантов фиксации.

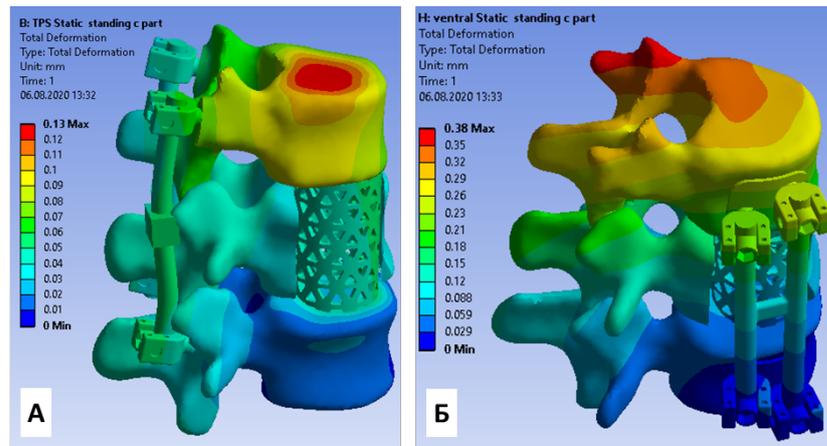


Рисунок 128 – Типичные поля полных перемещений в случае моделирования положения стоя: А – транспедикулярная фиксация; Б – вентральная фиксация

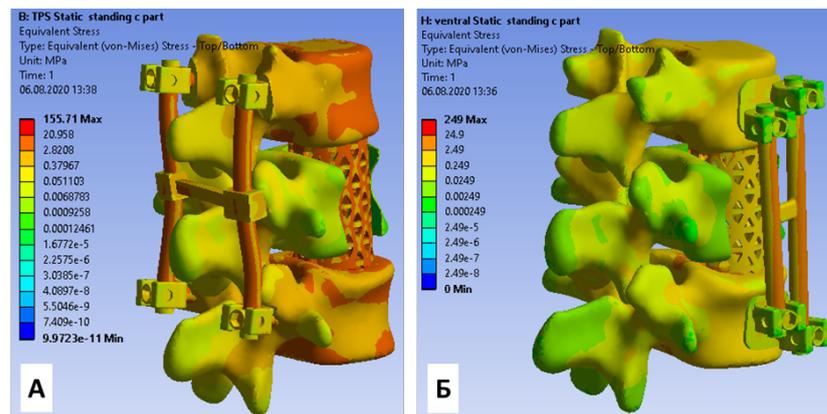


Рисунок 129 – Типичное поле эквивалентных напряжений в случае моделирования положения стоя: А – транспедикулярная фиксация; Б – вентральная фиксация

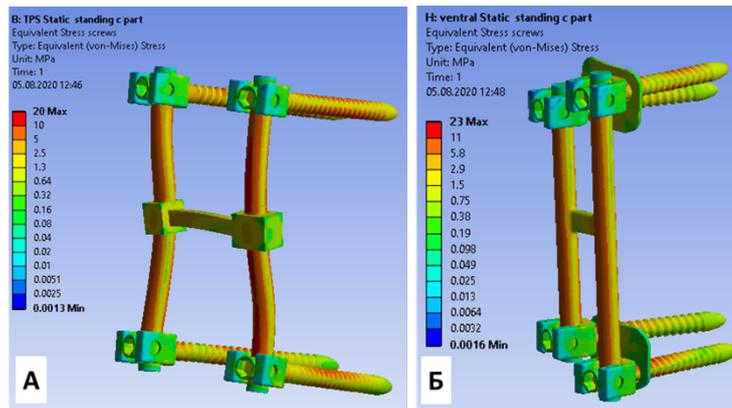


Рисунок 130 – Типичное поле эквивалентных напряжений на винтах в случае моделирования положения стоя:

А – транспедикулярная фиксация; Б – вентральная фиксация

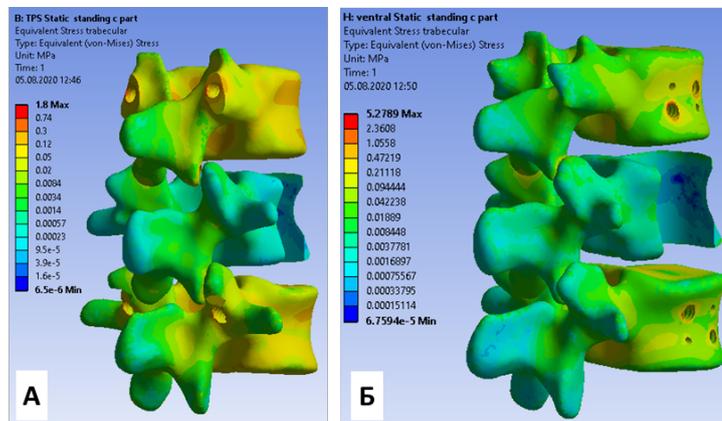


Рисунок 131 – Типичное поле эквивалентных напряжений в губчатой кости в случае моделирования положения стоя:

А – транспедикулярная фиксация; Б – вентральная фиксация

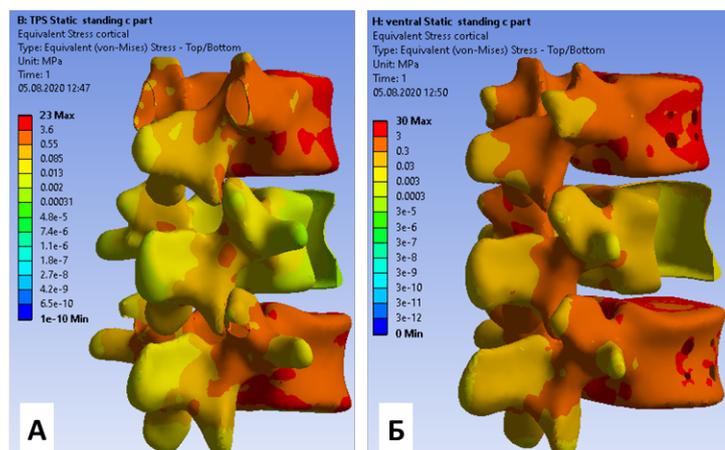


Рисунок 132 – Типичное поле эквивалентных напряжений в кортикальной кости в случае моделирования положения стоя:

А – транспедикулярная фиксация; Б – вентральная фиксация

Таблица 57 – Максимальные полные перемещения, мм

Тип фиксации Mesh=22 мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
ТПС	0,13	0,45	0,38	0,27	0,68	0,56
Вентральная	0,38	0,59	1,0	0,40	0,52	0,84

Значения полных перемещений для каждого варианта лечения показывают схожую стабильность вентральной и транспедикулярной системы фиксации. Величина перемещений внутри зафиксированных позвоночно-двигательных сегментов не превышает 1 мм для каждого рассмотренного варианта нагружения. Стабильность каждой рассмотренной системы фиксации можно считать достаточной.

Анализ максимальных напряжений в винтах в Таблице 58 показывает, что в обоих вариантах фиксации нагрузки на винты схожи. Напряжения не превышают 84 МПа, что существенно ниже предела текучести (до 550 МПа) титанового сплава, из которого изготавливаются винты.

Таблица 58 – Наибольшие эквивалентные напряжения в винтах, МПа

Тип фиксации MESH =22 мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
ТПС	20	29	64	44	58	55
Вентральная	23	40	55	37	71	84

Таблица 59 – Наибольшие эквивалентные напряжения в кортикальной кости позвонков, МПа

Тип фиксации MESH =22 мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
ТПС	28	52	40	40	54	45
Вентральная	30	60	62	36	56	46

Максимальные эквивалентные напряжения в кортикальной кости позвонков для обоих вариантов лечения оказались схожими. Существенное повышение напряжений в кортикальной кости при фиксации вентральной конструкцией относительно варианта с транспедикулярной фиксацией отмечено для наклонов вперед и назад: с 52 до 60 МПа и с 40 до 62 МПа.

Таблица 60 – Наибольшие эквивалентные напряжения в губчатой кости позвонков, МПа

Тип фиксации MESH =22 мм	Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Вращение вокруг оси	Наклон вправо	Наклон влево
ТПС	1,7	3,7	5,4	3,2	6,5	6,4
Вентральная	5,3	12	23	11,3	27	17

Вентральная фиксация существенно (в среднем от 3 до 4 раз) повышает эквивалентные напряжения в губчатой кости по сравнению с транспедикулярной фиксацией.

Таким образом, принимая во внимание эквивалентные напряжения в костных тканях, в имплантатах и перемещения в моделях, можно заключить, что с точки зрения биомеханики при рассмотренных нагрузках более предпочтительным является вариант лечения с установкой транспедикулярных винтов. Вентральная конструкция менее предпочтительна, так как сильнее нагружает костные ткани позвонков, что может свидетельствовать о более вероятном их повреждении и расшатывании винтов.

4.3. Факторы риска несостоятельности фиксации

Характеристика клинического материала. Проведено клиническое ретроспективное когортное одноцентровое открытое исследование. Для выявления предикторов несостоятельности фиксации провели ретроспективный анализ основных предоперационных и интраоперационных параметров у трех групп пациентов, прооперированных с 2010 по 2017 г. (273 пациента):

- 1 группа (n=215) – пациенты со стабильной фиксацией в течение 1 года после операции;
- 2 группа (n=49) – пациенты, у которых выявлена нестабильность фиксации (перелом/миграция винта или стержня);
- 3 группа (n=9) – пациенты с посттравматическим остеонекрозом позвонка в послеоперационном периоде.

В исследование вошли пациенты с одноуровневой травмой позвоночника в области грудопоясничного перехода (Th11-L2). Критерии включения, невключения и исключения приведены ранее.

Оценивали непосредственные и отдаленные (до 12 мес.) результаты хирургического лечения. Сразу после операции, через 2 мес., через 6 мес. и через 12 мес. исходы удалось проследить у 273 (100%), 263(96%), 243 (89%) и 202 (74%) пациентов, соответственно.

На рентгенограммах определяли высоту и ширину тел позвонков, величину интерпедикулярного пространства, ротацию остистых отростков, измерялась выраженность кифотической и сколиотической посттравматической деформации поврежденного отдела позвоночника по методу Cobb, потерю высоты передней колонны. При КТ-исследовании определяли характер повреждения тела позвонка и задних опорных структур, дефицит просвета позвоночного канала. Также рассчитывали расширение площади пораженного позвонка в аксиальной плоскости (vertebral body spread).

Нестабильность фиксации определяли при наличии перелома/миграции элементов МК и увеличении кифотической деформации. Всего нестабильность фиксации выявлена у 49 пациентов (17,9%, 49/273). Перелом винта у 23 (46,9%) пациентов, миграция винта – у 19 (38,8%), перелом стержня – у 5 (10,2%), миграция стержня – у 2 (4,1%) (Рисунки 133–136).

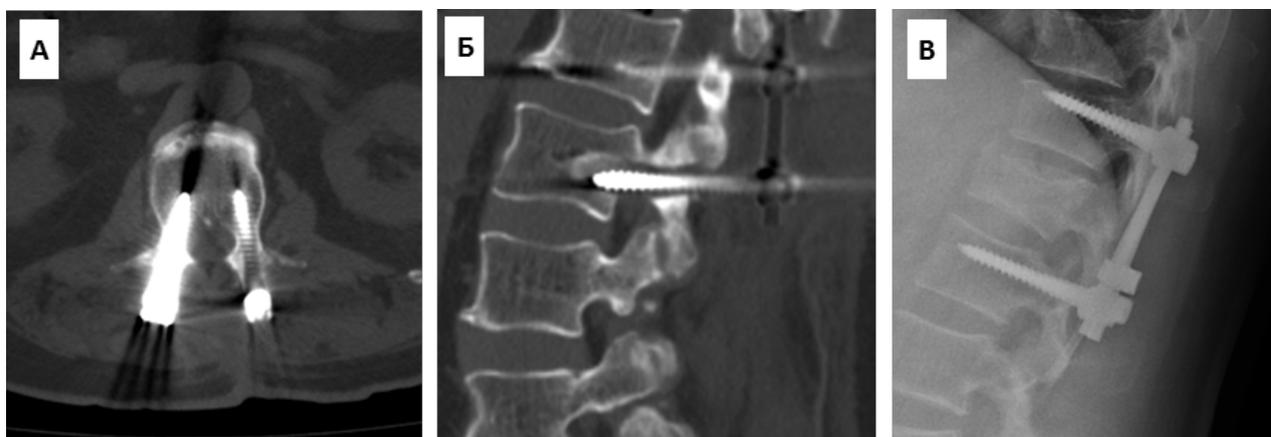


Рисунок 133 – Миграция двух нижних винтов после бисегментарной ТПФ по данным КТ в аксиальной (А), саггитальной (Б) плоскости, Рентгенографии в саггитальной плоскости (В)

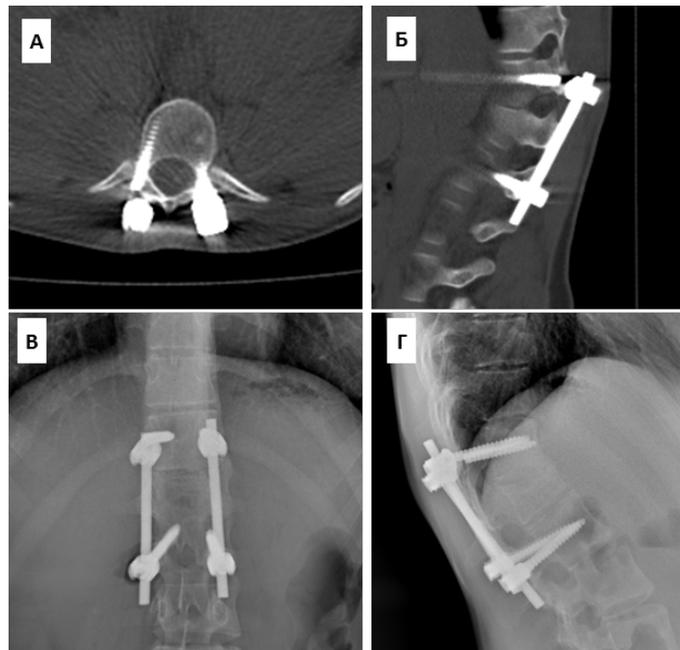


Рисунок 134 – Перелом винта по данным КТ в аксиальной (А), саггитальной (Б) плоскости, рентгенографии во фронтальной (В) и саггитальной (Г) плоскости

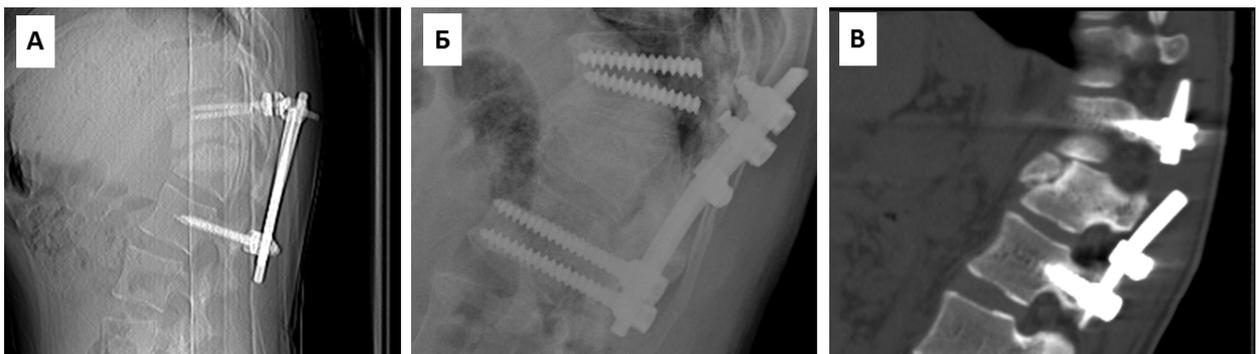


Рисунок 135 – Послеоперационный кифоз по данным рентгенографии после миграции стержня бисегментарной транспедикулярной системы (А), перелома верхних винтов (Б), перелома стержня (В)

Большинство переломов и миграций металлоконструкций выявлено в первые 6 мес. после операции (68%). Практически во всех случаях перелом винта наблюдался в области перехода резьбовой части в головку, лишь в 3 случаях (6,1%) выявлен перелом резьбовой части винта. Перелом 1 винта – в 43% (10/23), 2 – 57% (13/23). Перелом стержня наблюдался во всех случаях в средней части в области максимального грудопоясничного изгиба. В 30 (61%) случаях несостоятельность МК сочеталась с увеличением кифотической деформации

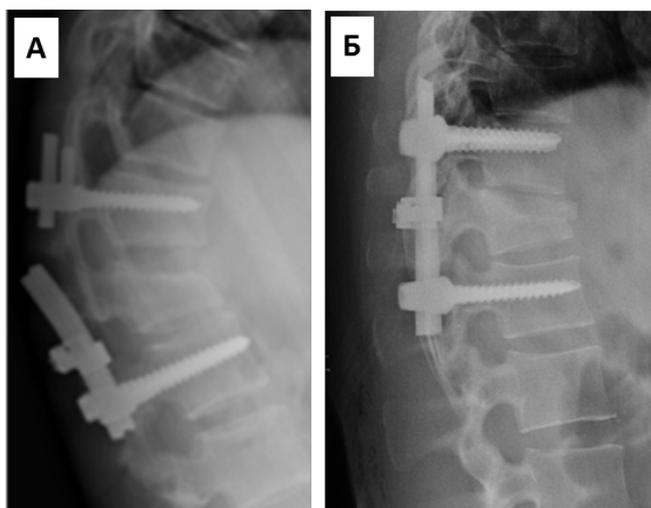


Рисунок 136 – Перелом стержней ТПФ, приведший к потере достигнутой коррекции сегментарного посттравматического кифоза (А). Прорезывание краниальных транспедикулярных винтов с перфорацией замыкательной пластинки позвонка (Б)

Посттравматический остеонекроз позвонка выявлен у 9 пациентов (3,2%). У большинства (88%, 8/9) остеонекроз наблюдался в сроки 2–6 мес. после операции и сочетался со значительным увеличением кифоза в 2 случаях (22%) (Рисунок 137).

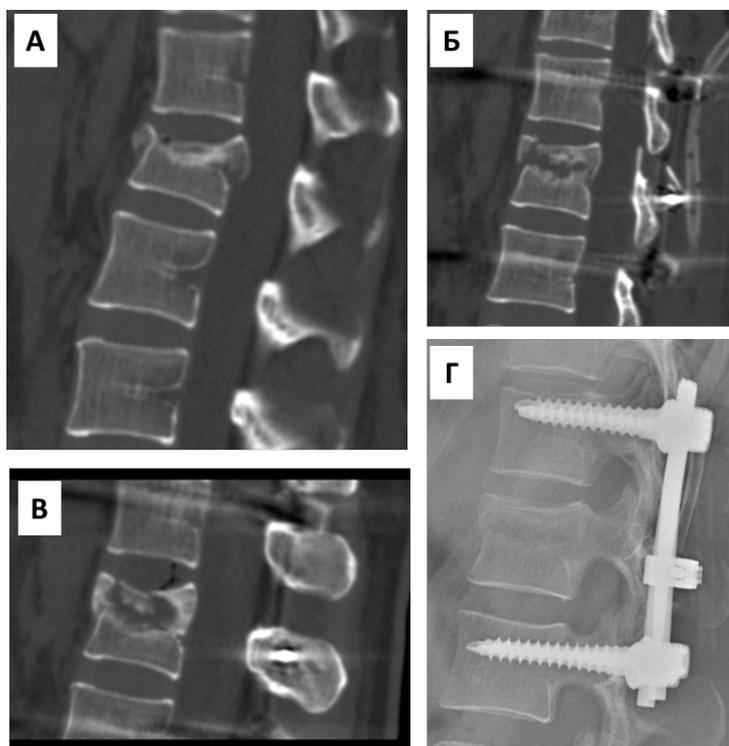


Рисунок 137 – Перелом Th12 позвонка (А). Состояние после бисегментарной ТПФ (Б). Посттравматический остеонекроз поврежденного позвонка через 2 мес. после операции по данным КТ (В), рентгенографии (Г)

В большинстве случаев при выявлении нестабильности МК (88%, 43/49) и остеонекроза (100%, 9/9) выполнена реоперация: удаление нестабильной МК, коррекция и фиксация переходного грудопоясничного отдела позвоночника полисегментарной системой, резекция тела некротизированного поврежденного позвонка, корпородез MESH. За время наблюдения после реоперации (до 6 мес.) признаков повторной нестабильности фиксирующих систем или остеонекроза не выявлено, сформирован костно-металлический блок.

В нашем случае консолидация перелома развивалась в сроки более 12 месяцев. Мы удаляли конструкцию менее чем у 60% пациентов через 1,5 года после операции при наличии консолидации. У 40% не удалось удалить конструкцию в связи с отказом пациентов от повторного вмешательства. Синдрома смежного сегмента за время наблюдения 12 мес. не было выявлено ни у одного пациента. В более отдаленные сроки отмечено развитие синдрома смежного сегмента только у 1,4% (4/273) пациентов. Такая малая частота объясняется тем, что межпозвонковые диски выше и ниже зоны фиксации в области грудопоясничного перехода испытывают меньшую нагрузку [111].

Результаты исследования факторов риска развития нестабильности фиксации и развития посттравматического остеонекроза. В Таблице 61 представлены основные клинические данные перед операцией.

Таблица 61 – Основные клинические данные перед операцией

Параметр	Стабильная фиксация (n=215)	Нестабильная фиксация (n=49)	Остеонекроз (n=9)	p*
Возраст, года	37(26;44)	45 (42;49)	49 (48;56)	<0,001
ИМТ, кг/м ²	25 (24;26)	27 (25;31)	24 (22;26)	<0,001
Мужчины, n(%)	156 (72%)	33 (67%)	3 (33%)	0,036
Срок после травмы, дни	12 (8–17)	21 (16;26)	14 (8;17)	<0,001
Классификация ASA, n(%)				
I степень	122 (57%)	26 (53%)	7 (78%)	0,705
II степень	79 (37%)	19 (39%)	2 (22%)	
III степень	14 (6%)	4 (8%)	0	
ВАШ исходно, баллы	8 (7–8)	8 (7;8)	7 (7;8)	0,167
ODI исходно, %	38 (34;44)	39 (36;42)	35 (28;53)	0,654
<i>Примечание: для количественных признаков определены: медиана и квантили;</i>				
<i>* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса</i>				

Выявлены статистически значимые различия по следующим параметрам: возраст, пол, ИМТ, срок после травмы. В группах с нестабильностью фиксации и остеонекрозом медиана возраста была статистически значимо выше, чем в группе со стабильной фиксацией (Рисунок 138). Пациенты женского пола преобладали в группе с остеонекрозом (6/9; 66%). В группах со стабильной и нестабильной фиксацией преобладали мужчины. ИМТ и срок после травмы был выше в группе с нестабильной фиксацией (Рисунок 138). По таким параметрам как ASA, ВАШ, ODI до операции группы не различались.

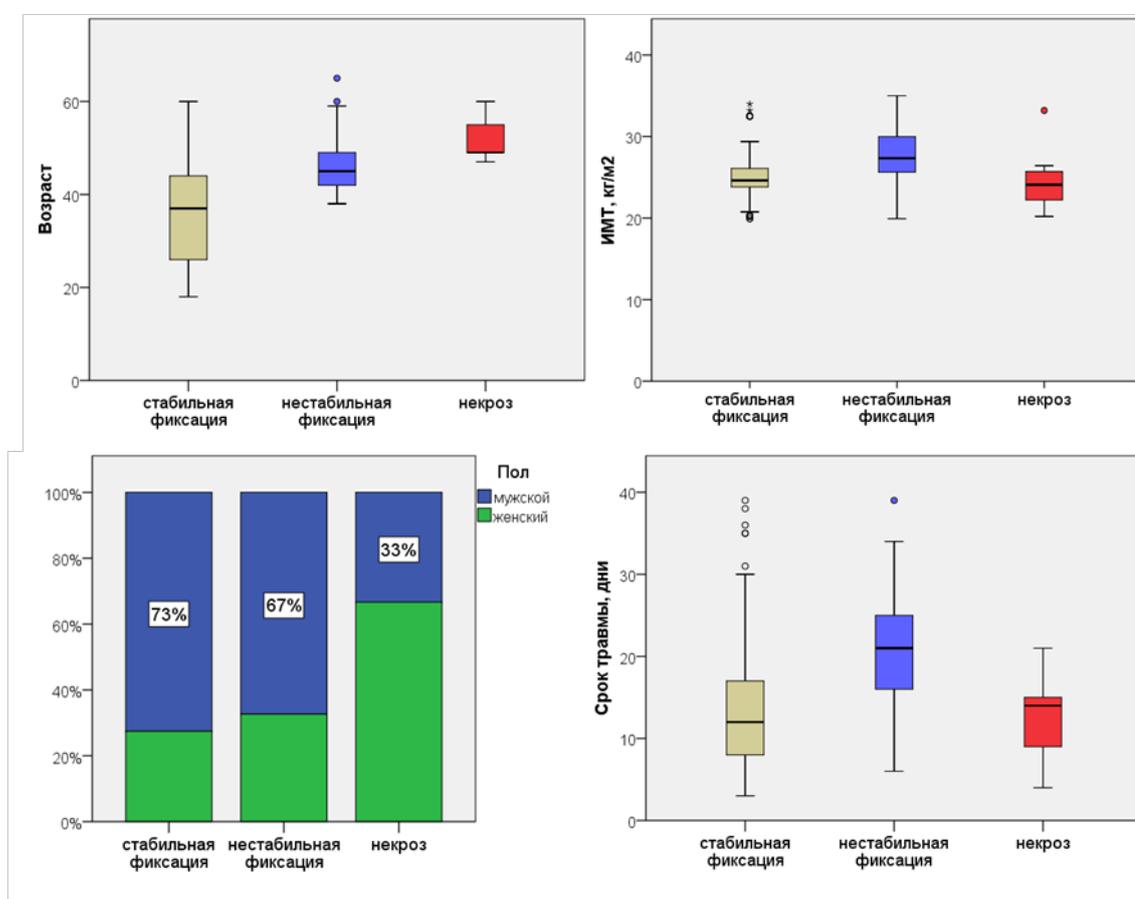


Рисунок 138 – Значимые различия в группах по клиническим данным

В Таблице 62 представлены основные инструментальные данные перед операцией. Как было сказано выше, пациенты с остеопорозом в исследование не включались, группы не различались по отклонению Т-критерия при денситометрии. При однофакторном анализе выявлены статистически значимые различия по следующим параметрам: уровень поражения, тип перелома, степень

кифоза перед операцией, степень расширения позвонка, выявление значимого дефицита просвета позвоночного канала и потери высоты передней колонны.

В группе с нестабильностью фиксации статистически значимо чаще встречалось поражение L1 позвонка. Группы со стабильной фиксацией и остеонекрозом не различались по уровню поражения (Рисунок 139). В обеих группах нестабильной фиксации и остеонекроза превалировал взрывной тип перелома A4 по классификации AOSpine.

Таблица 62 – Основные инструментальные данные перед операцией

Параметр	Стабильная фиксация (n =215)	Нестабильная фиксация (n =49)	Остеонекроз (n =9)	p*
Денситометрия (Т-критерий), SD	-1,3 (-1,7;-0,4)	-1,3 (-2,4;-0,7)	-1,6 (-2,0;-1,6)	0,684
Уровень поражения, n(%)				
Th11	7 (3%)	0	1 (11%)	0,001
Th12	78 (36%)	4 (8%)	3 (33%)	
L1	102 (47%)	38 (77%)	3 (33%)	
L2	28 (13%)	7 (14%)	2 (33%)	
AOSpine, n(%)				
A2	8 (4%)	5 (10%)	0	0,002
A3	97 (45%)	6 (12%)	1 (11%)	
A4	89 (41%)	30 (61%)	8 (89%)	
B1	7 (3%)	4 (8%)	0	
B2	8 (4%)	2 (4%)	0	
C	6 (3%)	2 (4%)	0	
Кифоз, град.	12 (8–18)	22 (16;28)	9 (6–14)	<0,001
Сколиоз, град.	4 (1–8)	1 (1–7)	1 (0;3)	0,12
Расширение позвонка, %	44 (30;55)	34 (0;47)	66 (57;77)	<0,001
ДППК, n (%)	75 (35%)	10 (20%)	7 (78%)	0,003
ПВПК, n (%)	187 (87%)	36 (73%)	9 (100%)	0,005
<i>Примечание: для количественных признаков определены: медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса</i>				

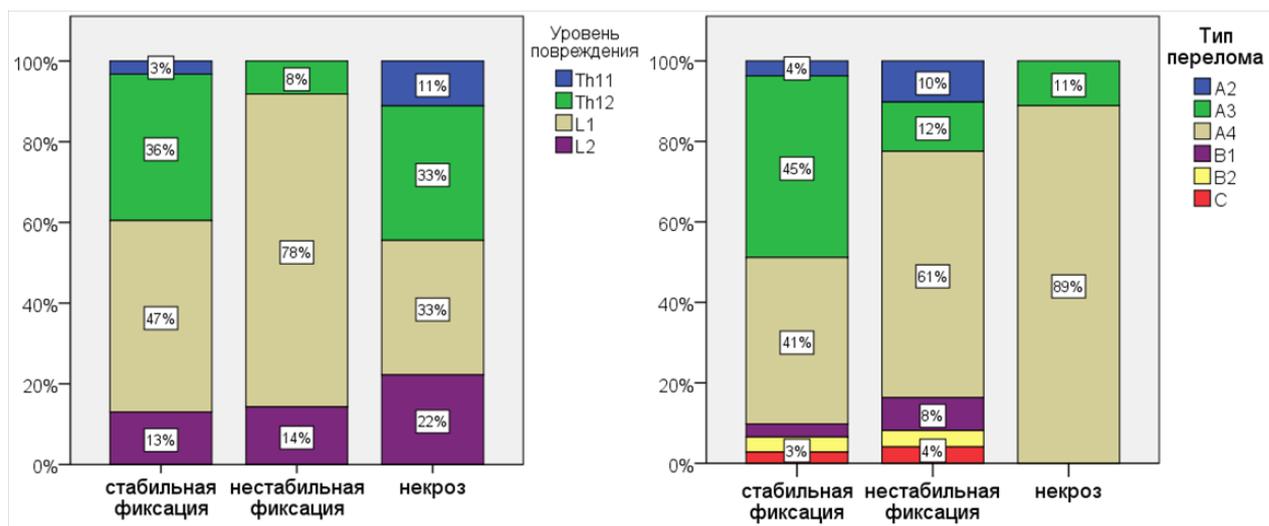


Рисунок 139 – Распределение больных в группах по уровню поражения и типу перелома (AOSpine)

Локальная кифотическая деформация (угол Cobb) до операции была значимо более выражена в группе с нестабильностью фиксации, медиана составила 22 градуса (16–28). В группах со стабильной фиксацией и остеонекрозом – 12 (8–18) и 9 (6–14), соответственно. Медиана угла сколиотической деформации не различалась значимо между группами. Потеря высоты передней колонны (ПВПК) в группе с остеонекрозом наблюдали у всех пациентов, медиана потери высоты составила 55% (42–58). Для сравнения в группе со стабильной и нестабильной фиксацией – 36% (18–55) и 25% (10–42), соответственно. Дефицит просвета позвоночного канала (ДППК) наблюдался значимо чаще в группе остеонекроза (78%). Медиана ДППК в этой группе составила 47% (29–56). Для сравнения в группах стабильной и нестабильной фиксации – 25% (15–31) и 28% (14–34), соответственно (Рисунок 140).

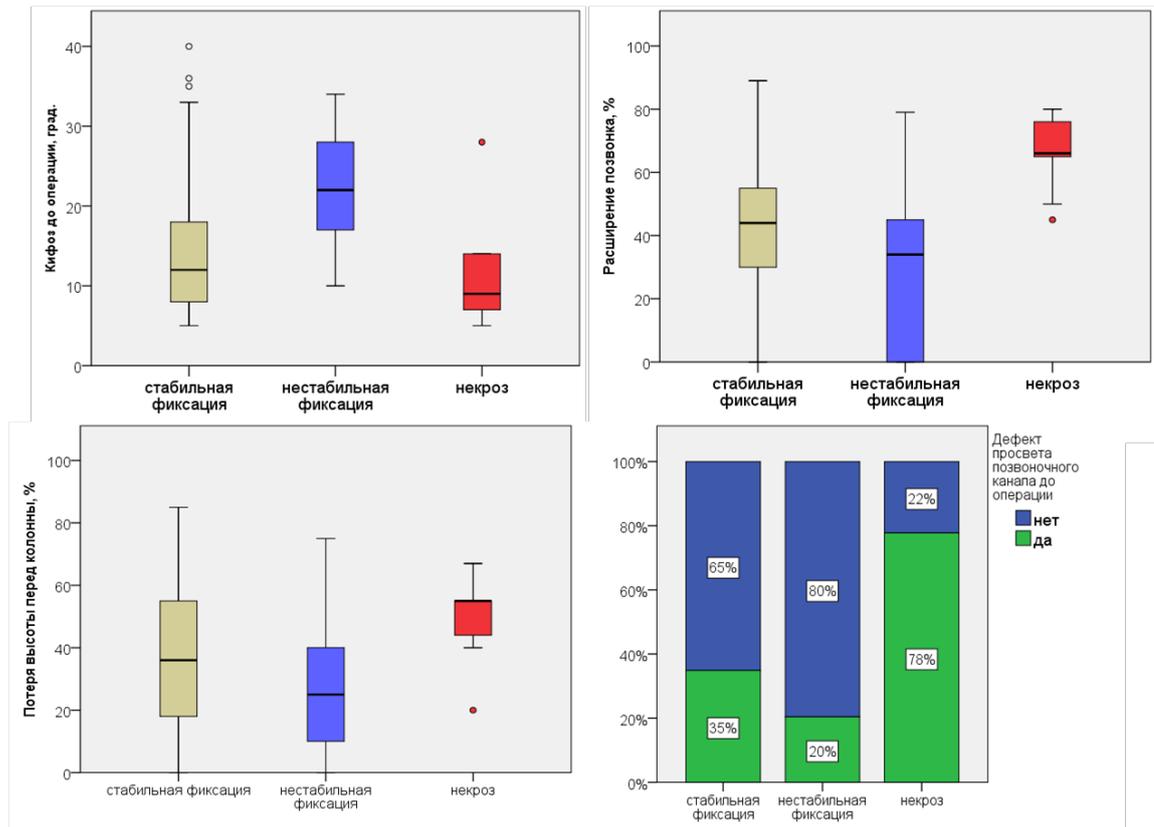


Рисунок 140 – Значимые различия в группах по рентгенологическим параметрам

В Таблице 63 представлены основные интраоперационные данные во всех группах. На Рисунке 141 представлено схематическое изображение применяемых компоновок транспедикулярных систем.

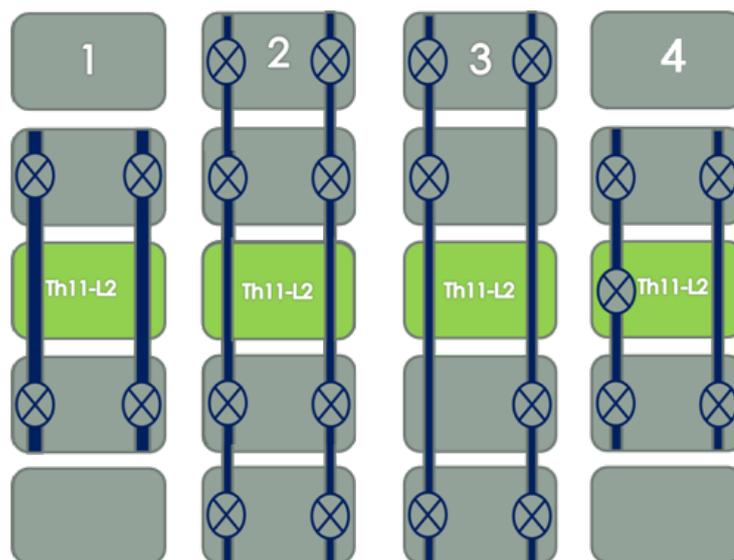


Рисунок 141 – Схема применяемых компоновок транспедикулярных систем (1 – ТПФ 4 винта, 2 – ТПФ 8 винтов, 3 – ТПФ 6 винтов, 4 – ТПФ с промежуточным винтом)

Таблица 63 – Интраоперационные данные в группах со стабильной и нестабильной фиксацией и остеонекрозом поврежденного позвонка

Параметр	Стабильная фиксация (n=215)	Нестабильная фиксация (n=49)	Остеонекроз (n=9)	p*
Тип операции, n(%)				
ТПФ 4 винта	85 (39%)	39 (80%)	8 (89%)	<0,001
ТПФ 8 винтов	43 (20%)	6 (12%)	1 (11%)	
ТПФ 6 винтов	17 (8%)	2 (4%)	0	
Комбинированное симультанное вмешательство (ТПФ+вентральный спондилодез)	32 (15%)	2 (4%)	0	
Комбинированное отсроченное вмешательство (ТПФ+вертебропластика и вентральный спондилодез)	11 (5%)	0	0	
Изолированный вентральный спондилодез	27 (13%)	0	0	
Протяженность фиксации, n(%)				
бисегментарная	131 (61%)	40 (82%)	8 (89%)	0,007
четырёхсегментарная	84 (39%)	9 (18%)	1 (11%)	
Промежуточная фиксация, n(%)	32 (15%)	1 (2%)	4(44%)	0,001
Ламинэктомия, n(%)	12 (6%)	11 (23%)	0	<0,001
Длина винтов, n(%)				
до переднего кортикального слоя	40 (19%)	9 (18%)	2 (22%)	<0,001
больше половины тела позвонка	150 (70%)	18 (37%)	7 (78%)	
меньше половины тела позвонка	25 (11%)	22 (45%)	0	
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса</i>				

Несостоятельности фиксации не наблюдали после вентральных реконструкций и при комбинированном дорсальном с вертебропластикой и отсроченным вентральном вмешательстве. Нестабильность и остеонекроз значительно чаще наблюдали при стандартной 4-винтовой бисегментарной транспедикулярной фиксации (ТПФ), чем при полисегментарной ТПФ и комбинированном симультанном дорсально-вентральном вмешательстве (Рисунок 142).

Промежуточную фиксацию при ТПФ применяли в 14% (37/273). При этом практически в половине случаев (45%, 17/37) ограничивались вместо билатерального введением одного винта. Отмечено статистически значимое

различие в группах стабильной и нестабильной фиксации по частоте применения промежуточной фиксации (Рисунок 142).

Ламинэктомия для задней декомпрессии была выполнена в 8% (23/273) и применялась значительно чаще в группе с нестабильной фиксацией (23%), чем в группе со стабильной (6%). Применяли ламинэктомию при относительно старых травмах (более 1 мес.), когда не удавалось полноценно исправить кифоз. А также при комбинированных вмешательствах при наличии компрессии содержимого спинномозгового канала и потенциальном риске ятрогенного повреждения спинного мозга во время вентрального этапа.

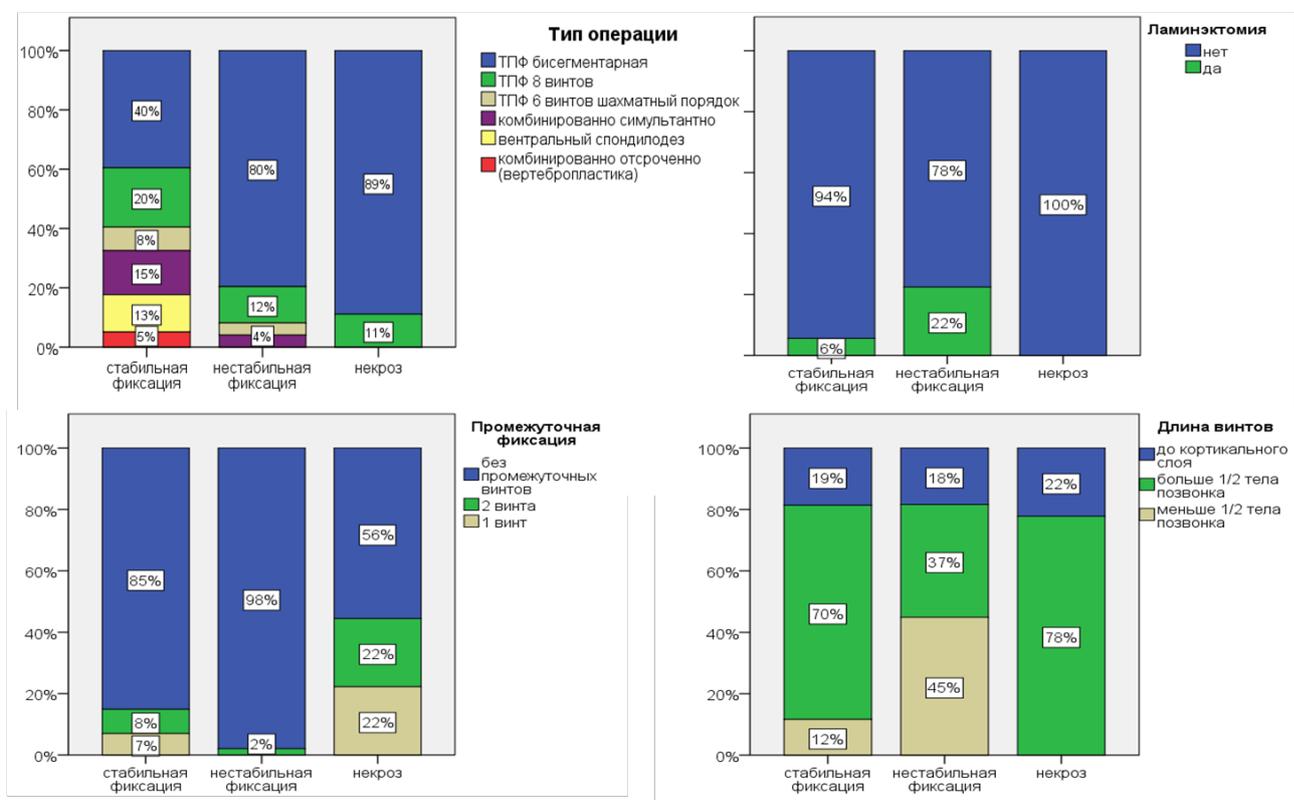


Рисунок 142 – Распределение по типу операции, применению промежуточной фиксации, ламинэктомии и длине винтов

В группе с нестабильной фиксацией отмечено статистически значимо большее использование коротких винтов для транспедикулярной фиксации (до половины тела позвонка), чем в группе со стабильной фиксацией, 45% и 12% соответственно. При анализе причин несостоятельности мы выявили, что короткие винты в основном прорезывались и мигрировали ($p < 0,001$), в то время как при

длине винта более половины тела позвонка или до кортикального слоя в большинстве случаев отмечали перелом винта (Рисунок 143).

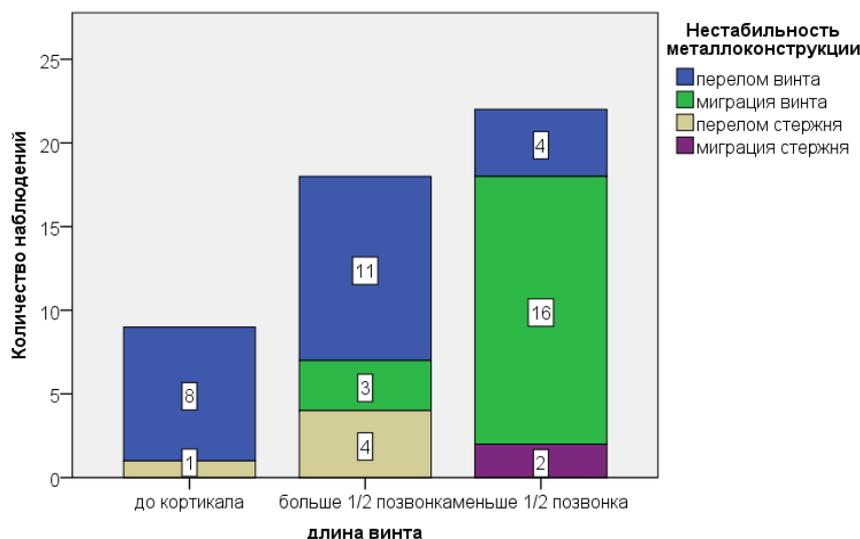


Рисунок 143 – Распределение причин нестабильности в группах с разной длиной транспедикулярных винтов

В Таблице 64 представлены основные результаты хирургического лечения в группах стабильной и нестабильной фиксации и группе с остеолизом позвонка. В группе с нестабильной фиксацией медиана остаточного кифоза была значительно больше, чем в двух других группах, и составила 12 град. (10–15). Кроме того, результаты коррекции кифоза оказались существенно хуже. Только в 18% выполнена полная коррекция кифоза. Угол кифотической деформации более 5 град. сохранялся у 82% пациентов. Для сравнения при стабильной фиксации полная коррекция выполнена у 46% пациентов. Несмотря на слабое различие между группами по углу остаточной сколиотической деформации, было выявлено статистически значимое ($p=0,002$) различие в степени коррекции сколиоза. Статистически значимое отличие, на наш взгляд, можно во внимание не принимать, учитывая небольшие абсолютные показатели (медианы 0–4 град.), сами по себе не являющиеся показаниями к выполнению транспедикулярной фиксации.

Таблица 64 – Основные результаты хирургического лечения

Параметр	Стабильная фиксация (n=215)	Нестабильная фиксация (n=49)	Остеонекроз (n=9)	p*
Неполная/нет коррекции кифоза, n (%)	116 (54%)	40 (82%)	4 (44%)	0,001
Остаточный кифоз, град.	5 (3–6)	12 (10–15)	4 (0–6)	<0,001
Неполная/нет коррекции сколиоза, n (%)	22 (18%)	11 (65%)	0	0,002
Остаточный сколиоз, град.	1 (1–2)	1 (0–4)	0 (0–1)	0,052
Коррекция ДППК, n(%)	60 (78%)	4 (33%)	5 (71%)	0,006
Коррекция ПВПК, n(%)	170 (91%)	30 (83%)	6 (67%)	0,042
Время операции, мин.	110 (100–142)	110 (95–120)	85 (57–110)	0,013
Кровопотеря, мл	150 (110–490)	150 (120–175)	100 (25–145)	0,003
Госпитализация, дни	7 (6–9)	7 (6–8)	7 (6–7)	0,056
Осложнения (всего), n (%)	20 (9%)	3 (6%)	1 (11%)	0,754
ТЭЛА	1 (0,5%)	0	0	0,873
Гемоторакс	3 (1,4%)	0	0	0,664
Пневмоторакс	4 (1,9%)	0	0	0,578
Ревизия по поводу гематомы	11 (5,1%)	2 (4,1%)	1 (11,1%)	0,680
Лимфоррея	1 (0,5%)	0	0	0,873
Нейропатия туловища	4 (1,9%)	1 (2%)	0	0,914
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса</i>				

Также следует отметить факт возможности полной коррекции подобной деформации даже за счет короткосегментарной транспедикулярной системы не представляет сложностей. В группе с нестабильной фиксацией не удалось полностью устранить сколиоз в 65% случаев, тогда как в группе со стабильной фиксацией – только в 18% (Рисунок 144).

Критический дефицит просвета позвоночного канала – достаточно редкое явление среди больных, включенных в исследование, и выявлен только у 34% (92/273) пациентов. Это, по всей видимости, обусловлено целенаправленным отбором неврологически интактных пациентов. Достичь ремоделирования позвоночного канала за счет лигаментотаксиса удалось в 75% (69/92) случаев. Однако в группе с нестабильностью фиксации коррекция ДППК была выполнена только у 33%, а в группах со стабильной фиксацией и с остеонекрозом в 78% и 71%, соответственно (p=0,006) (Рисунок 145).

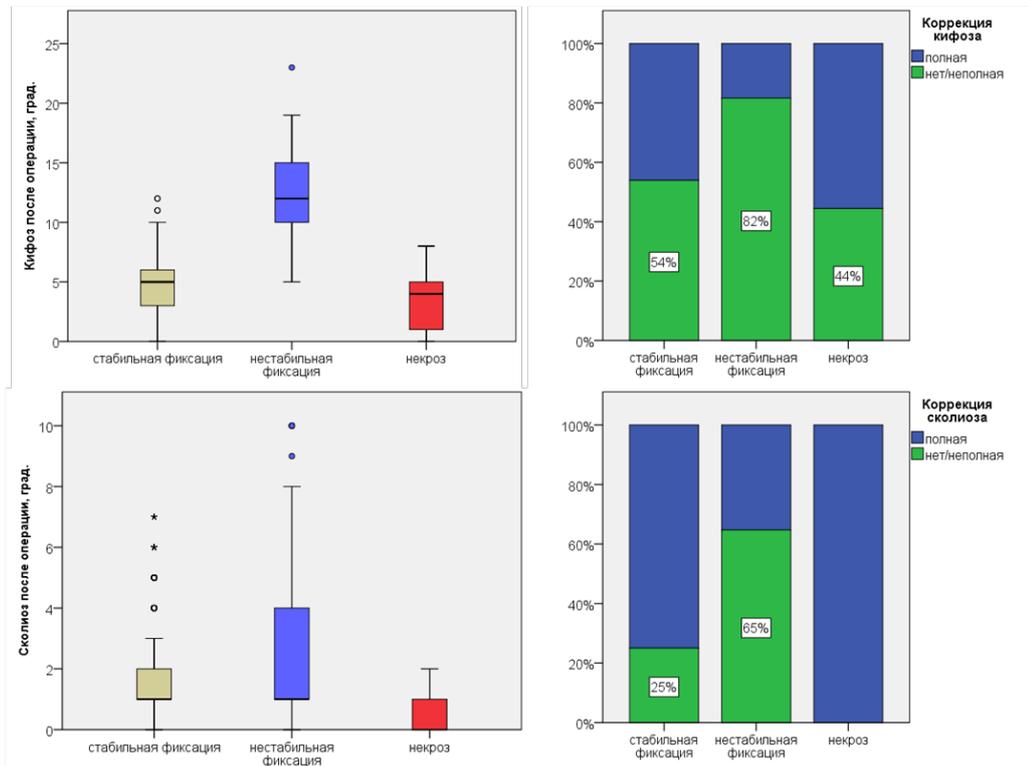


Рисунок 144 – Распределение в группах по степени коррекции кифотической и сколиотической деформации после операции

Группы стабильной и нестабильной фиксации значительно не различались по частоте удовлетворительной коррекции потери высоты передней колонны (91% и 83%, соответственно). Однако в группе с остеонекрозом значительно чаще не удавалось полноценно восстановить высоту травмированного позвонка. Коррекция выполнена только у 67% пациентов ($p=0,042$).

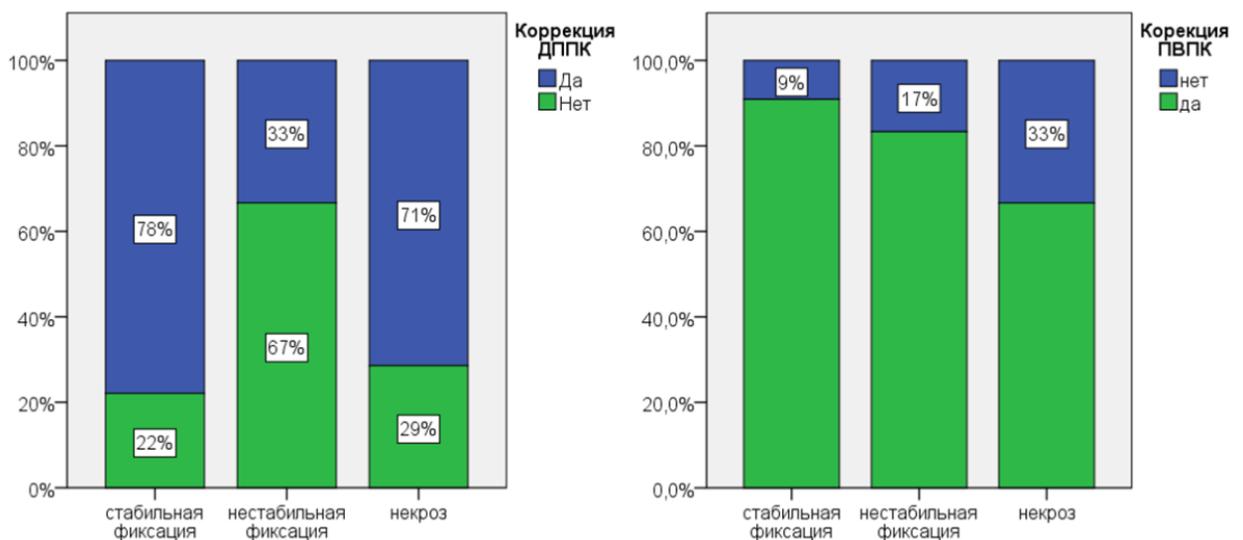


Рисунок 145 – Распределение в группах по степени коррекции ДППК и ПВПК

Время операции не различалось в группах со стабильной и нестабильной фиксацией, однако было чуть ниже в группе с остеонекрозом. Объем кровопотери был также существенно больше в группах со стабильной и нестабильной фиксации, чем в группе с остеонекрозом. Это объясняется отсутствием в группе с остеонекрозом больших комбинированных и вентральных вмешательств.

Группы не различались по частоте осложнений. Всего осложнения выявлены у 8,8% (24/273) пациентов. В одном случае развилась нефатальная тромбоэмболия мелких ветвей легочной артерии. Пациент на фоне антикоагулянтного лечения с положительной динамикой был выписан на 10 сутки. Легочные осложнения (гемоторакс и пневмоторакс) после вентрального доступа развились у 7 пациентов. Также после вентрального доступа у 1,8% (5/273) пациентов отмечена нейропатия нервов туловища. С накоплением опыта и уменьшением травматичности доступа удалось добиться уменьшения частоты этого осложнения. Санации гематомы в *m. psoas* не потребовалось ни в одном случае, осложнения купировались на фоне консервативного лечения. Ревизия после отхождения гематомы с формированием вялогранулирующей раны после дорсального доступа выполнена у 5,1% (14/273) пациентов. Лимфоррея после торакофрентомии развилась у 1 пациента, купировалась самостоятельно в течение 8 суток. Также группы не различались по срокам госпитализации. Медиана сроков госпитализации составила 7 (6–9) дней.

Таким образом, в ходе однофакторного анализа мы выявили значимые количественные и качественные предикторы нестабильности МК и остеонекроза позвонка. Для проведения дальнейшего регрессионного анализа с целью многофакторной оценки предикторов мы построили ROC-кривые для значимых количественных признаков с целью поиска порогового значения с максимальной чувствительностью и специфичностью (индекс Юдена = Чувствительность+Специфичность-1).

В Таблице 65 представлены результаты логистического регрессионного анализа предикторов несостоятельности МК и остеонекроза. Переменные, включенные в регрессию, имели $p < 0,5$ при однофакторном анализе. Мы выявили, что значимыми предикторами несостоятельности фиксации (фрагментирование и

миграция МК) являются: ИМТ более 28 кг/м² (ОШ 6,8 [2,3–20,7]), срок после травмы более 21 дня (ОШ 2,5 [1,1–6,4]); уровень поражения L1 (ОШ 3,1 [1,2–8,3]); перелом типа А4 по AOSpine (ОШ 5,8 [1,0–31,8]); кифоз до операции более 18 град. (ОШ 11,8 [4,4–31,5]); бисегментарная ТПФ (ОШ 6,7 [1,3–32,5]); отсутствие промежуточной фиксации (ОШ 22,2 [5,0–97,0]); и угол остаточной кифотической деформации более 8 град. (ОШ 17,7 [5,5–57,3]).

Для удобства клинического применения выявленных предоперационных предикторов мы провели дискриминантный анализ с получением нормированных коэффициентов канонической дискриминантной функции. Это позволило создать балльную шкалу факторов риска несостоятельности фиксации (Таблица 66).

Таблица 65 – Многофакторный регрессионный анализ предикторов несостоятельности фиксации

Параметр	В	Вальд	р	Exp (В)	95% Дов. интервал	
					нижняя	верхняя
Возраст > 38 лет	1,07	1,80	0,180	2,9	0,6	13,8
ИМТ > 28 кг/м²	1,93	11,66	0,001	6,8	2,3	20,7
Женский пол	1,11	2,32	0,128	3,1	0,7	13,5
Срок после травмы > 21 дней	1,03	3,80	0,041	2,5	1,1	6,4
Уровень повреждения L1	1,15	5,41	0,020	3,1	1,2	8,3
Тип перелома А4 по AOSpine	1,77	4,16	0,041	5,8	1,1	31,9
Кифоз до операции > 18 град.	2,47	24,26	<0,001	11,8	4,4	31,5
ТПФ 4 винта	1,90	5,58	0,018	6,7	1,4	32,5
Отсутствие промежуточной фиксации	5,40	7,84	0,005	22,3	5,1	97,1
Ламинэктомия	1,20	1,62	0,203	3,3	0,5	20,9
Длина винта меньше половины тела позвонка	0,96	3,74	0,053	2,6	1,0	6,9
Неполная коррекция кифоза	2,01	3,50	0,061	7,5	0,9	61,5
Остаточный кифоз > 8 град.	6,64	25,19	<0,001	17,7	5,6	57,3
Неполная коррекция сколиоза	1,53	2,80	0,094	4,6	0,8	27,7
Остаточный сколиоз > 7 град.	1,89	2,78	0,096	6,6	0,7	60,7
Не полная коррекция ДППК	1,33	3,01	0,083	3,8	0,8	17,0
Не полная коррекция ПВПК	-1,52	6,60	0,315	0,5	0,2	5,7
Константа	-35,17	29,37	<0,001	<0,001		

*Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили;
* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса*

Таблица 66 – Нормированные коэффициенты канонической дискриминантной функции прогностической шкалы риска развития нестабильности фиксации

Параметр	Функция	Количество баллов
Тип перелома А4 по AOSpine	,197	1
Уровень повреждения L1	,270	1
Срок после травмы > 21 дней	,297	2
Кифоз до операции > 18 град.	,527	3
ИМТ > 28 кг/м ²	,622	3
<i>Примечание: Лямбда Уилкса – 0,671; Хи-квадрат – 107,1; p<0,001</i>		

Таким образом, полученная прогностическая шкала позволяет выставить минимум 0 и максимум 10 баллов. У всех пациентов была подсчитана сумма баллов. При проведении ROC-анализа и вычислении наибольшего индекса Юдена, выявлено, что пороговым значением является наличие 4 баллов с чувствительностью 90% и специфичностью 76% в предсказании несостоятельности МК (AUC – площадь под кривой составила 0,868) (Рисунок 146).

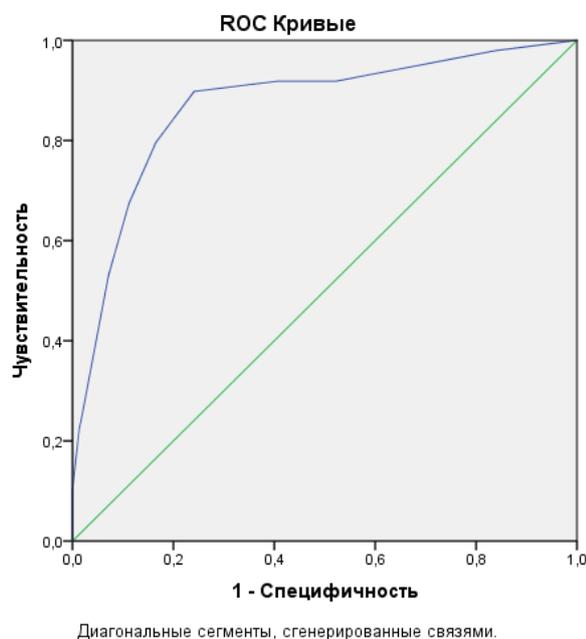


Рисунок 146 – ROC-анализ риска развития несостоятельности фиксации после операции в зависимости от количества баллов прогностической модели

Значимыми предикторами остеонекроза позвонка в послеоперационном периоде оказались: возраст старше 47 лет (ОШ 29,9 [2,7–62,5]), перелом типа А4 по

AOspine (ОШ 12,2 [1,7–76,8]), расширение позвонка более 63% (ОШ 13,9 [1,8–105,3]) и наличие дефицита просвета позвоночного канала (ОШ 12,2 [1,5–99,5]) по данным предоперационного КТ (Таблица 67).

Таблица 67 – Многофакторный регрессионный анализ предикторов развития посттравматического остеонекроза позвонка

Параметр	В	Вальд	р	Exp (В)	95% Дов. интервал для EXP(В)	
					нижняя	верхняя
Возраст > 47 лет	3,999	7,9	0,005	29,9	2,79	62,55
Женский пол	2,337	2,802	0,094	10,351	0,67	59,73
Уровень поражения L1	-2,25	3,041	0,081	0,105	0,008	1,323
Тип перелома А4 по AOspine	3,101	5,802	0,016	12,2	1,78	76,89
Расширение позвонка > 63%	2,634	6,512	0,011	13,93	1,84	105,37
ДППК есть	2,509	5,529	0,019	12,29	1,51	99,57
ПВПК > 39 %	1,271	2,152	0,555	3,56	0,053	41,94
ТПФ 4 винта	3,333	3,148	0,076	28,01	0,7	112,49
Не полная коррекция ПВПК	1,88	1,468	0,226	6,55	0,31	37,21
Константа	-21,526	18,671	<0,001	<0,001		

Для удобства клинического применения выявленных предоперационных предикторов мы провели дискриминантный анализ и разработали балльную шкалу факторов риска посттравматического остеонекроза (Таблица 68).

Таблица 68 – Нормированные коэффициенты канонической дискриминантной функции прогностической шкалы риска развития посттравматического остеонекроза позвонка

Параметр	Функция	Количество баллов
Тип перелома А4 по AOspine	,339	1
ДППК есть	,374	1
Расширение позвонка > 63%	,588	2
Возраст > 47 лет	,754	2

Примечание: Лямбда Уилкса – 0,671; Хи-квадрат – 107,1; p<0,001

Полученная прогностическая шкала позволяет выставить минимум 0 и максимум 6 баллов. У всех пациентов была подсчитана сумма баллов. При

проведении ROC-анализа и вычислении наибольшего индекса Юдена, выявлено, что пороговым значением является наличие 4 баллов с чувствительностью 78% и специфичностью 90% в предсказании посттравматического остеоостеонекроза позвонка (AUC – площадь под кривой составила 0,950) (Рисунок 147).

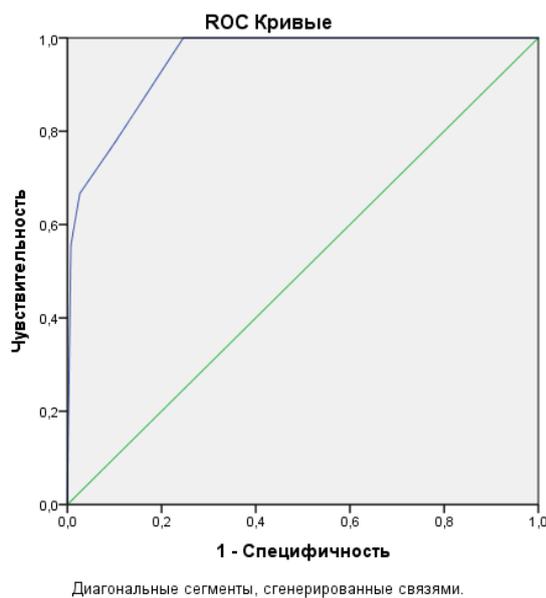


Рисунок 147 – ROC-анализ риска развития посттравматического остеоостеонекроза позвонка после операции в зависимости от количества баллов прогностической модели

Клинический пример. Пациент В., 34 года. Закрытая неосложненная травма переходного грудопоясничного отдела позвоночника с компрессионно-оскольчатый переломом L1 позвонка (тип А4 по классификации AOSpine) (Рисунок 148) получена в результате падения с высоты 8 метров. Болевой синдром 8 баллов ВАШ. Функциональные возможности по ODI 44%. Учитывая характер повреждения и сочетанные повреждения (диафизарный перелом бедренной кости и костей голени) через 4 дня после травмы выполнен 1-й этап спондилосинтеза согласно разработанной методике (Патент на изобретение № 2717922 от 10.10.2019 г. [48], Рисунок 149).

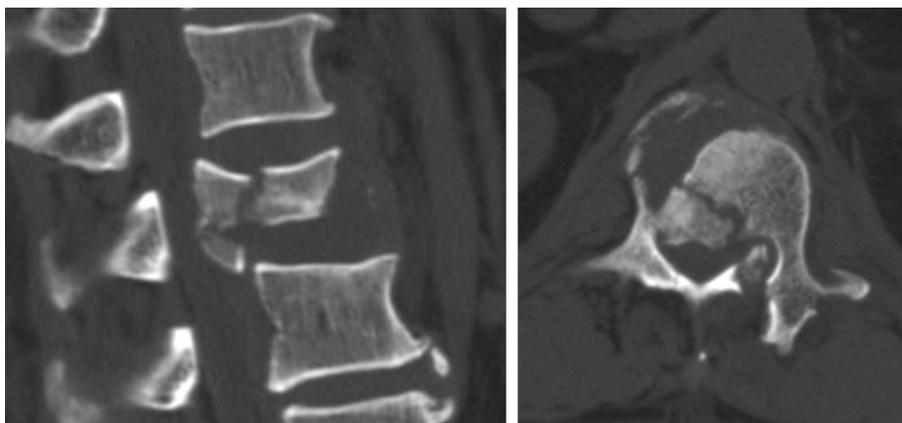


Рисунок 148 – КТ пациента В. до операции

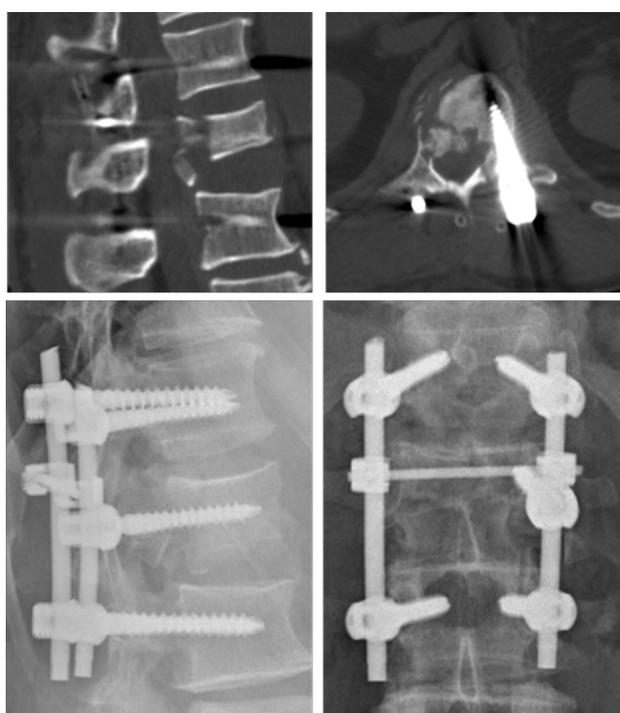


Рисунок 149 – Рентгенограммы и КТ пациента В. после 1 этапа операции

За счет репозиции фрагментов поврежденного позвонка путем применения промежуточной транспедикулярной фиксации достигнуто ремоделирование просвета позвоночного канала. На протяжении 3 месяцев после транспедикулярного спондилосинтеза фиксация стабильна. Затем, после коррекции соматических нарушений, осуществлен передний корпородез имплантатом MESH, аутокостью из торакофренолюмботомического доступа (Рисунок 150).

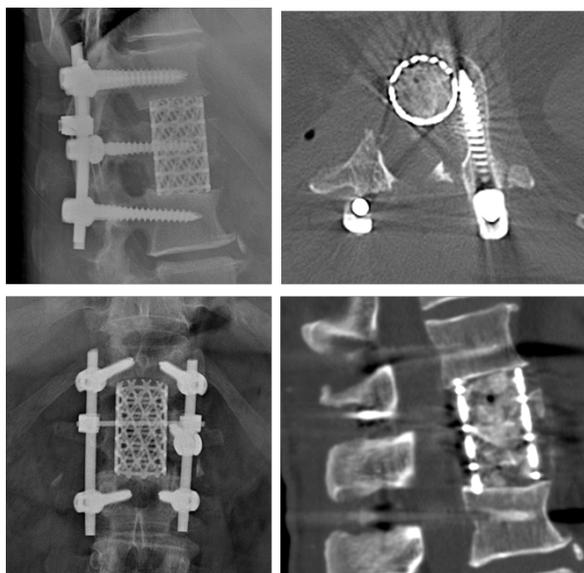


Рисунок 150 – Рентгенограммы и КТ пациента В. после 2 этапа операции

Общее время двух этапов операции составило 170 минут, суммарная интраоперационная кровопотеря составила 400 мл. Активизация пациента после обоих этапов операции была выполнена в первые сутки после операции. Суммарно в стационаре за обе госпитализации больной провел 17 суток. Интенсивность болевого синдрома после первого этапа спондилосинтеза снизилась до 4 баллов, ODI снизилась до 22%. Достигнуто полное устранение дефицита просвета позвоночного канала (исходно – 65%). Через 12 месяцев после операции болевой синдром и ODI регрессировали до 2 баллов и 14% соответственно. На контрольном КТ – костный блок (Рисунок 151).

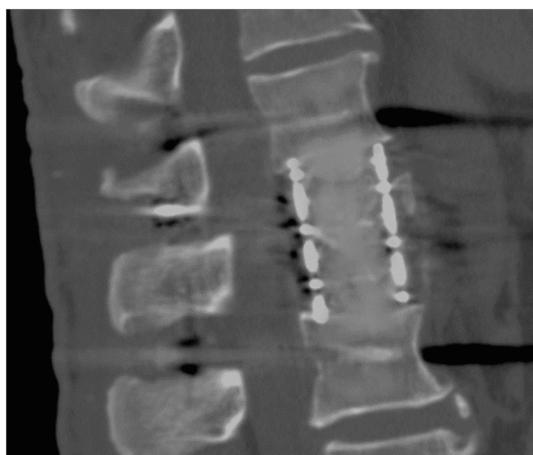


Рисунок 151 – КТ пациента В. через 1 год после операции

4.4. Разработка и обоснование алгоритма лечения

Выявленные предикторы и биомеханическое моделирование позволили оптимизировать алгоритм хирургического лечения при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения.

На Рисунке 152 представлен предложенный нами новый алгоритм хирургического лечения при повреждениях грудопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения.

При переломах типа A0 и A1 проводили ортезирование, хирургическое лечение не показано.

При переломах A2 и тяжелой соматической патологии ASA >3 (обострение хронических заболеваний, тяжелая политравма) также выполняли ортезирование. В дальнейшем при стабилизации состояния пациента при необходимости осуществляли транспедикулярный остеосинтез. При стабильном состоянии пациента ориентировались на плоскость линии перелома. При фронтальной ориентации линии перелома выполняли компрессирующий транспедикулярный остеосинтез (Патент № 99316 от 27.05.2010 г. [52]). При саггитальной – транспедикулярный остеосинтез с дополнительными репозиционными возможностями (Патент № 2478342 от 16.02.2012 г. [46]).

При перелома типа A3 и тяжелом соматическом статусе выполняли этапный спондилосинтез (Патент № 2717921 от 10.10.2019 г. [47]). Первым этапом осуществляли бисегментарную ТПФ и вертебропластику пораженного позвонка костным цементом. В дальнейшем через 2–4 недели при стабилизации состояния выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». При удовлетворительном соматическом статусе оценивали степень сегментарной кифотической деформации, наличие предикторов остеонекроза (более 4 баллов по шкале риска, Таблица 69), предикторов нестабильности (более 4 баллов по шкале риска, Таблица 69) и срок травмы.

Таблица 69 – Шкалы риска развития нестабильности фиксации и остеонекроза травмированного позвонка

Нестабильность металлофиксации	Количество баллов
Тип перелома A4 по AOSpine	1
Уровень поражения L1	1
Срок после травмы > 21 дней	2
Кифоз до операции > 18 град.	3
ИМТ > 28 кг/м ²	3
ПОВЫШЕН РИСК	> 4
Остеонекроз поврежденного позвонка	Количество баллов
Тип перелома A4 по AOSpine	1
ДППК есть	1
Расширение позвонка > 63%	2
Возраст > 47 лет	2
ПОВЫШЕН РИСК	> 4

При выраженном сегментарном кифозе (>18 град.) и наличии повышенного риска остеонекроза травмированного позвонка выполняли симультанно полисегментарную ТПФ 8-винтовой конструкцией и вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH».

При выраженном кифозе, но отсутствии риска остеонекроза и при сроке после травмы (< 21 дня) выполняли ТПФ 6 винтами, расположенными в «шахматном» порядке. При сроке более 21 дня – ТПФ 8-винтовой конструкцией. В обоих случаях прицельно оценивали КТ через 2 мес. после операции для исключения признаков посттравматического остеонекроза. При выявлении признаков посттравматического остеонекроза впоследствии выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». В остальных случаях металлоконструкцию удаляли через 16–18 месяцев после операции.

В случае перелома типа A3 и отсутствии выраженного кифоза оценивали предикторы нестабильности МК. При низком риске нестабильности и остеонекроза выполняли бисегментарную ТПФ с промежуточной фиксацией (установка 1 винта в травмированный позвонок, Патент 2717922 от 10.10.2019 г. [48]). В дальнейшем оценивали КТ через 2 мес. после операции для исключения признаков развития посттравматического остеонекроза. При выявлении остеонекроза выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». В остальных случаях проводили удаление МК через 16–18 месяцев после операции. При

высоком риске нестабильности и остеонекроза выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH».

При переломе типа А4 и тяжелом соматическом статусе выполняли этапный спондилосинтез (Патент № 2717921 от 10.10.2019 г. [47]). Первым этапом осуществляли бисегментарную ТПФ и вертебропластику пораженного позвонка рентгенконтрастным костным цементом на основе полиметилметакрилата. В дальнейшем через 2–4 недели при стабилизации состояния выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». При удовлетворительном соматическом статусе оценивали степень сегментарной кифотической деформации. Сегментарный кифоз более 18 град. являлся показанием к выполнению симультанно полисегментарной ТПФ 8-винтовой конструкцией и вентрального спондилодеза с установкой кейджа типа «MESH». При отсутствии выраженного сегментарного кифоза (< 18 град.) и наличии риска остеонекроза осуществляли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». Отсутствие предикторов остеонекроза при небольшом сроке давности травмы (< 21 дня) было показанием к ТПФ 6 винтами, расположенными в «шахматном» порядке. При сроке более 21 дня – ТПФ 8-винтовой конструкцией. В обоих случаях прицельно оценивали КТ через 2 мес. после операции для исключения признаков посттравматического остеонекроза. При выявлении остеонекроза выполняли вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH». В остальных случаях проводили удаление МК через 16–18 месяцев после операции.

При переломах типа В1 выполняли бисегментарную ТПФ. При переломах В2 и тяжелом соматическом статусе – ТПФ 8-винтовой конструкцией. При отсутствии тяжелой сопутствующей патологии и тяжелой политравмы алгоритм лечения включал ТПФ 8-винтовой конструкцией и компрессирующий транспедикулярный остеосинтез или транспедикулярный остеосинтез с дополнительными репозиционными возможностями в зависимости от типа перелома А2.

При переломах типа С и тяжелом соматическом статусе выполняли ТПФ 8-винтовой конструкцией. При отсутствии тяжелой сопутствующей патологии и

тяжелой политравмы оценивали срок травмы. При малом сроке (< 21 дня) выполняли ТПФ 8-винтовой конструкцией, дискэктомия и установку контейнерного межтелового имплантата, заполненного аллокостью. При «старых» повреждениях (>21 дня) – корпорэктомия, ТПФ 8-винтовой конструкцией и вентральный спондилодез с установкой кейджа типа «MESH».

Для обоснования алгоритма проведено сравнительное ретроспективное исследование. Всего 160 пациентов вошло в исследование: группа контроля (100 человек, прооперированных в 2015–2017 гг.) и группа с применением нового алгоритма (60 человек, прооперированных в 2018–2019 гг.).

В исследование вошли пациенты с одноуровневой травмой позвоночника в области грудопоясничного перехода (Th11-L2). Критерии невключения были следующие: возраст менее 18 лет; неврологический дефицит; не скорректированная тяжелая сопутствующая патология; многоуровневое поражение; остеопороз (минеральная плотность костной ткани до данным денситометрии ниже среднего уровня пика костной массы более чем на -2,5 SD); выраженный дегенеративный лордоз, кифоз или сколиоз; патологический перелом на фоне опухоли, анкилозирующего спондилита или воспалительного артрита; активный инфекционный процесс; застарелый перелом (срок травмы более 40 дней); оперированный в анамнезе позвоночник.

Оценивали непосредственные и отдаленные (до 12 мес.) результаты хирургического лечения. Сразу после операции, через 2 мес., через 6 мес. и через 12 мес. исходы удалось проследить у 160 (100%), 153 (96%), 149 (93%), и 132 (83%) пациентов, соответственно.

В Таблицах 70 и 71 представлены основные клинические и инструментальные данные перед операцией. Не выявлено статистически значимых различий по основным клиническим и инструментальным данным перед операцией, группы были сопоставимыми. В основном в исследование вошли мужчины (68% и 65%) с медианой возраста 43 (31–47) и 40 (31–48) лет в группе контроля и алгоритма, соответственно. Таким образом, в большинстве своем пациенты были мужчинами трудоспособного возраста. Отмечалась тенденция к

избыточной массе тела в обеих группах, медиана ИМТ составила 25 (23–27) и 25 (24–26), соответственно.

Таблица 70 – Основные клинические данные перед операцией

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p*
Возраст, года	43 (31–47)	40 (31–48)	0,605
ИМТ, кг/м ²	25 (23–27)	25 (24–26)	0,579
Мужчины, n (%)	68 (68%)	39 (65%)	0,731
Срок после травмы, дни	14 (10–20)	15 (10–19)	0,682
Классификация ASA, n (%)			
I степень	50 (50%)	34 (57%)	0,287
II степень	43 (43%)	19 (32%)	
III степень	7 (7%)	7 (11%)	
ВАШ исходно, баллы	7 (7–8)	8 (7–8)	0,846
ODI исходно, %	40 (34–44)	40 (34–44)	0,281
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U-критерий Манна-Уитни</i>			

Таблица 71 – Основные инструментальные данные перед операцией

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p*
Денситометрия (Т-критерий), SD	- 1,3 (-1,6; 1,0)	- 1,1 (-2,1; -0,4)	0,532
Уровень поражения, n (%)			
Th11	5 (5%)	2 (3%)	0,469
Th12	28 (28%)	17 (28%)	
L1	53 (53%)	37 (62%)	
L2	14 (14%)	4 (7%)	
AOSpine, n (%)			
A2	6 (6%)	4 (7%)	0,458
A3	37 (37%)	23 (38%)	
A4	49 (49%)	24 (40%)	
B1	3 (3%)	2 (3%)	
B2	1 (1%)	4 (7%)	
C	4 (4%)	3 (5%)	
Кифоз, град.	14 (9–22)	14 (8–20)	0,703
Сколиоз, град.	2,5 (1–7)	4 (1–9)	0,131
Расширение позвонка, %	40 (30–57)	44 (22–55)	0,904
ДППК, n (%)	31 (31%)	23 (38%)	0,389
ПВПК, n (%)	87 (87%)	47 (78%)	0,185
ПВПК	35 (15–56)	39 (15–56)	0,176
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U-критерий Манна-Уитни</i>			

Время от получения травмы до операции варьировало от 3 до 39 дней. Медиана срока травмы не различалась между группами. Также группы не различались по соматическому статусу (ASA), болевому синдрому (ВАШ), и степени ограничения жизнедеятельности (ODI).

Пациенты с остеопорозом были исключены из исследования, группы не различались по отклонению Т-критерия при денситометрии. Группы не различались по уровню поражения. Превалировала травма L1 и Th12 позвонков. В обеих группах преимущественно встречались переломы типа А3 и А4 по классификации AOSpine (Рисунок 153).

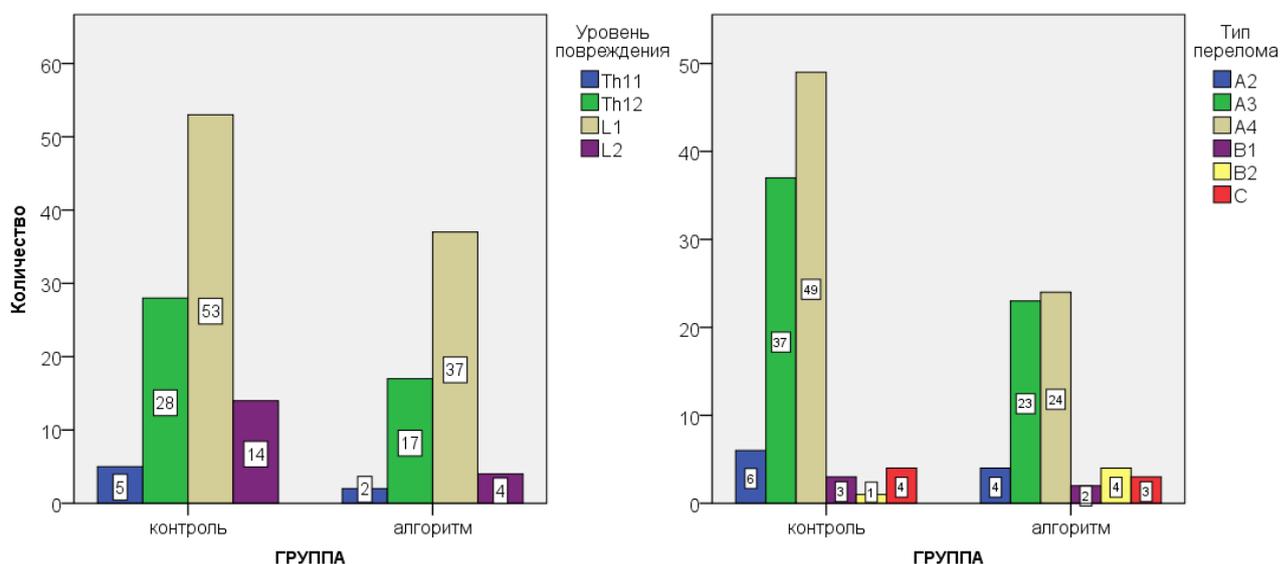


Рисунок 153 – Уровень повреждения позвоночника и тип перелома по AOSpine. Распределение параметров не различалось между группами

Группы не различались по степени кифотической и сколиотической деформации, расширению поврежденного позвонка по данным КТ, дефициту просвета позвоночного канала и потери высоты передней колонны. В Таблице 72 представлены основные интраоперационные данные в группах. Группы также не различались по типу операции и протяженности фиксации.

Таблица 72 – Распределение по типу операции, протяженности фиксации в группах контроля и применения алгоритма

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p*
Тип операции, n(%)			
ТПФ 4 винта	52 (52%)	22 (37%)	0,076
ТПФ 8 винтов	19 (19%)	6 (10%)	
ТПФ 6 винтов	6 (6%)	6 (10%)	
Комбинированное симультанное вмешательство (ТПФ+вентральный спондилодез)	9 (9%)	12 (20%)	
Комбинированное отсроченное вмешательство (ТПФ+вертебропластика и вентральный спондилодез)	4 (4%)	4 (7%)	
Изолированный вентральный спондилодез	10 (10%)	10 (16%)	
Протяженность фиксации, n(%)			
бисегментарная	70 (70%)	37 (62%)	0,301
четырёхсегментарная	30 (30%)	23 (38%)	
Промежуточная фиксация, n(%)	7 (7%)	10 (17%)	0,066
Ламинэктомия, n(%)	13 (13%)	6 (10%)	0,624
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U- критерий Манна-Уитни</i>			

В группе применения алгоритма с большей частотой использовали комбинированное симультанное дорсально-вентральное вмешательство и вентральный спондилодез, учитывая выявленные предикторы некроза (Рисунок 154). Также чаще применяли промежуточную фиксацию у пациентов с выявленными предикторами несостоятельности МК, однако различия не были статистически значимыми.

Основные результаты хирургического лечения в основной (алгоритм) и контрольной группах представлены в Таблице 73.

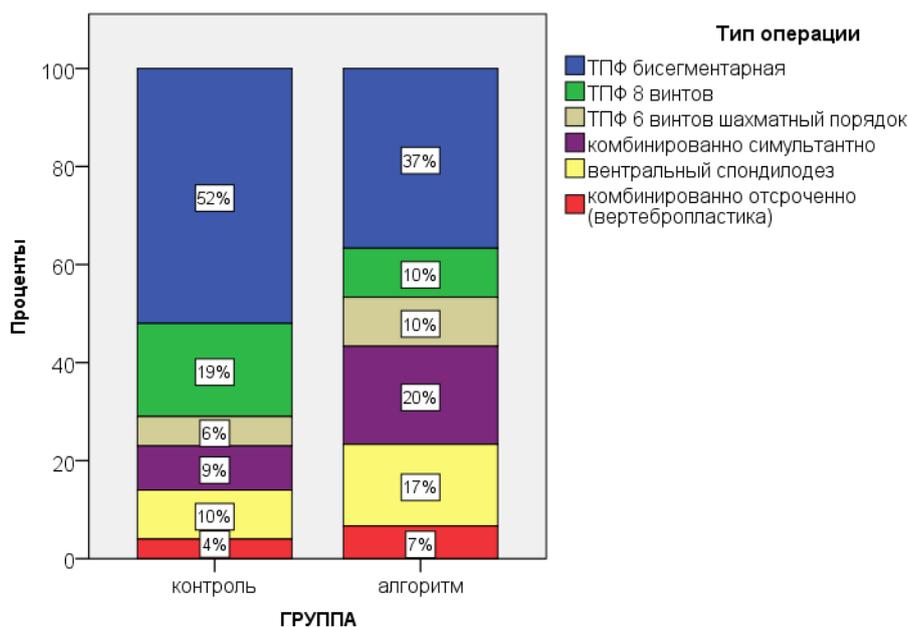


Рисунок 154 – Распределение по типу операции в группах контроля и применения алгоритма. Группы статистически значимо не различались

Таблица 73 – Основные результаты хирургического лечения

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p*
Время операции, мин.	110 (92;135)	115 (100;150)	0,139
Кровопотеря, мл	150 (110;200)	160 (110;221)	0,117
Госпитализация, дни	7 (6;8)	7 (7;9)	0,097
Коррекция кифоз, n (%)	40 (40%)	24 (40%)	0,565
Коррекция сколиоз, n (%)	33 (73%)	25 (74%)	0,596
Коррекция ДППК, n (%)	21 (66%)	16 (73%)	0,767
Коррекция ПВПК, n (%)	80 (92%)	43 (91%)	0,582
Нестабильность МК, n (%)	19 (19%)	4 (6,7%)	0,036
Остеонекроз поврежденного позвонка, n (%)	6 (6%)	2 (3%)	0,711
Реоперация, n (%)	21 (21%)	5 (8%)	0,046
Осложнения (всего), n (%)	12 (12%)	7 (12%)	0,544
Смерть	1 (1%)	0	0,625
ТЭЛА	1 (1%)	0	0,625
Гемоторакс	2 (2%)	0	0,528
Пневмоторакс	2 (2%)	1 (2%)	0,685
Ревизия по поводу гематомы	6 (6%)	4 (7%)	0,556
Лимфоррея	1 (1%)	0	0,625
Нейропатия туловища	4 (4%)	1 (2%)	0,621

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили;
* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и U- критерий Манна-Уитни

Время операции и степень кровопотери были выше в группе применения алгоритма, что связано с более частым применением комбинированных и

вентральных вмешательств. Однако различия не были статистически значимыми (Рисунок 155).

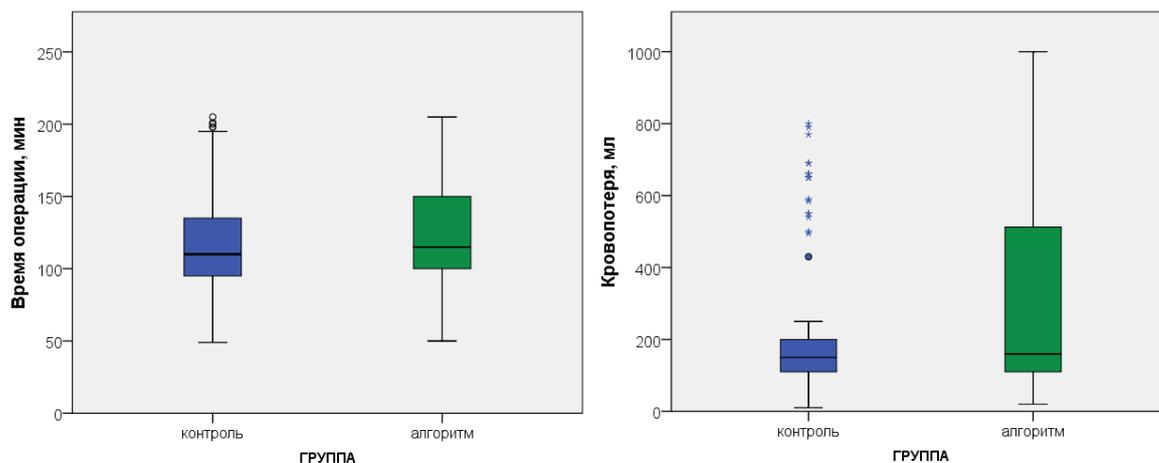


Рисунок 155 – Время операции и степень интраоперационной кровопотери в группах контроля и применения алгоритма. Данные не различались статистически значимо

Группы не различались по степени коррекции кифотической и сколиотической деформаций, ДППК, ПВПК и длительности госпитализации. В Таблице 74 представлено сравнение степени коррекции кифоза и сколиоза, а также данные контрольных исследований через 2, 6 и 12 мес. после операции в обеих группах. И в группе контроля, и в группе применения алгоритма отмечалось значимое снижение групповой медианы степени кифотической и сколиотической деформации сразу после операции. Коррекция сохранялась в течение всего времени наблюдения (Таблица 74, Рисунок 156).

В обеих группах отмечалось значимое снижение степени болевого синдрома (ВАШ) и ограничения жизнедеятельности (ODI). В течение 12 мес. после операции отмечено снижение обоих параметров (Таблица 75, Рисунок 157).

Таблица 74 – Сравнение степени коррекции кифоза и сколиоза, а также данные контрольных исследований через 2, 6 и 12 мес. после операции в обеих группах

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p (критерий χ^2 и U-Манна-Уитни)
Кифотическая деформация, градус			
до операции	14 (9;22)	14 (8;20)	0,703
после операции	5 (4;8)	5(3;8)	0,498
после операции 2 мес.	6 (5;9)	6 (5;11)	0,868
после операции 6 мес.	7 (5;9)	7 (5;11)	0,866
после операции 12 мес.	8 (6;10)	7 (6;10)	0,237
p (критерий Фридмена)	< 0,001	< 0,001	
Сколиотическая деформация, градус			
до операции	2,5 (1;7)	4 (1;9)	0,131
после операции	1 (0;2)	1 (1;3)	0,05
после операции 2 мес.	1 (0;2)	1 (1;2)	0,272
после операции 6 мес.	1 (0;1)	1 (1;2)	0,056
после операции 12 мес.	1 (0;1)	1 (1;3)	0,556
p (критерий Фридмена)	< 0,001	< 0,001	

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квантили

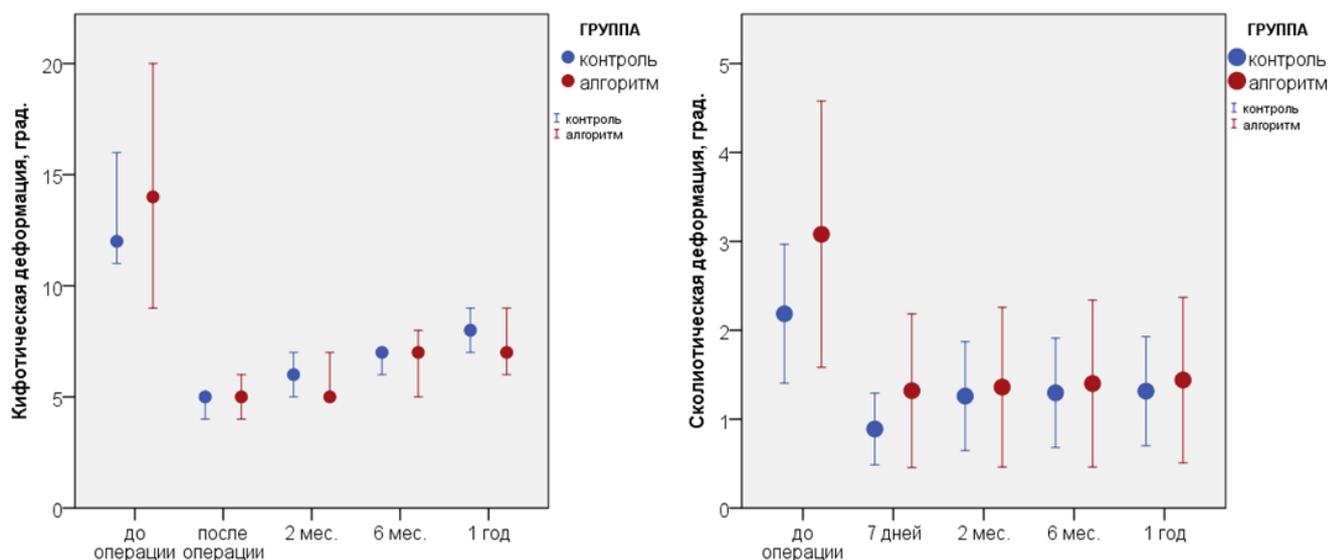


Рисунок 156 – Изменение степени кифоза и сколиоза после операции и на протяжении периода наблюдения (12 мес.) в группах контроля и применения алгоритма

Таблица 75 – Сравнение степени коррекции кифоза и сколиоза, а также данные контрольных исследований через 2, 6 и 12 мес. после операции

Параметр	Группа 1 Контроль n=100	Группа 2 Алгоритм n=60	p (критерий χ^2 и U-Манна- Уитни)
ВАШ, баллы			
до операции	7 (7;8)	8 (7;8)	0,846
после операции	4 (3;5)	4 (3;5)	0,828
после операции 2 мес.	2 (1;4)	2 (1;4)	0,661
после операции 6 мес.	2 (1;3)	2 (1;3)	0,342
после операции 12 мес.	2 (0;3)	2 (0;2)	0,506
p (критерий Фридмена)	< 0,001	< 0,001	
ODI, %			
до операции	40 (34;44)	40 (34;44)	0,281
после операции	24 (19;31)	22 (20;30)	0,581
после операции 2 мес.	15 (9;24)	14 (10;21)	0,95
после операции 6 мес.	10 (4;19)	15 (4;18)	0,95
после операции 12 мес.	7 (2;15)	3 (2;12)	0,217
p (критерий Фридмена)	< 0,001	< 0,001	

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили

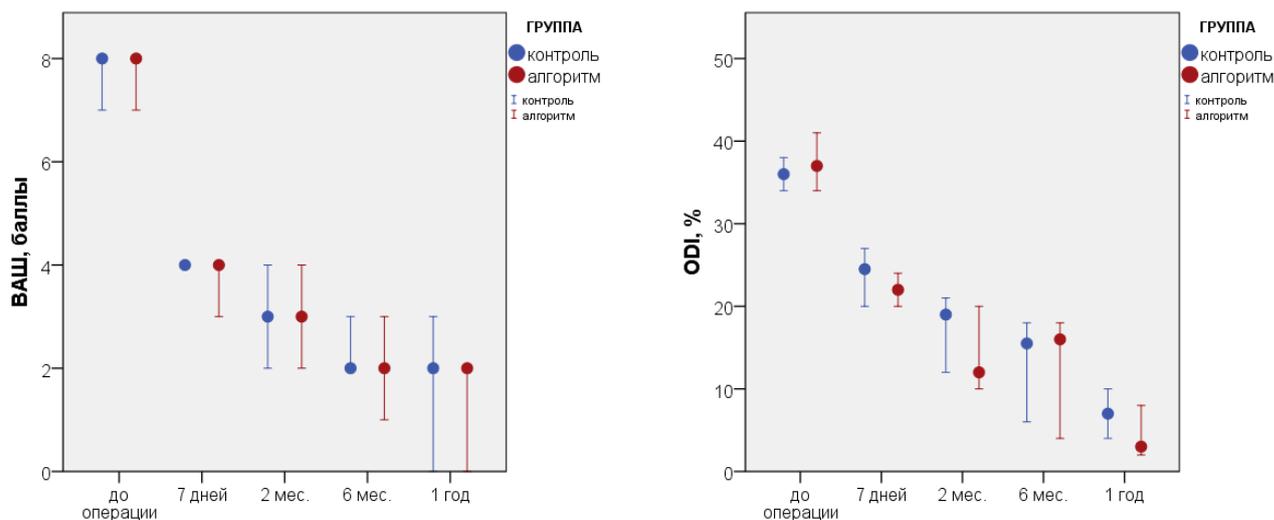


Рисунок 157 – Изменение степени болевого синдрома (ВАШ) и степени ограничения жизнедеятельности (ODI) после операции и на протяжении периода наблюдения (12 мес.) в группах контроля и применения алгоритма

Группы не различались по частоте осложнений. Всего осложнения выявлены у 12% пациентов в каждой группе. В одном случае в группе контроля развилась тромбоэмболия легочной артерии, что привело к смерти пациента на вторые сутки после операции. Легочные осложнения (гемоторакс и пневмоторакс) после

вентрального доступа развились в 4 случаях в группе контроля и у 1 пациента в группе применения алгоритма. Ревизионной операции не потребовалось ни в одном случае, осложнения купировались на фоне консервативного лечения. После вентрального доступа всего у 4 пациентов отмечена нейропатия нервов туловища. С накоплением опыта и уменьшением травматичности доступа удалось добиться уменьшения частоты этого осложнения (3 случая в группе контроля и 1 в группе применения алгоритма). Ревизия с санацией гематомы после дорсального доступа выполнена у 6 пациентов в группе контроля и 4 пациентов в группе применения алгоритма. Ликворея после дорсального доступа, которая купировалась на фоне постельного режима с возвышенным положением ножного конца кровати в течение 4 суток, развилась у 1 пациента в группе контроля.

Единственными значимыми различиями между группами оказались: частота нестабильности МК и реоперации по поводу нестабильности и остеонекроза поврежденного позвонка. Нестабильность фиксирующих систем наблюдали в 19% (19/100) в группе контроля и в 6,7% (4/60) в группе применения нового алгоритма. Среди всех причин нестабильности перелом винта в группе контроля наблюдался в 32% (6/19), миграция винта – 53% (10/19), перелом стержня – 10% (2/19), миграция стержня – 5% (1/19). В группе применения алгоритма распределение было следующим: перелом винта 25% (1/4), миграция винта – 50% (2/4), миграция стержня – 25% (1/4).

Частота остеонекроза поврежденного позвонка была ниже в группе применения алгоритма (6% в группе контроля и 3 % в группе применения алгоритма), однако различия не были статистически значимыми (Рисунок 158).

Группы различались значимо по частоте реоперации. В группе контроля реоперация выполнена в 21% (21/100) случаев, в группе применения алгоритма лишь в 8% (5/60) случаев.

При оценке риска выявлено, что применение нового алгоритма снижало риск развития нестабильности в 3,3 раза (ОШ – 3,3; 95% ДИ 1,1–10,2) и риск реоперации в 2,9 раза (ОШ – 2,9; ДИ 1,0–8,0).

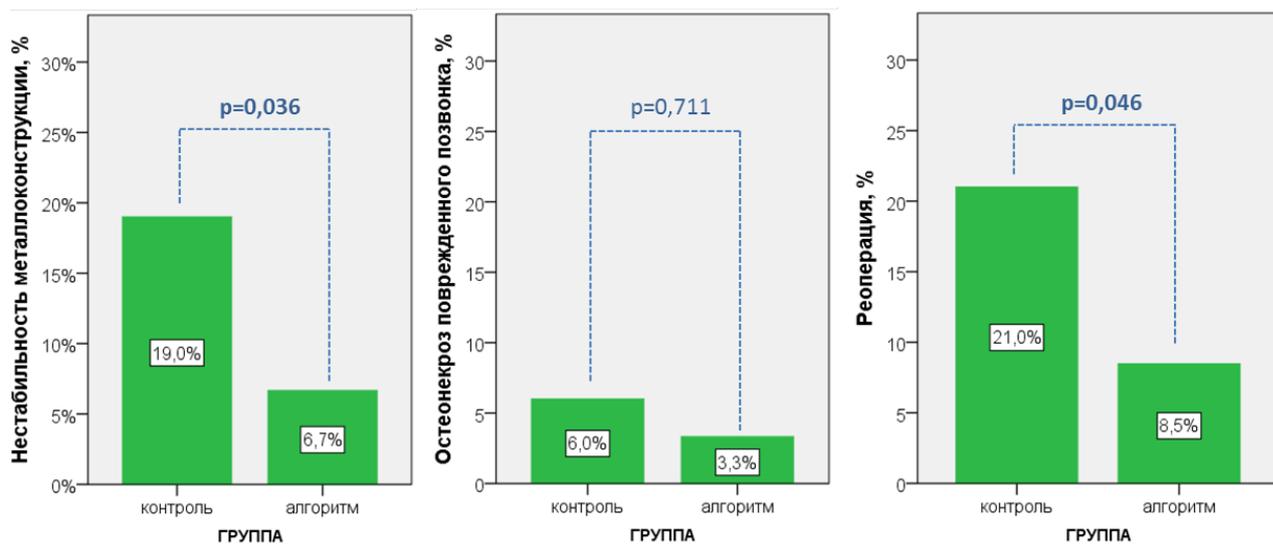


Рисунок 158 – Различия в группах контроля и применения алгоритма по частоте развития нестабильности МК, остеонекроза поврежденного позвонка и реоперации

Клинический пример 1. Пациент С., 48 лет. Закрытая неосложненная травма переходного грудопоясничного отдела позвоночника с компрессионно-оскольчатый переломом Th12 позвонка получена в результате автомобильной аварии. Больной оперирован до внедрения в практическую работу алгоритма хирургического лечения при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения. Ретроспективно по шкале риска развития посттравматического остеонекроза позвонка риск оценен в 5 баллов, т. е. высокий риск развития остеонекроза. (тип А4 по классификации AOSpine, Рисунок 159). Болевой синдром 8 баллов ВАШ. Функциональные возможности по ODI 42%. Через 16 дней после травмы пациент поступил в НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, выполнен транспедикулярный бисегментарный спондилосинтез. Достигнута реклинация тела позвонка. Интенсивность болевого синдрома после транспедикулярного спондилосинтеза снизилась до 3 баллов, ODI до 20%.

Через 2 месяца выполнена КТ, выявлен посттравматический остеонекроз тела поврежденного позвонка (Рисунок 160).

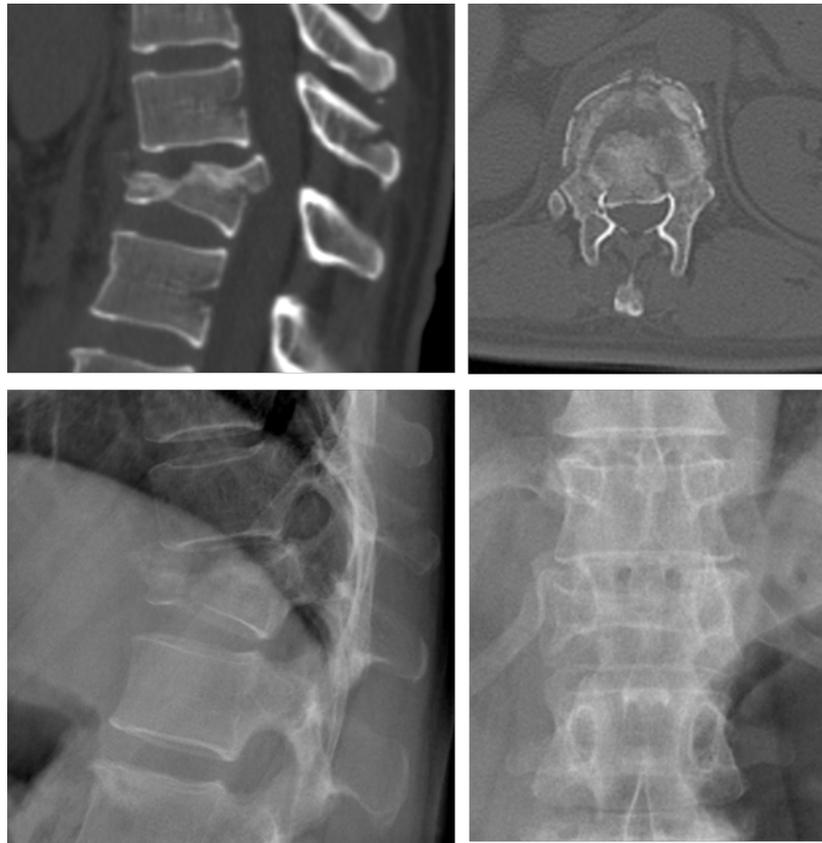


Рисунок 159 – Рентгенограммы и КТ пациента С. до операции

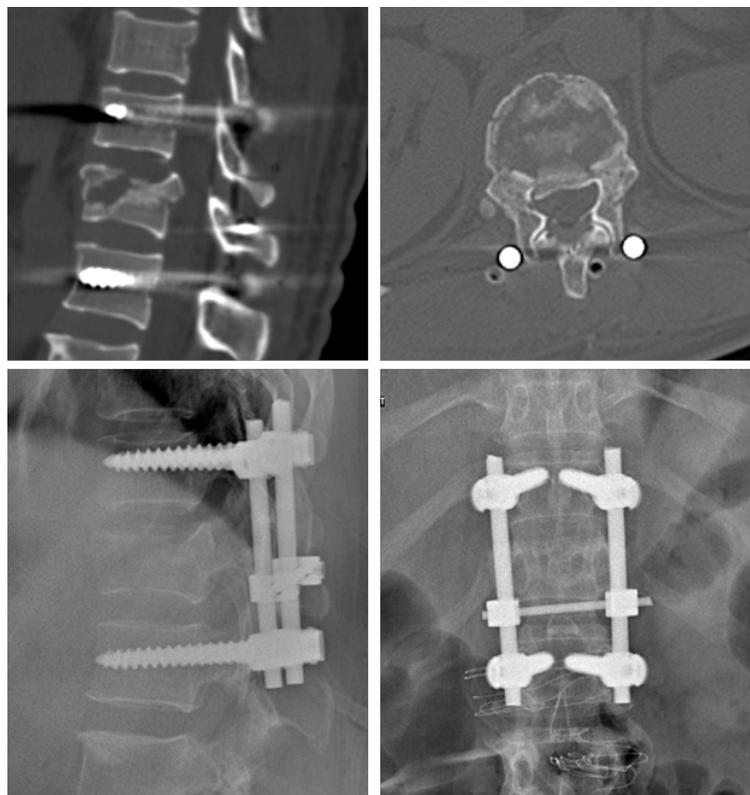


Рисунок 160 – Рентгенограммы и КТ пациента С. до операции. Хорошо визуализируется остеонокротический дефект передней опорной колонны тела поврежденного Th12 позвонка

Учитывая риск развития нестабильности фиксации и реколлапса тела позвонка, выполнен передний опорный корпородез (Рисунок 161).

Через 12 месяцев после операции болевой синдром и ODI регрессировали до 2 баллов и 16% соответственно. На контрольном КТ – костный блок.

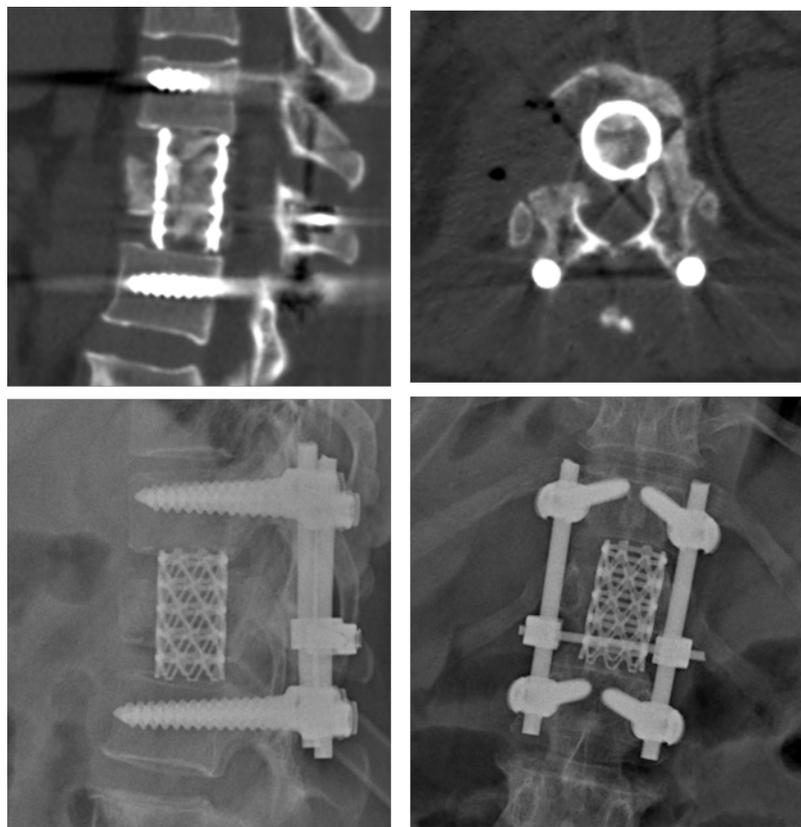


Рисунок 161 – Рентгенограммы и КТ пациента С. после выполнения переднего опорного корпородеза

Клинический пример 2. Пациент А., 42 года. Закрытая неосложненная травма переходного грудопоясничного отдела позвоночника с компрессионно-оскольчатый переломом L1 позвонка (тип А4 по классификации AOSpine, Рисунок 162) получена в результате падения с высоты 6 метров. Болевой синдром 7 баллов ВАШ. Функциональные возможности по ODI 46%. Через 23 дня после травмы пациент поступил в НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, выполнен транспедикулярный полисегментарный спондилосинтез согласно предложенному алгоритму (Рисунок 163).



Рисунок 162 – Рентгенограммы и КТ пациента А. до операции

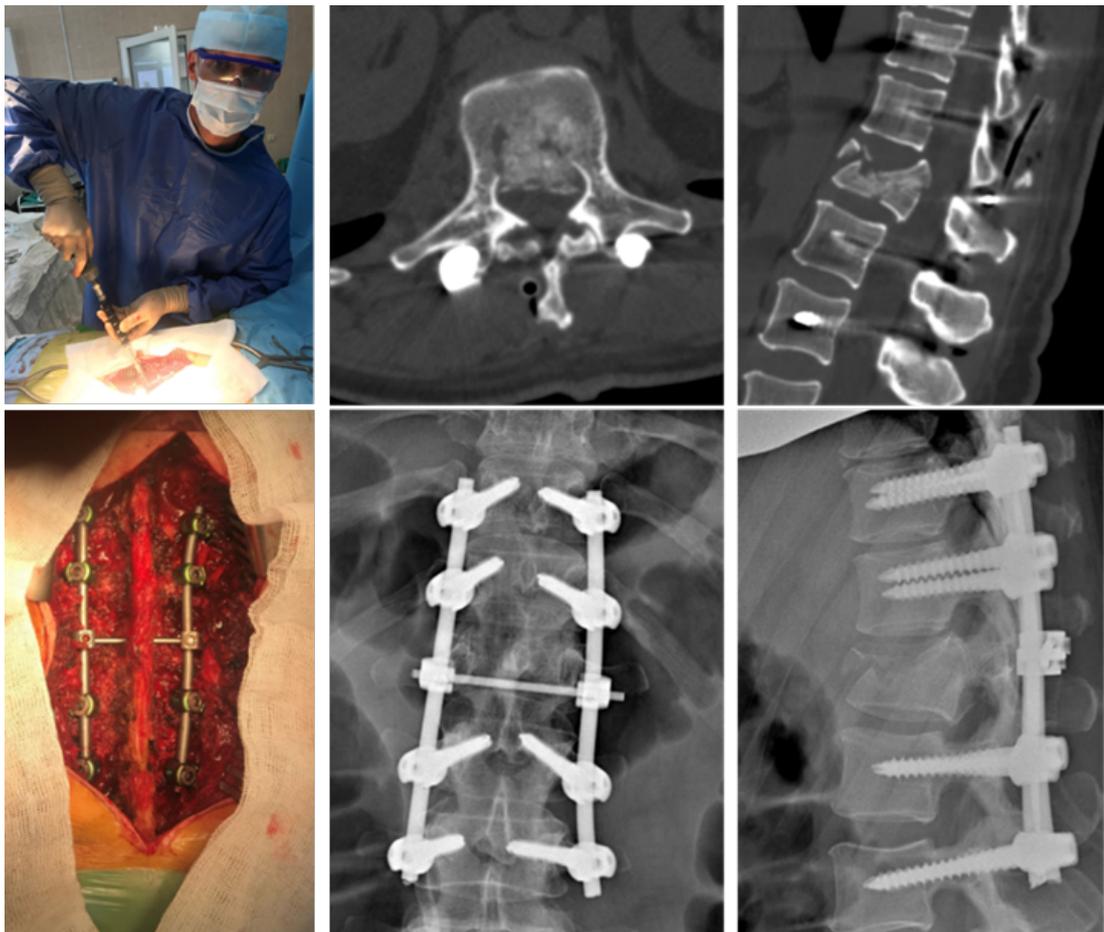


Рисунок 163 – Транспедикулярный спондилосинтез.
Рентгенограммы и КТ пациента А. после операции

Достигнуто ремоделирование просвета позвоночного канала с 70% до 30% эффектом лигаментотаксиса. На протяжении 2 месяцев после транспедикулярного спондилосинтеза фиксация стабильна. На контрольной КТ – перелом консолидирован (Рисунок 164). МК удалена через полтора года после вмешательства.

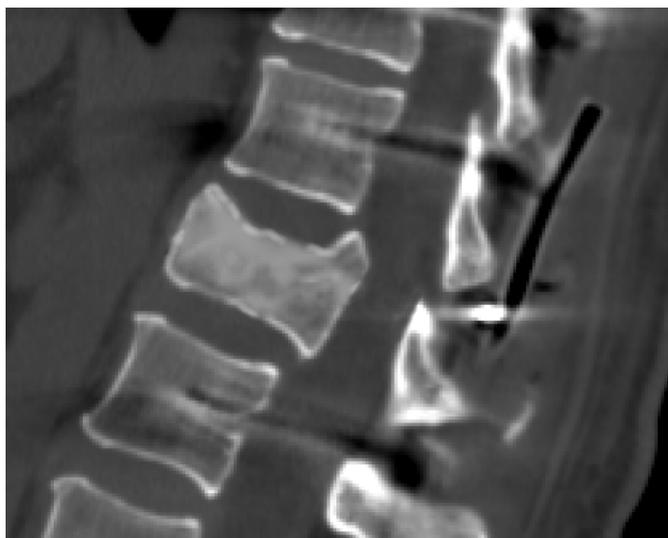


Рисунок 164 – КТ пациента А. через 14 месяцев после операции. Сросшийся в условиях полисегментарной транспедикулярной фиксации оскольчатый перелом L1 позвонка

4.5. Обсуждение результатов

Анализ литературных источников, а также собственное исследование клинических данных и биомеханического моделирования показали, что проблема выбора тактики хирургического лечения повреждений переходного грудопоясничного отдела позвоночника по-прежнему актуальна и требует продолжения клинических и экспериментальных исследований.

Данные, полученные нами при биомеханическом моделировании позвонков переходного грудопоясничного отдела и смежных с ним позвонков, демонстрируют повышенные в среднем на 26% значения эквивалентных напряжений в кортикальном слое и губчатой кости Th11-L2 позвонков. При экстремальных нагрузках наибольшие эквивалентные напряжения возникают в

губчатом слое позвонка L1. По данным, полученным при биомеханическом моделировании уровень эквивалентных напряжений в губчатой кости позвонка L1 превышает уровень напряжений в других позвонках в 1,5 и более раз и может достигать 3,9 МПа. Данное наблюдение соответствует литературным сведениям о наибольшем распространении в структуре травмы позвоночника оскольчатых (A3, A4) переломов L1 позвонка – до 30% [308] и может рассматриваться как отражение адекватной валидации имитационных моделей. Вместе с тем тот факт, что это превышение выявлено при прилагаемых нагрузках, соответствующих повседневным физиологическим, а также при типичном для данного контингента больных падения с высоты собственного роста, предъявляет повышенные требования к стабильности имплантируемых на этом уровне металлоконструкций, причем картина распределения эквивалентных напряжений в костной ткани с преимущественной концентрацией «красных зон» в двух передних опорных колоннах демонстрирует необходимость стремиться к максимальному восстановлению их стабильности при хирургической реконструкции. Расположение зоны критических эквивалентных напряжений к краниальной замыкательной пластинке также соответствует типичной зоне травматической костной деструкции при переломах типа A3 (AOSpine). Тенденция соответствия расположения зон повышенных эквивалентных напряжений типичным линиям перелома при имитации флексивно-дистракционного повреждения типа Chance (перелом типа В «перелом ремнем безопасности»). Классический механизм повреждения – компрессия передней опорной колонны, дистракция средней и задней колонн вследствие флексии относительно точки опоры, находящейся впереди от позвоночного столба. «Красные зоны» при имитации перелома типа С (комбинированный, флексивно-ротационный механизм травмы) локализованы в межсуставном участке дуги L1 позвонка и смежных замыкательных пластинках Th12-L1 позвонков, что сопоставимо с типичной картиной подобного повреждения. Обобщая данные распределения пиковых значений полей эквивалентных напряжений, следует отметить максимальную вовлеченность двух передних опорных колонн позвоночного столба при всех типах повреждений

переходного груднопоясничного отдела позвоночника (А, В, С по классификации AOSpine). С одной стороны, это соответствует распределению повреждений по морфологии травматических изменений, с другой – может трактоваться, разумеется, после сопоставления с имеющимися клиническими данными, как предпосылки к смещению приоритета хирургии в сторону максимально стабильной реконструкции 2 передних опорных колонн.

Большинство авторов считает, что протяженность фиксации является значимым фактором риска. На сегодняшний день превалируют литературные данные о достаточности короткосегментарной транспедикулярной фиксации в отношении стабилизации при переломах груднопоясничной локализации [113]. В противовес им существует ряд публикаций, сообщающих о достаточно высоком риске развития нестабильности при изолированном применении короткосегментарных систем [233, 293, 341, 366]. Предлагается ряд мер по повышению стабильности короткосегментарных систем (аугментация зоны перелома костным цементом, применение промежуточных транспедикулярных винтов и т. д.), а также рассматривается возможность применения альтернативных методик фиксации. Таким образом, на сегодняшний день вопрос выбора тактики хирургической реконструкции при тораколюмбарной травме можно считать открытым. Возможности биомеханического моделирования, соотнесенные с результатами клинических исследований, позволяют оценить эффективность различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки.

На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп нами проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника. Данные биомеханического моделирования и сравнения бисегментарных и различных вариантов полисегментарных систем фиксации подробно представлены в Главе 2.3. В нашей работе выявлено, что при повреждениях типа А3 и А4, локализованных на уровне переходного груднопоясничного отдела позвоночника, предпочтительнее применение полисегментарной фиксации (6 или 8 винтов) с позиции распределения напряжений в фиксирующих системах и позвоночнике при

различных нагрузках по данным биомеханического моделирования и, соответственно, меньшего риска развития нестабильности МК. Результаты биомеханического моделирования оказались сопоставимы с итогами клинического исследования, что позволяет при предоперационном планировании учитывать моделирование как один из аргументов в пользу выбора той или иной компоновки МК.

В литературе все чаще появляются статьи, посвященные поиску предикторов несостоятельности МК [80, 364, 366, 465]. Описаны различные факторы риска, однако нет единого мнения о значимости того или иного предиктора. Наиболее частым фактором риска нестабильности фиксации в литературе описывается наличие остеопороза [267, 353, 364]. В нашем исследовании одним из критериев исключения являлось снижение минеральной плотности костной ткани до данным денситометрии более чем на $-2,5$ SD. Таким образом, мы не проводили оценку плотности костной ткани в качестве предиктора нестабильности.

Среди других описанных предикторов наиболее часто встречается: возраст более 49 лет [364, 365, 367], женский пол [119, 364], ИМТ > 24 кг/м² и сахарный диабет. Среди предоперационных данных рентгенографии, КТ и МРТ наиболее часто упоминаются: степень предоперационной кифотической деформации [366, 456, 465], взрывной тип перелома (A4 по классификации AOSpine) [233], дефицит просвета позвоночного канала [366], степень расширения травмированного позвонка (vertebral body spread) [465], потеря высота передней колоны [323, 365, 367]. Описаны интраоперационные факторы риска, помимо короткосегментарной фиксации, – дополнительная ламинэктомия при задней декомпрессии [119, 390], длина винтов [341], отношение саггитального угла изгиба стержней МК к углу Cobb позвоночника [456]. Выраженный остаточный кифоз после операции также рассматривается как фактор риска развития нестабильности в послеоперационном периоде [119, 341].

В нашем исследовании значимыми предикторами несостоятельности фиксации (перелом и миграция МК) при многофакторном анализе оказались: ИМТ более 28 кг/м² (ОШ 6,8 [2,3–20,7]), срок после травмы более 21 дня (ОШ 2,5 [1,1–

6,4]); уровень поражения L1 (ОШ 3,1 [1,2–8,3]); перелом типа A4 по AOSpine (ОШ 5,8 [1,0–31,8]); кифоз до операции более 18 град. (ОШ 11,8 [4,4–31,5]); бисегментарная ТПФ (ОШ 6,7 [1,3–32,5]); отсутствие промежуточной фиксации (ОШ 22,2 [5,0–97,0]); угол остаточной кифотической деформации более 8 град. (ОШ 17,7 [5,5–57,3]). Все предоперационные предикторы мы включили в дискриминантный анализ и разработали балльную шкалу факторов риска нестабильности фиксации. Это позволило включить предикторы нестабильности в алгоритм лечения пациентов с острой травмой грудопоясничного отдела позвоночника.

Как было сказано выше, ряд авторов указывают на худшие результаты лечения при короткосегментарных реконструкциях. Наши данные экспериментального и клинического исследований подтверждают это. Однако некоторые авторы считают, что бисегментарная ТПФ обладает преимуществами в плане клинических исходов и сходной частотой несостоятельности фиксации [233, 448]. Объяснением этого, возможно, является менее дифференцированный подход в этих исследованиях к выбору протяженности фиксации в зависимости от типа перелома. Также в ряде исследований проводится учет осложнений не только оперированного грудопоясничного перехода, но и смежных позвонков, которые испытывают, несомненно, меньшие нагрузки. Так, например, в исследовании H.V.S. Sodhi et al. лишь в 27 из 91 случая (менее 30%) отмечался перелом на уровне Th11-L2 [233]. Несомненно, экономический фактор также влияет на выбор короткосегментарных конструкций, которые являются более дешевыми и в плане стоимости имплантатов, и в плане уменьшения времени операции и сроков госпитализации. В нашем исследовании большая частота нестабильности при бисегментарных ТПФ, возможно, связана с меньшей комплаентностью нашего контингента пациентов к лечению и частому игнорированию ограничительных рекомендаций в послеоперационном периоде.

Следует отметить, что исходно сроки с момента травмы влияли на принятие решения о характере вмешательства. Учитывая потенциально лучшие корректирующие возможности полисегментарных систем, 8-винтовую фиксацию,

как правило, использовали на стадии начала консолидации поврежденного позвонка с наличием посттравматической деформации. Короткосегментарная ТПФ и ТПФ 6 винтов преимущественно использовались в сроки до 21 дня с момента перелома. Полисегментарные системы использовались при более выраженной кифотической деформации, чем бисегментарная ($p < 0,001$). Группы бисегментарной ТПФ и ТПФ 8 винтов различались по типу перелома. В группе ТПФ 8 винтов чаще оперировали А4 тип, тогда как в группах бисегментарной ТПФ и ТПФ 6 винтов – А3 ($p < 0,005$). Также в группе ТПФ 8 винтов чаще наблюдался значимый дефицита просвета позвоночного канала ($p < 0,005$).

Длительность вмешательства и интраоперационная кровопотеря у пациентов в группе ТПФ 6 винтов сопоставима с бисегментарной фиксацией. При этом полисегментарная фиксация с использованием 8 винтов – значимо более продолжительная операция ($p < 0,001$).

Все типы операций привели к снижению болевого синдрома и улучшению качества жизни по шкале ODI. Степень коррекции локальной кифотической деформации не различалась статистически значимо между различными типами операций. Однако лучшей коррекции кифотической деформации и меньшей ее потери позволило достичь применение полисегментарных систем фиксации (8 и 6 винтов), несмотря на большие сроки между травмой и операцией.

Нестабильность МК чаще развивалась при взрывных переломах типа А4. Статистически значимо чаще несостоятельность развивалась после бисегментарной фиксации, чем после полисегментарной, соответственно, в 22,3% (40/179) и 9,5% (9/94) случаев ($p < 0,001$). Несостоятельности фиксации не наблюдали после вентральных реконструкций и при комбинированном дорсальном с вертебропластикой и отсроченном вентральном вмешательстве.

Посттравматический остеонекроз также значительно чаще наблюдали при бисегментарной ТПФ (4,4%, 8/179), чем при полисегментарной ТПФ и комбинированном симультанном дорсально-вентральном вмешательстве (1,1%, 1/94) ($p = 0,013$). В группе с нестабильной фиксацией отмечено статистически значимо больше использование коротких винтов для транспедикулярной фиксации

(до половины тела позвонка), чем в группе со стабильной фиксацией, 45% и 12% соответственно. Для поиска возможных предикторов развития остеонекроза поврежденного позвонка в послеоперационном периоде мы провели многофакторный анализ результатов лечения пациентов с острой травмой грудопоясничного отдела позвоночника. Значимыми предикторами оказались: возраст старше 47 лет (ОШ 29,9 [2,7–62,5]), перелом типа А4 по AOSpine (ОШ 12,2 [1,7–76,8]), расширение позвонка более 63% (ОШ 13,9 [1,8–105,3]) и наличие дефицита просвета позвоночного канала (ОШ 12,2 [1,5–99,5]) по данным предоперационного КТ. Мы разработали балльную шкалу оценки риска развития остеонекроза с применением дискриминантного анализа. Это позволило включить предикторы остеонекроза, наряду с предикторами нестабильности МК, в алгоритм хирургического лечения.

На сегодняшний день альтернативой короткосегментарному инструментированию является имплантация полисегментарных конструкций [385], а профилактикой дестабилизации при потере опороспособности тела позвонка – дополнение дорзальной фиксации вентральным корпородезом [97]. Среди факторов, доказано улучшающих исходы и снижающих частоту нестабильности фиксации, описаны: промежуточная фиксация поврежденного позвонка [188, 341] и кифопластика поврежденного позвонка [408, 466]. Методикой, сочетающей высокую стабильность системы кость-металлоконструкция с относительно низкой травматичностью, можно рассматривать короткосегментарную и полисегментарную фиксацию, дополненную билатеральным введением транспедикулярных винтов в поврежденный позвонок [188, 346]. Многочисленные клинические и экспериментальные исследования рекомендуют дополнительное введение транспедикулярных винтов в поврежденный позвонок как методику, позволяющую значимо повысить стабильность МК и достичь хороших показателей коррекции посттравматической кифотической деформации [193, 223, 452]. Мета-анализ литературных источников, проведенный в 2017 году M.J. Tong et al. [482], позволил выявить значимые преимущества введения транспедикулярных винтов в

поврежденный позвонок перед 4-винтовой компоновкой фиксирующих систем. Промежуточная винтовая фиксация (intermediate screw fixation) обеспечивает лучшие декифотизацию поврежденных позвоночно-двигательных сегментов и восстановление высоты компримированного позвонка, снижает послеоперационную потерю коррекции и риск развития перелома элементов транспедикулярной системы. При этом продолжительность вмешательства и кровопотеря значимо не возрастают.

Следует отметить, что в известных исследованиях промежуточная транспедикулярная фиксация рассматривается как билатеральное введение винтов в поврежденный позвонок. Имеет ли преимущества конструкция, дополненная одним дополнительным винтом, введенным контрлатерально стороне предполагаемого переднего доступа к телу поврежденного позвонка перед стандартной короткосегментарной фиксацией и допустима ли установка контейнерного имплантата типа MESH со смещением (вызванным наличием одного винта в теле поврежденного позвонка) к стороне доступа относительно центров замыкательных пластин смежных с резецированным позвонков – открытый вопрос.

В проведенном нами исследовании одним из значимых факторов риска развития нестабильности оказалось отсутствие промежуточной фиксации. Планируя вмешательства у больных, включенных в исследование, монолатеральное левостороннее введение транспедикулярных винтов в тела поврежденных позвонков рассматривали как «парашютную» технологию, позволяющую увеличить стабильность транспедикулярных систем, сохраняя при этом возможность протезировать при необходимости разрушенное тело.

Предварительный прогноз «выживаемости» системы позвоночник-металлоконструкция перед вмешательством делали с использованием компьютерного биомеханического моделирования. Математической основой моделирования является метод конечных элементов – численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод

используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, в роли которого можно рассматривать и инструментированный позвоночник. Методика получила на сегодняшний день широкое признание в костной хирургии как элемент предоперационного планирования [8, 36, 137]. При биомеханическом моделировании мы получили данные, что вариант с установкой 5 винтов (дополнительная промежуточная фиксация) более предпочтителен по сравнению с 4-винтовой фиксацией. Стабильность у обоих вариантов высокая и практически одинаковая. 5-винтовой вариант более предпочтителен с точки зрения формирующихся внутренних усилий (эквивалентных напряжений) в позвонках: для 5-винтовой конфигурации они были ниже, чем для 4-винтовой во всех вариантах нагружения.

В клиническом исследовании промежуточную фиксацию при ТПФ применяли в 14% (37/273), и в 45% (17/37) случаев ограничивались введением одного винта. В ходе многофакторного регрессионного анализа выявлено, что отсутствие промежуточной фиксации является значимым фактором риска развития нестабильности МК (ОШ 22,2 [5,0–97,0]). У пациентов с применением билатерального и монологатерального введения винтов в тело поврежденного позвонка значительно реже развивалась нестабильность МК. В послеоперационном периоде наблюдалась хорошая коррекция посттравматической сколиотической деформации после всех типов операций. Значимо лучшая коррекция достигалась в группе больных после ТПФ с промежуточными винтами, по всей видимости, за счет дополнительной точки опоры в виде промежуточного винта при ассиметричной дистракции, направленной на исправление посттравматического сколиоза.

Исследование позволило нам сделать несколько выводов. Использование короткосегментарной транспедикулярной фиксации при стабилизации по данным клинического и биомеханического исследования не позволяет достичь адекватных функциональных и рентгенологических результатов при полных (А3) и неполных (А4) взрывных переломах позвонков. Высокий риск развития нестабильности МК, миграция транспедикулярных винтов, требующие ревизионных вмешательств,

сопутствующие подобной компоновке МК, смещают приоритет в выборе хирургической методики в сторону полисегментарных транспедикулярных конструкций, позволяющих в 8-винтовом варианте компоновки достичь достоверно значимой коррекции сегментарного посттравматического кифоза и ремоделирования ДППК. При этом в ранние сроки (до 3 недель) с момента травмы можно рекомендовать оптимизированный вариант полисегментарной ТПФ (6-винтовую), позволяющую несколько снизить травматичность и продолжительность операции. Настоящее исследование предикторов нестабильности фиксирующих систем подтверждает эти данные.

Таким образом, использование короткосегментарной транспедикулярной фиксации, дополненной «промежуточными» винтами, введенными в поврежденный позвонок, при переломах типов А3 и А4 Th11-L2 позвонков при условии выполнения вмешательства в первые 3 недели после операции позволяет статистически значимо снизить риск развития нестабильности МК и добиться меньшей потери коррекции в послеоперационном периоде. Статистически значимые различия при этом отмечены в пользу «промежуточной» транспедикулярной фиксации по сравнению со стандартной бисегментарной. Статистически значимых различий клинических и рентгенологических исходов с результатами применения полисегментарных систем не выявлено. Полученные в ходе клинического исследования данные подтвердились данными биомеханического моделирования (Глава 2.3). Математический анализ показал, что стабильность при стандартной ТПФ и ТПФ, дополненной промежуточными винтами, высокая и практически одинаковая. Однако вариант ТПФ с промежуточными винтами более предпочтителен с точки зрения возникающих внутренних усилий (эквивалентных напряжений) в позвонках. Фиксацию с унилатеральным введением «промежуточных» винтов в поврежденные позвонки можно рассматривать как перспективную методику.

Использование короткосегментарных систем, дополненных «промежуточными» транспедикулярными винтами, диктует эксцентрическое позиционирование имплантатов типа MESH при конверсии дорзальной фиксации

в циркулярную. С позиции биомеханического моделирования (Глава 2.3) статистически значимых различий между стабильностью такой компоновки МК по сравнению со стандартной, не выявлено.

Одним из ограничений использования систем транспедикулярной фиксации является потенциальная возможность развития в условиях короткосегментарной фиксации посттравматического остеонекроза тела поврежденного позвонка и его реколлапса [4, 287]. Необходимость выполнения в этом случае переднего опорного корпородеза потребует перемонтажа дорзальной конструкции с целью удалить препятствующие костной резекции винты из поврежденного позвонка.

Ограничениями проведенного нами исследования факторов риска развития нестабильности фиксации и остеонекроза поврежденного позвонка явились: небольшой объем выборки, короткий период наблюдения, ретроспективный неослепленный анализ результатов хирургического лечения, малое число комбинированных вмешательств. С другой стороны сильной стороной исследования было то, что группа пациентов была относительно гомогенная с острым неосложненным повреждением только грудопоясничного перехода без остеопороза, и объем выборки позволил провести многофакторный регрессионный анализ предикторов нестабильности фиксации и посттравматического остеонекроза.

ГЛАВА 5. ПОЯСНИЧНОКРЕСТЦОВЫЙ ПЕРЕХОДНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНИКА

5.1. Дизайн исследования

Проведено клиническое ретроспективное когортное одноцентровое открытое исследование. Объектом исследования были пациенты с повреждениями переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника (изолированный оскольчатый перелом L5 позвонка), оперированных с 2010 по 2020 гг. Морфология повреждений представлена типами A2-4 и C по классификации AOSpine.

Для решения поставленных задач были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами L4-S1 и 10 пациентов с изолированными повреждениями L5 позвонка. С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки, межпозвонковые диски, дугоотростчатые суставы и связки. Оценена эффективность различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника.

Для оценки результатов различных вариантов лечения пациентов, прооперированных с 2010 по 2020 гг., разделили на 3 группы:

- 1 группа (n=12) – пациенты, которые отказались от проведения операции и получали консервативное лечение амбулаторно (ортезирование, физиотерапевтическое лечение);
- 2 группа (n=27) – пациенты, у которых была выполнена бисегментарная транспедикулярная фиксация (ТПФ);
- 3 группа (n=19) – пациенты с циркулярным спондилосинтезом (ТПФ + передний опорный корпородез MESH).

Группы сравнивали по функциональным и рентгенологическим результатам лечения через 1 год. Кроме того, был проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для выявления значимых предикторов несостоятельности фиксации. На основе проведенного анализа результатов хирургического лечения и биомеханического моделирования разработан новый алгоритм при изолированных повреждениях L5 позвонка с учетом типа повреждения. Дизайн проведенных исследований представлен на Рисунке 165.



Рисунок 165 – Дизайн проведенных исследований

5.2. Результаты биомеханического моделирования

5.2.1. Характеристика клинического и интраскопического материала

Для решения задач по созданию трехмерных геометрических твердотельных моделей поясничнокрестцового отдела позвоночника в норме и при патологии, а также построению системы «поврежденные позвоночно-двигательные сегменты–фиксатор» и исследованию ее напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках и вариантах спондилосинтеза, были использованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами L4-S1. Получено информированное согласие добровольцев, участвующих в исследовании на выполнение компьютерной томографии и публикацию данных из медицинской карты стационарного больного. Не выявлено статистически значимых различий по половозрастному составу и антропометрическим данным между группой добровольцев и пациентов с повреждениями позвоночника (Таблица 76).

Таблица 76 – Общая характеристика пациентов с переломом L5 и добровольцев

	Пациенты с повреждением L5 позвонка (n=10)	Добровольцы, (n=20)	p*
Возраст, лет	35 (29;46)	47 (38;55)	0,072
Пол мужской, %	54%	70%	0,164
Вес, кг	79 (65;79)	76 (72;86)	0,891
Рост, см	170 (165;175)	174 (169;177)	0,567
ИМТ, кг/м ²	25 (22;28)	24 (22;27)	0,901
<i>Примечание: для описания количественных данных использовали Медиану и 25–75 перцентили; * – для количественных признаков использован U- критерий Манна-Уитни, для качественных признаков – Хи-квадрат Пирсона</i>			

Наиболее распространенными изолированными переломами L5, требующие хирургической стабилизации и фиксации по данным литературы и нашим данным, являются переломы типа A3 и A4. Поэтому мы оценивали различные системы фиксации (бисегментарная ТПФ, ТПФ и вентральный корпородез с применением импланта MESH) при данных переломах.

5.2.2. Результаты биомеханического моделирования в норме и при патологии

Рассмотрена трехмерная модель сегмента позвоночника L4-Sacrum, показанная на Рисунке 166 А. Для ускорения биомеханического моделирования и для упрощения обработки результатов моделирования нижняя часть крестца была обрезана, как показано на Рисунке 166 Б.

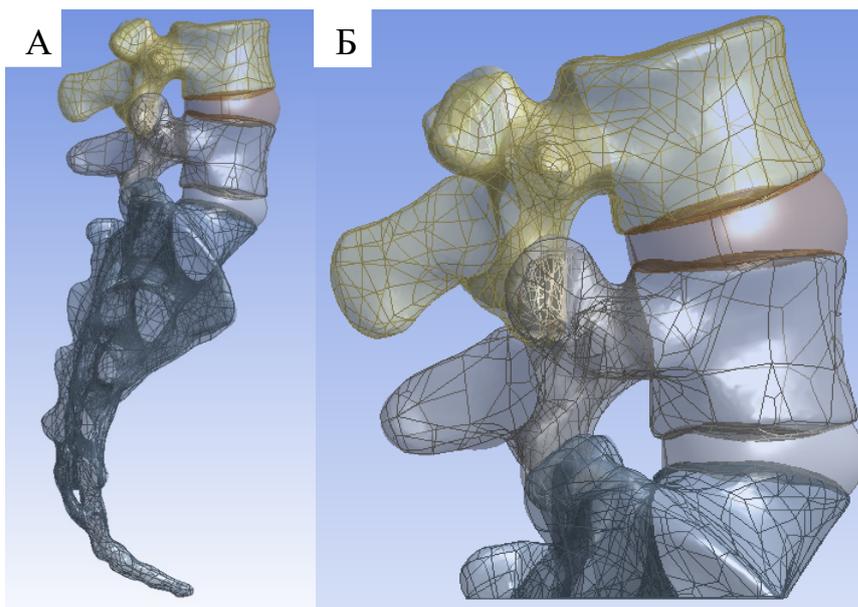


Рисунок 166 – Модель сегмента позвоночника L4-Sacrum (А) и упрощенная модель (Б)

Исходный угол между верхними замыкательными пластинками позвонка L4 и крестца составлял 28 градусов. Далее с шагом в 10 градусов этот угол уменьшался с помощью корректировки геометрии позвонка L5, у которого моделировался клиновидный перелом (компрессионный), а также с помощью поворота на этот угол позвонка L4. Итоговые модели показаны на Рисунке 167.

Таким образом, в биомеханическом моделировании участвовали 5 моделей: исходная (Рисунок 166 Б) и 4 модели с переломами позвонка L5 (Рисунок 167).

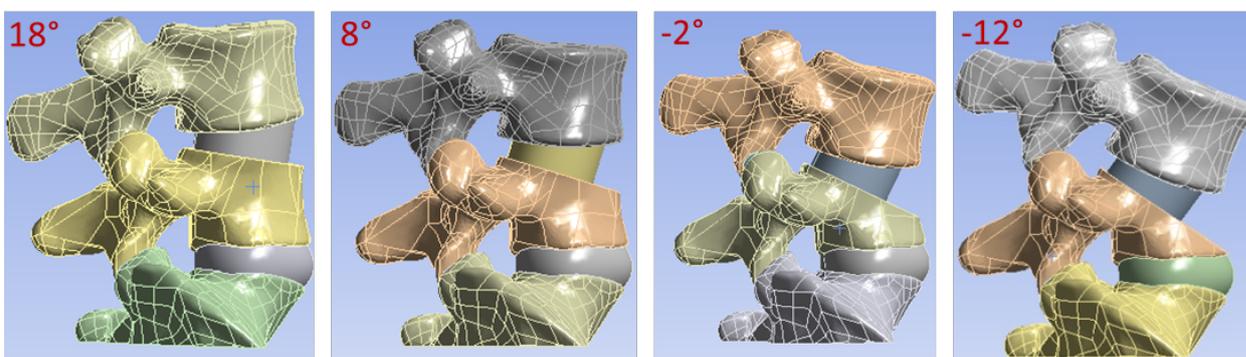


Рисунок 167 – Модели сегмента позвоночника L4-Sacrum со смоделированными переломами позвонка L5 (шаг угла наклона позвонка L4 от его исходного положения на Рисунке 166 равен 10 градусам)

Для моделирования сегментарного кифоза угол между верхними замыкательными пластинками позвонка L4 и крестца меняли с шагом 10 градусов от 28 до -12 градусов. При моделировании учитывали нагрузку 100 Н на каждый позвонок. Нагрузка прикладывалась распределенно к верхним замыкательным пластинкам и была направлена по нормали к замыкательным пластинкам. Пример приложения нагрузки для исходной модели показан на Рисунке 168 (красными стрелками показаны направления сил). Нижняя поверхность крестца жестко закреплялась.



Рисунок 168 – Пример приложения нагрузки (интактная модель)

Для каждой модели решалась статическая задача теории упругости о напряженно-деформированном состоянии сегмента позвоночника под действием

распределенных нагрузок. Для каждой модели анализировали эквивалентные напряжения в межпозвоновом диске L4-L5, в позвонке L5, а также направление перемещений (смещений) позвонков L4 и L5 относительно закрепленного крестца. На Рисунке 169 показаны деформированные модели. Стрелками показаны направления смещений позвонков. Исходные положения позвонков до приложения нагрузок показаны прозрачными моделями.

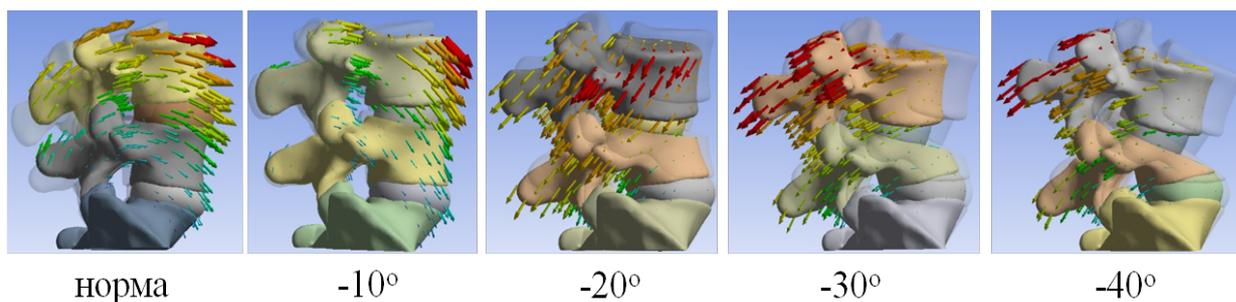


Рисунок 169 – Модель нормы и деформированные модели с различной степенью сегментарного кифоза: -10, -20, -30, -40 град.

Из Рисунка 169 видно, что направление смещения позвонков L4 и L5 меняется при переходе от угла -10° к углу -20° . Это означает существенные изменения в прочности системы, что заставляет ее кардинально менять направление смещения (или деформированное состояние).

Далее для каждой модели максимальные эквивалентные напряжения в диске L4-L5 и позвонке L5 были занесены в Таблицу 77.

Таблица 77 – Максимальные эквивалентные напряжения (в МПа) в диске L4-L5 и позвонке L5

	Напряжения в диске L4-L5	Напряжения в позвонке L5
Норма	0,28	0,33
-10°	0,35	0,46
-20°	0,64	0,64
-30°	0,92	1,18
-40°	1,02	1,48

Эквивалентные напряжения характеризуют внутренние усилия, другими словами, уровень нагрузки (в позвонке или диске), возникающей при внешних силах. Чем выше напряжения, тем выше риск повреждения ткани.

Таблица 78 показывает, что наибольший прирост напряжений в диске L4-L5 произошел при переходе от кифоза -10 град. к кифозу -20 град. по отношению к исходному углу между L4 и крестцом. В то же время наибольший прирост напряжений в позвонке L5 происходит при переходе от кифоза -20 град. к кифозу -30 град. по отношению к исходному углу между L4 и крестцом. И это естественно, так как первым нагрузку принимает диск и только потом позвонок. В дальнейшем прирост напряжений не такой заметный. Дополнительно (для более точной оценки переходных напряжений) были построены две модели с кифозом -15 град. и -25 град. по отношению к исходному углу между L4 и крестцом. Результаты моделирования были сведены в Таблицу 79.

Таблица 78 – Прирост напряжений в диске L4-L5 и позвонке L5 при увеличении кифоза в %

	В диске L4-L5	В позвонке L5
-10° – Норма	25%	39%
-20° – -10°	83%	39%
-30° – -20°	44%	84%
-40° – -30°	11%	25%

Таблица 79 – Максимальные эквивалентные напряжения (в МПа) в диске L4-L5 и позвонке L5

	Напряжения в диске L4-L5	Напряжения в позвонке L5
Норма	0,28	0,33
-10°	0,35	0,46
-15°	0,54	0,58
-20°	0,64	0,64
-25°	0,81	0,89
-30°	0,92	1,18
-40°	1,02	1,48

Из Таблицы 80 видно, что наибольший прирост напряжений в диске L4-L5 обнаружен при переходе от -10 град. к -15 град. кифозу по отношению к исходному углу между L4 и крестцом. Для позвонка L5 это переходы -10 град. – Норма и -25 град. – -20 град., но процентное изменение напряжений (скачок напряжений) стали уже не такими заметными, как для диска L4-L5. Таким образом, математическое моделирование, подтвердило клинические данные о повышении риска дальнейшей компрессии поврежденного L5 позвонка при сегментарном кифозе более 15 град. [310, 401].

Таблица 80 – Прирост напряжений в диске L4-L5 и позвонке L5 при увеличении кифоза

	В диске L4-L5	В позвонке L5
-10° – Норма	25%	39%
-15° – -10°	54%	26%
-20° – -15°	19%	10%
-25° – -20°	27%	39%
-30° – -25°	14%	33%
-40° – -30°	11%	25%

5.2.3. Биомеханическое моделирование при изолированном переломе L5 без инструментирования, с транспедикулярной фиксацией 4 винтами, транспедикулярной фиксацией с 1 или 2 промежуточными винтами и транспедикулярной фиксацией с 4 винтами и MESH

Для оценки различных вариантов лечения изолированных переломов L5 позвонка численно была решена задача о статическом нагружении сегмента позвоночника L4-S1 компрессионной нагрузкой. С точки зрения механики решалась задача статики упругого тела. Материалы костей, дисков и имплантатов считались идеально упругими изотропными. Оценивали поля эквивалентных напряжений в различных моделях изолированной травмы L5 позвонка: модели без имплантатов, модели ТПФ с 4 винтами, модели ТПФ с 5 винтами, модели ТПФ с 6 винтами, модели ТПФ с 4 винтами и кейджем (Рисунок 170, Таблица 81).

Без МК

ТПФ 4

ТПФ 5

ТПФ 6

ТПФ 4

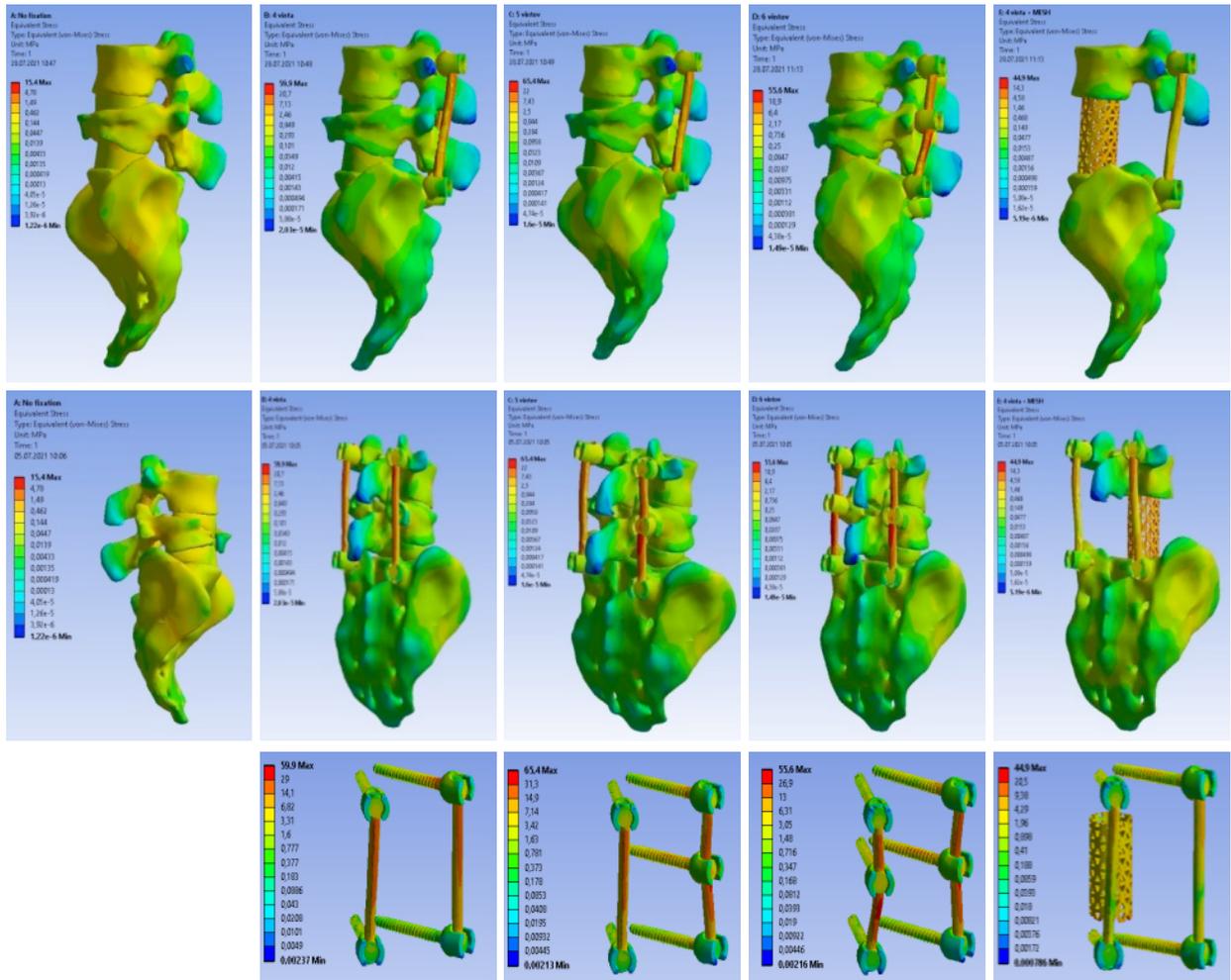


Рисунок 170 – Поля эквивалентных напряжений в различных моделях изолированной травмы L5 позвонка: модели без МК, модели ТПФ с 4 винтами, модели ТПФ с 5 винтами, модели ТПФ с 6 винтами, модели ТПФ с 4 винтами и кейджем

В качестве граничных условий была выбрана сила величиной 200 Н, действующая по оси позвонка L4 и приложенная к верхней замыкательной пластине L4. Величина нагрузки выбиралась, исходя из данных о весе пациента. На боковые поверхности крестца, связанные с подвздошными костями, накладывалось условие жесткой фиксации. Максимальные перемещения в рассматриваемом сегменте оказались близки по абсолютному значению. Интерес с точки зрения биомеханики представляют значения эквивалентных напряжений в имплантатах и костных тканях. При установке 4 винтов в позвонки L4 и S1 происходит небольшое падение максимума напряжений в костных тканях относительно модели без имплантатов. Установка же 5 винтов (один из которых в L5 справа) приводит к

скачкообразному уменьшению эквивалентных напряжений в костных тканях (уменьшение на 51%). Максимум эквивалентных напряжений в системе фиксации при этом относительно модели с 4 винтами возрастает всего на 9%. Установка же еще одного винта в позвонок L5 к резким изменениям картины напряженно-деформированного состояния не приводит: напряжения в костных тканях уменьшаются лишь на 22% относительно модели с 5 винтами (Таблица 81).

Таблица 81 – Результаты расчетов в различных моделях изолированной травмы L5 позвонка

	Без имплантатов	ТПФ 4 винта	ТПФ 5 винтов	ТПФ 6 винтов	ТПФ 4 винта и MESH
Перемещения, мм	0,3	0,33	0,3	0,28	0,05
Напряжения в имплантатах, МПа		59,9	65,4	55,6	44,9
Напряжения в костях, МПа	15,3	13,7	6,72	5,3	0,9

Вариант с установкой кейджа типа Mesh и 4 винтов в позвонки L4 и S1, безусловно, обеспечивает жесткую стабильную фиксацию сегмента. Перемещения в этом случае в несколько раз меньше, чем в остальных вариантах. Существенно падают и эквивалентные напряжения как костных тканях, так и в имплантатах. Однако этот вариант является не самым рациональным именно с медицинской точки зрения, так как требует проведения операции в несколько этапов.

Если рассматривать одноэтапные варианты лечения, а также вариант без установки имплантатов, то наиболее рациональными с точки зрения биомеханики можно назвать варианты с установкой 5 или 6 винтов, так как в этих случаях достигается аналогичная другим вариантам стабильность фиксации, а эквивалентные напряжения в костных тканях существенно снижаются по сравнению с 4-винтовой системой. При этом, учитывая тот факт, что два указанных варианта не существенно отличаются между собой по значениям максимальных эквивалентных напряжений в костных тканях и имплантатах, установка дополнительного (шестого) винта видится с точки зрения биомеханики избыточной.

5.3. Результаты хирургического лечения

Общая характеристика пациентов. В ретроспективное исследование были включены 58 пациентов (53% мужчин и 47% женщин), пролеченных в период с 2010 по 2020 гг. по поводу изолированных повреждений L5 позвонка. Критериями не включения были: возраст менее 18 лет; неврологический дефицит; некорригируемая тяжелая сопутствующая патология; многоуровневое поражение; остеопороз (минеральная плотность костной ткани до данным денситометрии ниже среднего уровня пика костной массы более чем на $-2,5$ SD); выраженный дегенеративный лордоз, кифоз или сколиоз; патологический перелом на фоне опухоли, анкилозирующего спондилита или воспалительного артрита; активный инфекционный процесс; застарелый перелом (срок травмы более 40 дней); оперированный в анамнезе позвоночник.

В Таблице 82 представлены основные клинические данные и данные инструментальных методов исследования перед операцией. Из-за малого размера выборки и того, что большинство параметров не соответствовало нормальному распределению (критерий Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова), при описании количественных признаков применяли медиану и квартили, а при дальнейшем анализе применяли методы непараметрической статистики.

Медиана возраста составила 35 (20–54) лет. В большинстве случаев (65%) травма была получена в результате дорожно-транспортного происшествия, падение с высоты стало причиной повреждения L5 позвонка в 15 (26%) случаях, падение тяжелого груза – в 5 (9%). Сопутствующие переломы костей верхних и нижних конечностей наблюдали в 9 (16%) случаях. Медиана времени с момента травмы до операции/первичной консультации составила 20 (12–25) суток. Показанием к хирургическому лечению считали наличие признаков нестабильного повреждения L5 позвонка: потеря высоты передней колонны более 50%, более 15 град. сегментарный кифоз, более 50% компрессия спинномозгового канала. В 12 случаях пациенты отказались от проведения операции и получали амбулаторное консервативное лечение (ортезирование, физиотерапевтическое лечение)

(группа 1). Бисегментарная транспедикулярная фиксация (ТПФ) выполнена 27 больным (группа 2). Циркулярный спондилосинтез (ТПФ + передний опорный корпородез MESH) выполнен 19 больным (группа 3). Оценивали непосредственные и отдаленные (до 12 мес.) результаты хирургического лечения. Результаты лечения через 12 мес. удалось проследить у 10 пациентов (83%) из 1 группы консервативного лечения, и у 41 пациентов (89%) после операции (группа 2 и 3).

Таблица 82 – Общая характеристика групп больных в предоперационном периоде

Параметр	группа 1	группа 2	группа 3	p*	p**		
	консервативное (n=12)	ТПФ (n=27)	ТПФ+ MESH (n=19)		1-2	1-3	2-3
Возраст, года	30 (20;37)	43 (37;46)	32 (25;54)	0,045	0,04	0,435	0,843
ИМТ, кг/м ²	25 (22;26)	25 (24;29)	21 (25;26)	0,314			
Мужчины, n(%)	9 (75%)	16 (59%)	6 (31%)	0,044	0,477	0,06	0,08
Срок после травмы, дни	20 (16;24)	17 (12;24)	20 (12;30)	0,68			
Неврологический статус (CSFCS):							
N0	12 (100%)	23 (85%)	12 (63%)	0,112			
N1	0	1 (4%)	3 (16%)				
N3	0	3 (11%)	4 (21%)				
ВАШ исходно, баллы	7 (6;8)	7 (6;8)	7 (7;9)	0,207			
ODI исходно, %	30 (30;32)	34 (28;39)	40 (38;40)	0,015	0,084	0,004	0,122
Денситометрия (Т-критерий), SD	1,0 (-0,7;2,0)	1,0 (1,0;2,0)	1,0 (-0,5;1,0)	0,377			
AOSpine, n(%)							
A2	0	10 (37%)	0	0,001	0,012	<0,001	0,002
A3	7 (58%)	5 (18%)	6 (32%)				
A4	5 (42%)	8 (30%)	13 (68%)				
C	0	4 (15%)	0				
<i>Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили; * – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса; ** – скорректированный на количество сравнений критический уровень значимости при попарных сравнениях $p < 0,017$</i>							

Клинические методы исследования. Выраженность болевого синдрома оценивали по шкале ВАШ, функциональное состояние пациента – по опроснику

Осветри (ODI). Регистрировали интраоперационную кровопотерю, продолжительность вмешательств и осложнения.

Интроскопические методы исследования. Всем пациентам выполняли рентгенографию до и после операции, а также через 2, 6 и 12 мес. переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника в 2 проекциях и компьютерную томографию L4-S1 позвонков (после операции). Морфологически переломы классифицированы по системе AOSpine. Оценивали сегментарную кифотическую деформацию, высоту передней опорной колонны позвоночного столба, выраженность дефицита просвета позвоночного канала. Для определения высоты передней колонны использовали предложенную нами формулу:

$$A = 2,04 + 0,76 * B,$$

где А – теоретическая высота тела L5 позвонка в мм, В – переднезадний размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка в мм (Способ определения высоты тела L5 позвонка при изолированных оскольчатых переломах. Патент № 2772644 от 07.06.2021 г. [49]).

Сегментарную деформацию (регионарный угол L4-S1) на уровне повреждения измеряли по стандартной методике (угол по Cobb между касательной к верхней замыкательной пластинке L4 позвонка и касательной к верхней замыкательной пластинке S1 позвонка [276]. Дефицит просвета позвоночного канала вычисляли, соотнося параметры деформированного позвоночного канала на уровне повреждения с литературными данными [254].

Хирургическая техника. Бисегментарная транспедикулярная фиксация выполнялась по стандартной методике. Первым этапом циркулярной фиксации выполнялась стандартная транспедикулярная фиксация с установкой винтов в L4 и S1 позвонки. Затем после укладки пациента в положение на спине выполняли левосторонний забрюшинный доступ. Лигировали и пересекали поясничные артерии и вены в зоне L4 позвонка слева, левую илиолюмбальную вену, а также срединные артерию и вену крестца. Как правило, выделяли диск L4-L5 за счет смещения магистральных сосудов медиально, а L5-S1 диск – между подвздошными венами. Затем выполняли дискэктомию L4-L5 и L5-S1, частичную резекцию тела

L5 позвонка. Опорный корпородез осуществляли имплантатом MESH, заполненным аутокостью резецированного тела позвонка, смешанной с синтетическим остеоиндуктивным матералом.

При вентральных доступах (19 пациентов) по данным КТ перед операцией оценивали расположение бифуркации аорты и нижней полой вены (НПВ) для выбора оптимального доступа к телу L5 позвонку. По данным нативного КТ во всех случаях можно четко определить бифуркацию аорты, однако место слияния подвздошных вен в НПВ дифференцировать не всегда удается, поэтому ориентировались именно на бифуркацию аорты. В большинстве случаев НПВ расположена на том же уровне или чуть ниже. Среди наших пациентов у 4 с высоким расположением бифуркации аорты (выше середины тела позвонка L4) (Рисунок 171) выполнено выделение подвздошных артерий и вен, доступ к L5 позвонку осуществлен в пространстве между подвздошными сосудами. При низкой бифуркации у 15 пациентов (Рисунок 172) выполнено выделение левых подвздошных артерии и вены, терминального отдела аорты и НПВ с перевязкой сегментарных сосудов. Магистральные сосуды отведены медиально, выполнен боковой доступ к телу L5 позвонка. Во всех случаях при осуществлении вентрального доступа принимал участие сосудистый хирург. При необходимости использовали аппарат аутогемотрансфузии.

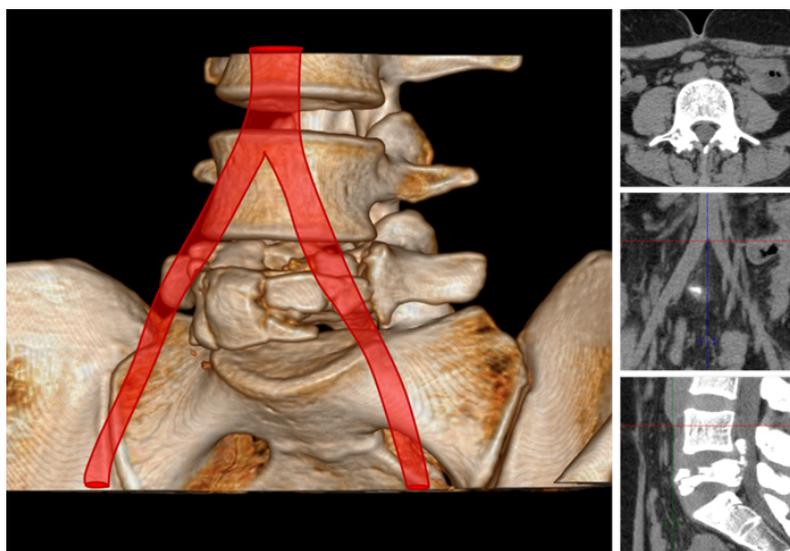


Рисунок 171 – «Высокое» расположение бифуркации аорты у пациента с переломом L5 позвонка

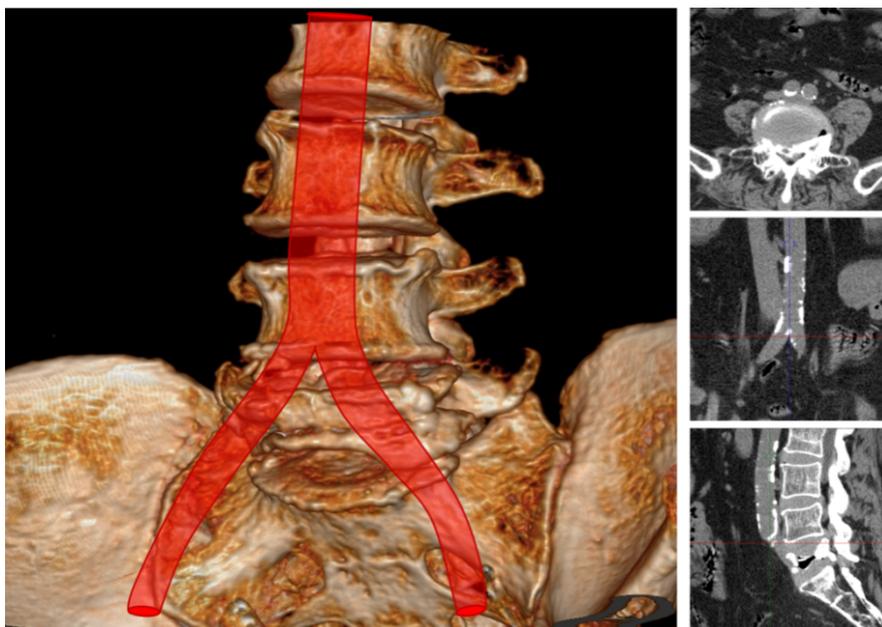


Рисунок 172 – «Низкое» расположение бифуркации аорты у пациента с переломом L5 позвонка

Результаты. Общая характеристика групп больных в дооперационном периоде представлена в Таблице 82. По индексу массы тела, срокам с момента травмы до момента операции (первичного обращения в случае консервативного лечения), неврологическому статусу, интенсивности болевого синдрома (ВАШ) статистически значимых различий между группами пациентов не выявлено. Обращают на себя внимание статистически значимые различия в половозрастном составе и по исходному функциональному статусу (ODI), связанным, по всей видимости, с малым размером групп пациентов. В группе ТПФ+MESH было меньше мужчин, и более выраженные функциональные нарушения. Основную часть (93%) пациентов составляли больные с оскольчатыми переломами типа А.

Динамика изменений рентгенологических и клинических параметров в группах пациентов представлена в Таблицах 83 и 84. Графически динамика изменений регионарного угла L4-S1 по Cobb и высоты передней опорной колонны L5 позвонка представлены на Рисунках 173 и 174, соответственно.

Таблица 83 – Интраоперационные и послеоперационные данные, динамика изменений интроскопических параметров в различных группах больных

Параметр	группа 1	группа 2	группа 3	p*	p**		
	консервативное (n=12)	ТПФ (n=27)	ТПФ+ MESH (n=19)		1-2	1-3	2-3
L4-S1 угол Cobb до операции, град.	21 (13;31)	25 (20;31)	20 (17-25)	0,053			
Коррекция L4-S1 угла (после операции), n (%)	0	5 (18%)	15 (79%)	<0,001	0,299	<0,001	<0,001
Отрицательная динамика по углу L4-S1 через 12 мес, n (%)	6 (50%)	13 (48%)	2 (11%)	0,018	0,594	0,032	0,01
ДППК до операции, n (%)	9 (75%)	16 (59%)	9 (47%)	0,141			
Коррекция ДППК (через 6–12 мес), n (%)	0	0	7 (78%)	<0,001		0,003	0,001
Высота передней колонны до операции, мм	46 (42–48)	48 (34–50)	39 (37;50)	0,287			
Высота передней колонны через 6–12 мес., мм	42 (41–45)	37 (30–49)	40 (40;55)	0,143			
Время операции, мин.		115 (110;140)	230 (210;240)	<0,001			<0,001
Кровопотеря, мл		200 (160;200)	650 (600;750)	<0,001			<0,001
Госпитализация, дни		6 (6;8)	7 (6;9)	0,768			
Нестабильность фиксации, (через 6–12 мес), n (%)	0	7 (26%)	1 (5%)	0,031			0,061

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили;

* – расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия Краскала-Уоллиса;

** – скорректированный на количество сравнений критический уровень значимости при попарных сравнениях $p < 0,017$

Таблица 84 – Динамика изменений регионарного угла L4-S1 по Cobb

Параметр	группа 1	группа 2	группа 3	p*	p**		
	консервативное (n=12)	ТПФ (n=27)	ТПФ+ MESH (n=19)		1-2	1-3	2-3
L4-S1 угол Cobb, град.							
до операции	21 (13;31)	25 (20;31)	20 (17;25)	0,053	0,104	0,704	0,023
после операции	19 (13;28)	20 (19;29)	29 (23;31)	0,033	0,091	0,02	0,112
после операции 2 мес.	19 (13;27)	20 (19;29)	29 (23;31)	0,025	0,111	0,016	0,071
после операции 6 мес.	19 (13;27)	20 (17;29)	28 (23;30)	0,048	0,298	0,02	0,079
после операции 12 мес.	16 (13;27)	20 (16;29)	28 (23;30)	0,03	0,221	0,01	0,077
p (критерий вилкоксона) сравнение до операции и после операции 12 мес.	0,016	<0,001	0,002				

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квантили;

* – расчет критерия Краскала-Уоллиса;

** – скорректированный на количество сравнений критический уровень значимости при попарных сравнениях $p < 0,017$

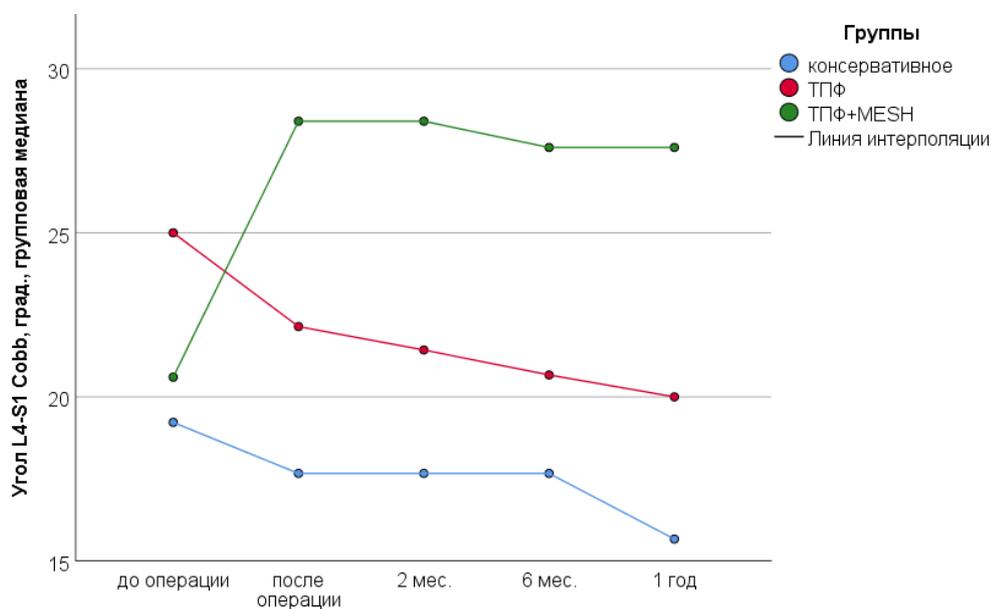


Рисунок 173 – Динамика изменений регионарного угла L4-S1 по Cobb

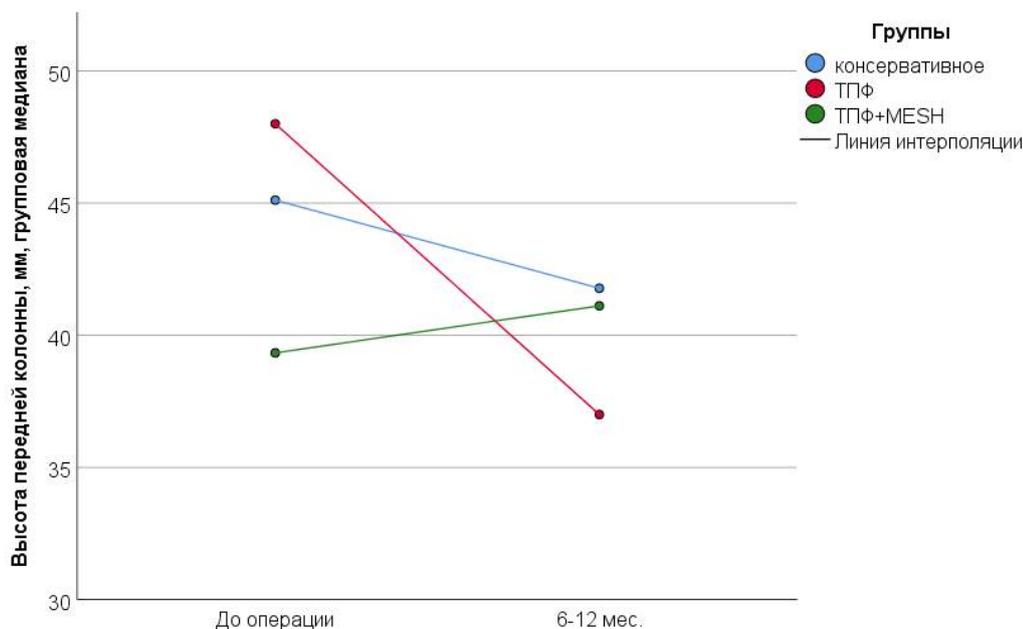


Рисунок 174 – Динамика изменений высоты передней колонны

При сравнении рентгенологических результатов консервативного лечения показатели регионарного угла L4-S1 в сроки до 6 месяцев после травмы при консервативном лечении выглядят предпочтительнее, чем при транспедикулярной фиксации, что обусловлено равномерным уменьшением высоты передней и средней опорных колонн в условиях отсутствия имплантированного инструментария. Однако после 12 месяцев наблюдения рентгенологические и клинические преимущества консервативного лечения исчезают. Пример консервативного лечения пациента с оскольчатый (A3) переломом L5 позвонка представлен на Рисунке 175. Обращает на себя внимание стабилизация L4-S1 регионарного угла от начала наблюдения до 6 месяцев и его прогрессивное уменьшение к 12 месяцам.

Пример хирургического лечения пациента с оскольчатый переломом L5 позвонка (A4) при использовании бисегментарной транспедикулярной фиксации представлен на Рисунке 176.

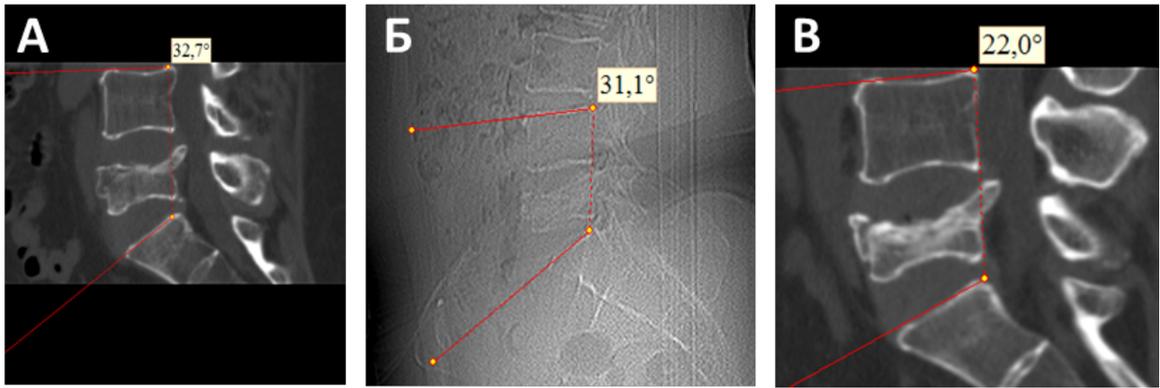


Рисунок 175 – КТ и рентгенография больной Р., 45 лет через 10 дней после травмы (А), через 6 (Б) и 12 месяцев (В)

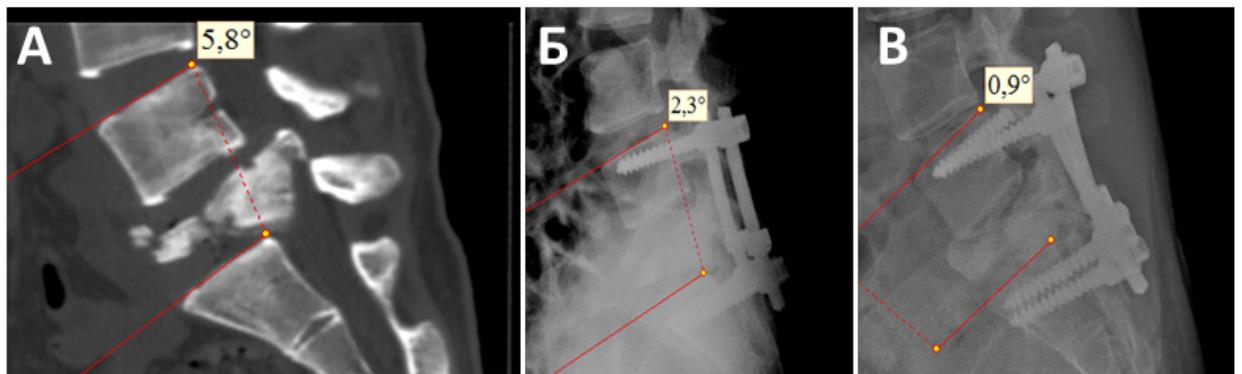


Рисунок 176 – КТ и рентгенография больной Р., 35 лет через 10 дней после травмы (А), через 7 дней (Б) и 12 месяцев (В) после транспедикулярной фиксации.

Обращает на себя внимание уменьшение L4-S1 регионарного угла в послеоперационном периоде до 6 месяцев.

К 12 месяцам развилась нестабильность МК

Примеры хирургического лечения пациентов с оскольчатыми переломами тела L5 позвонка с использованием циркулярного спондилосинтеза представлены на Рисунках 177 и 178.

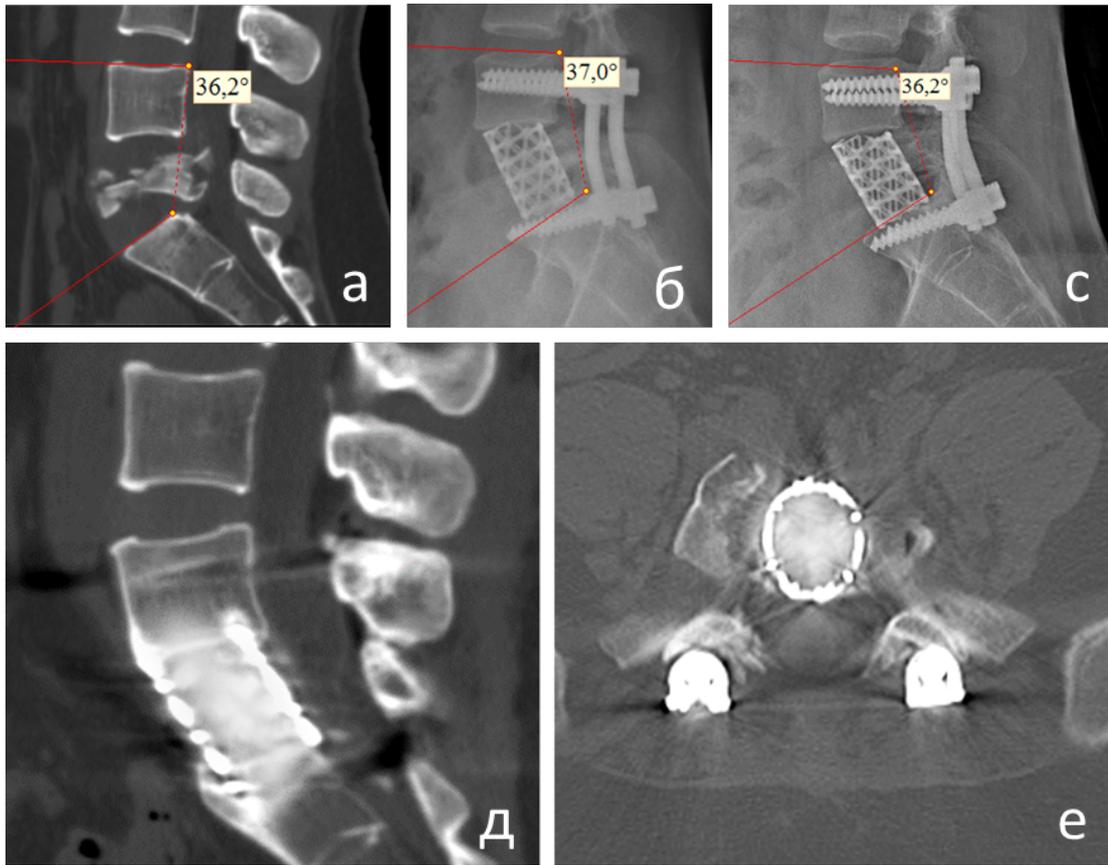


Рисунок 177 – КТ и рентгенография больной П., 29 лет через 7 дней после травмы (А), через 7 дней (Б) и 12 месяцев (В), а также КТ через 12 месяцев (Д, Е) после транспедикулярной фиксации в сочетании с корпорорезом MESH

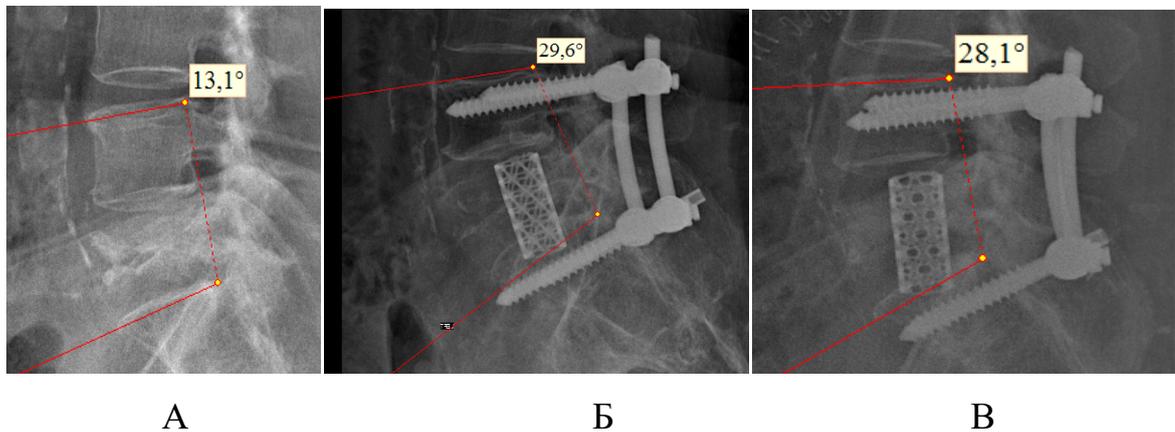


Рисунок 178 – Рентгенография больной М., 53 лет через 7 дней после травмы (А), через 7 дней (Б) и 12 месяцев (В) после транспедикулярной фиксации в сочетании с корпорорезом MESH

Применение циркулярной фиксации (ТПФ + расклинивающий корпорорез MESH) при анализе результатов исследования демонстрирует преимущества в отношении реконструкции сагиттального профиля переходного

поясничнокрестцового отдела позвоночника по сравнению с изолированным использованием транспедикулярной фиксации, что отражает динамика изменений регионарного угла по Cobb и высоты передней колонны L5 позвонка. Дополнение ТПФ имплантатом MESH помимо дополнительной коррекции при «расклинивании» L4-S1 промежутка обеспечивает сохранение достигнутой в ходе операции коррекции.

Обращает на себя внимание уменьшение L4-S1 регионарного угла по Cobb после вмешательства в объеме ТПФ. Консервативное лечение не уменьшает L4-S1 регионарный угол в первые месяцы лечения, однако в отдаленной перспективе (12 месяцев) приводит к большей его «деградации» по сравнению с циркулярной фиксацией. Из всех методик лечения только циркулярная фиксация (ТПФ+MESH) и, соответственно, передняя декомпрессия, обеспечивает адекватную декомпрессию содержимого позвоночного канала от сдавления костными фрагментами тела поврежденного позвонка.

В группе ТПФ в 6 (22%) случаях использовались дополнительные промежуточные винты (1 винт в 3 случаях, и 2 винта в 3 случаях). В группе ТПФ+MESH в 15 (79%) случаях выполнено комбинированное этапное вмешательство: ТПФ и вентральный спондилодез с MESH в среднем через 2 недели. В 4 случаях (21%), у пациентов с ранее перенесенными вмешательствами на органах брюшной полости, выполнено одномоментное вмешательство: ТПФ и установка MESH через дорсальный доступ. Несмотря на то, что у наших пациентов не было значимых осложнений, считаем, что такой вариант опасен в плане риска возникновения или усугубления имеющегося неврологического дефицита и большей интраоперационной кровопотери.

Специфическими при использовании переднего доступа при резекции тела L5 позвонка следует считать сосудистые осложнения и повреждения верхнего подчревного сплетения. Несмотря на то, что во всех случаях при вентральном доступе в состав операционной бригады входил сосудистый хирург, в 4 случаях (21%) при выделении наблюдалось повреждение магистральных сосудов (в 2 случаях – левая общая подвздошная вена, в 1 случае – НПВ в области бифуркации,

в 1 случае – левая общая подвздошная артерия). Повреждение сосудов возникло в 3 случаях при срединном доступе (между подвздошными сосудами) и в 1 при боковом (латерально от магистральных сосудов). Следует отметить, что во всех случаях отмечался спаечный процесс вокруг сосудов в области перелома L5, что обусловлено более продолжительными сроками с момента травмы (более 21 дня). Повреждение НПВ возникло при выделении ее в процессе скелетирования тела L5 позвонка. Все повреждения были ушиты сосудистым швом с сохранением кровотока без значительной кровопотери и без тромботических осложнений в дальнейшем. В 2 случаях (11%) после вентральной операции выявили неосложненную забрюшинную гематому, при этом ревизия не проводилась. Парез кишечника после операции наблюдали у 4 пациентов (21%). Повреждение верхнего подчревного сплетения проявляется ретроградной эякуляцией у мужчин или сухостью влагалища с диспареунией у женщин, а также атонией мочевого пузыря. Среди наших пациентов данное осложнение наблюдалось у 1 женщины. Осложнение купировалось самостоятельно в течение 1 мес. При дорсальном доступе не наблюдалось значимых осложнений. В 2 случаях после ТПФ (7%) и в 1 случае после ТПФ+MESH (5%) интраоперационно выявлено повреждение твердой мозговой оболочки и ликворея. Повреждение было успешно ушито во всех 3-х случаях, ликвореи в послеоперационном периоде не было.

При сравнении клинических результатов лечения (Таблица 85, Рисунок 179) выявлены более благоприятные (анталгический эффект и функциональное состояние) исходы циркулярной фиксации. Несмотря на большую травматичность операции ТПФ+MESH при дальнейшем наблюдении отмечается статистически значимое по сравнению с двумя другими группами пациентов уменьшение интенсивности болевого синдрома.

Таблица 85 – Динамика изменений клинических параметров пациентов

Параметр	группа 1	группа 2	группа 3	p*	p**		
	консервативное (n=12)	ТПФ (n=27)	ТПФ+ MESH (n=19)		1-2	1-3	2-3
ВАШ, баллы							
до операции	7 (6;8)	7 (6;8)	7 (7;9)	0,207			
после операции	7 (6;8)	4 (3;6)	5 (5;6)	< 0,001	< 0,001	0,001	0,42
после операции 2 мес.	6 (5;7)	4 (3;5)	3 (2;4)	< 0,001	0,002	< 0,001	0,035
после операции 6 мес.	6 (5;7)	4 (3;5)	2 (2;3)	< 0,001	0,001	< 0,001	0,061
после операции 12 мес.	5 (4;5)	3 (3;4)	1 (1;2)	< 0,001	0,006	< 0,001	0,01
p (критерий вилкоксона) сравнение до операции и после операции 12 мес.	0,001	< 0,001	< 0,001				
ОДИ, баллы							
до операции	30 (30;32)	34 (28;39)	35 (33;40)	0,015	0,365	0,012	0,251
после операции	30 (29;30)	28 (20;30)	26 (24;26)	0,014	0,024	0,022	0,226
после операции 2 мес.	28 (28;30)	18 (18;20)	20 (16;20)	0,002	0,003	0,003	0,253
после операции 6 мес.	26 (26;28)	18 (14;18)	14 (14;16)	< 0,001	0,002	< 0,001	0,295
после операции 12 мес.	26 (20;26)	14 (10;18)	10 (6;10)	< 0,001	0,002	< 0,001	0,101
p (критерий вилкоксона) сравнение до операции и после операции 12 мес.	0,001	< 0,001	< 0,001				

Примечание: для количественных признаков определены медиана и квартили;
* – расчет критерия Краскала-Уоллиса;
** – скорректированный на количество сравнений критический уровень значимости при попарных сравнениях $p < 0,017$

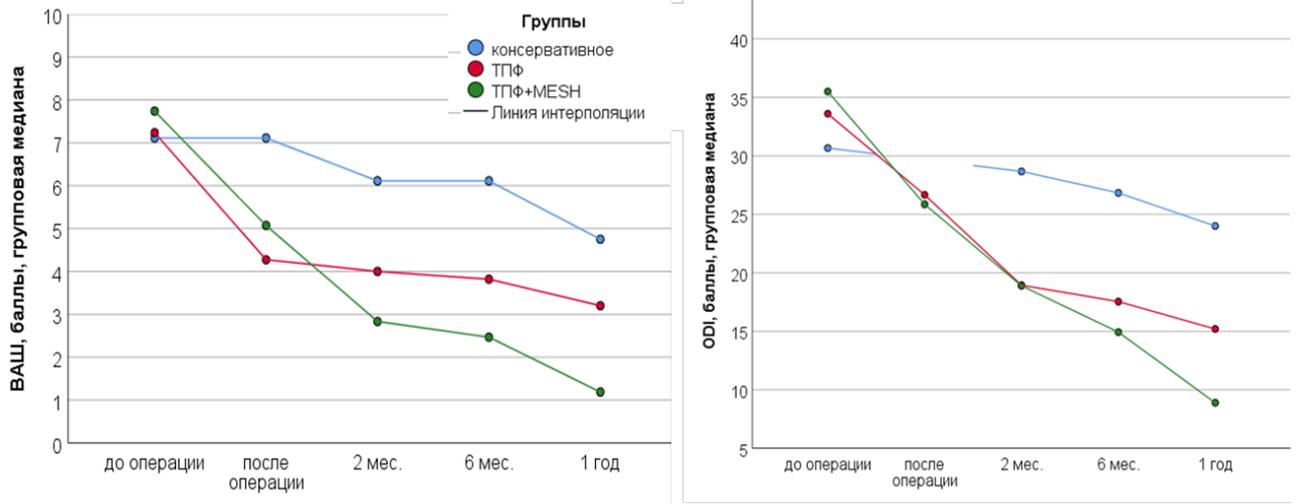


Рисунок 179 – Динамика изменений болевого синдрома (ВАШ) и функционального статуса (ОДИ)

Нестабильность МК выявлена у 7 (26%) больных (перелом/мальпозиция винтов в 6 случаях и перелом стержня в 2 случаях), оперированных в объеме транспедикулярной фиксации и у 1 пациента после циркулярной фиксации (5%). В 3 случаях (43%) выполнена ревизия с перемонтажом конструкции.

Для выявления предикторов развития несостоятельности мы провели ретроспективное исследование (однофакторный и многомерный регрессионный анализ) предикторов несостоятельности среди всех пациентов, подвергшихся хирургической коррекции (группа 2 и 3, 46 пациентов). В Таблице 86 представлены данные однофакторного и многофакторного регрессионного анализа.

При однофакторном анализе (построение таблиц сопряженности) выявлены следующие значимые факторы риска нестабильности МК: ИМТ > 26 кг/м² (ОШ – 9,4; ДИ95% 1,7–53,3), ОДИ до операции > 32 баллов (ОШ – 1,4; ДИ95% 1,1–1,8), L4-S1 угол Cobb после операции < 20 град. (ОШ – 5,9; ДИ95% 1,3–25,5), ДППК (ОШ – 5,7; ДИ95% 1,1–31,7), неполная коррекция ДППК (ОШ – 2,0; ДИ95% 1,2–3,4), высота передней колонны до операции < 30 мм (ОШ – 5,1; ДИ95% 1,7–15,3), высота передней колонны после операции < 30 мм (ОШ – 11,1; ДИ95% 3,6–34,4), бисегментарная ТПФ (ОШ – 5,6; ДИ95% 1,7–41,1). При многофакторном анализе (логистическая регрессия) только параметр «высота передней колонны

после операции < 30 мм» (ОШ – 3,4; ДИ95% 1,6–10,5) повышает риск развития нестабильности МК.

Таблица 86 – Факторы риска нестабильности МК (однофакторный и многофакторный регрессионный анализ)

Параметр	ОФА	МФА	EXP(B)	95% Дов. интервал	
				нижняя	верхняя
Возраст > 44 лет	0,08	0,337			
ИМТ > 26 кг/м ²	0,008	0,101			
Женский пол	0,276	0,478			
Срок после травмы > 15 дней	0,057	0,072			
Неврологический дефицит (N1-N3)	0,512	0,737			
ВАШ до операции > 7 баллов	0,09	0,822			
ODI до операции > 32 баллов	0,009	0,512			
Тип перелома A4 по AOSpine	0,132	0,659			
L4-S1 угол Cobb до операции < 20 град.	0,439	0,913			
L4-S1 угол Cobb после операции < 20 град.	0,008	0,101			
Отсутствие коррекции после операции	0,262	0,299			
ДППК	0,037	0,101			
Не полная коррекция ДППК	0,03	0,299			
Высота передней колонны до операции < 30 мм	0,008	0,458			
Высота передней колонны п/о < 30 мм	<0,001	0,004	3,41	1,60	10,51
Неполная коррекция ПВПК	0,428	0,512			
Бисегментарная ТПФ	0,043	0,101			
Отсутствие промежуточной фиксации	0,2	0,348			
<i>Константа</i>		0,010			

5.4. Разработка алгоритма лечения

Анализ результатов лечения изолированных повреждений L5 позвонка и биомеханическое моделирование позволило предложить новый алгоритм хирургического лечения (Рисунок 180). Алгоритм основан на принятии во внимание признаков нестабильности повреждения и предикторов развития нестабильности МК (ИМТ > 26 кг/м², ODI до операции > 32 баллов, ДППК, высота передней колонны до операции < 30 мм).

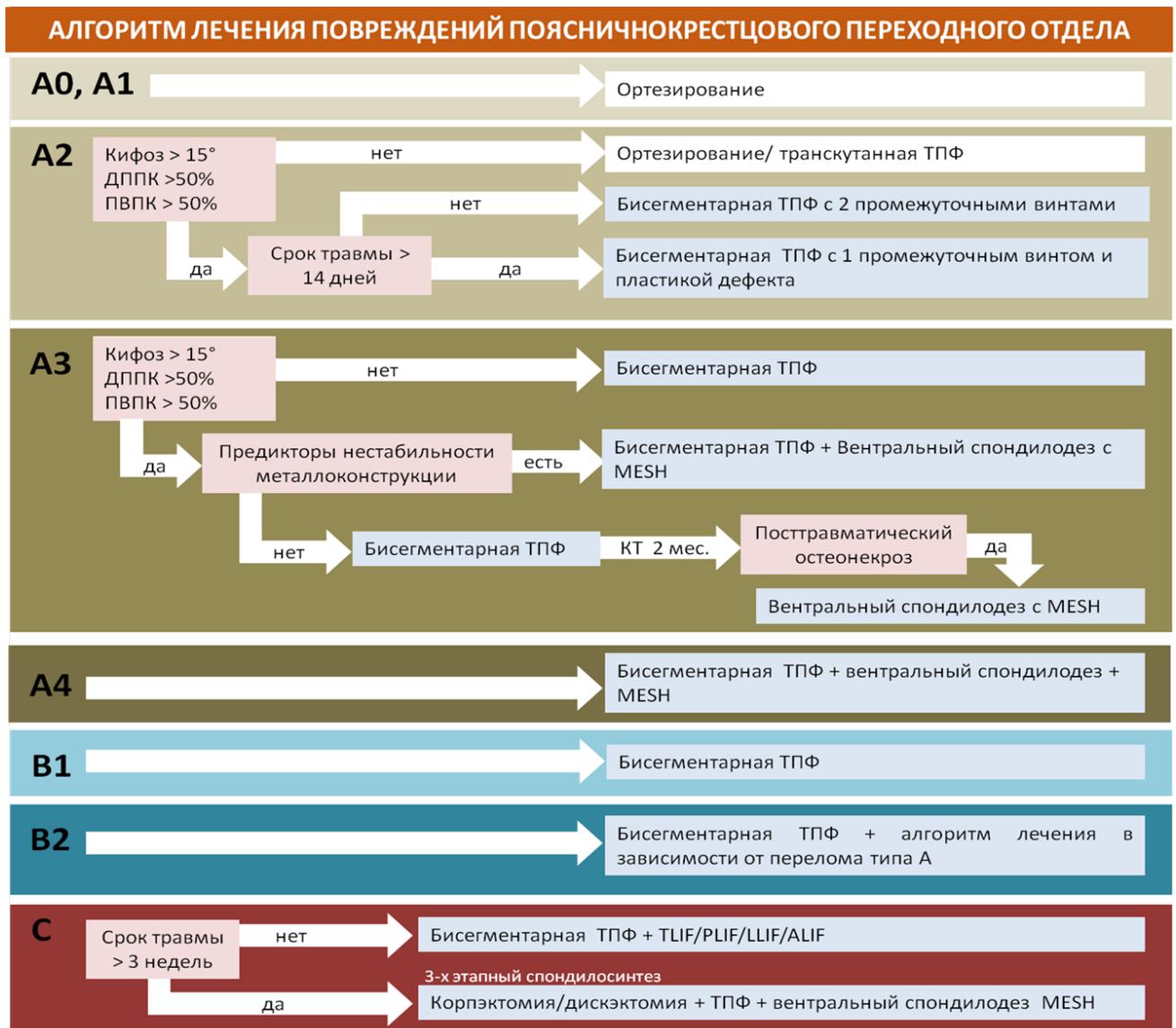


Рисунок 180 – Алгоритм хирургического лечения при повреждениях переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника с учетом типа повреждения

При переломах типа A0 и A1 хирургическое лечение не показано. При неосложненных переломах A2 и отсутствии признаков нестабильности (выраженный сегментарный кифоз > 15 град., дефицит просвета позвоночного канала $> 50\%$, потеря высоты передней колонны $> 50\%$) также возможно ортезирование, но возможно и выполнение транскутанной транспедикулярной фиксации как альтернативы ему. При наличии вышеперечисленных факторов риска усугубления последствий травмы и сроке травмы до 14 дней показана бисегментарная ТПФ с двумя промежуточными винтами в тело L5 позвонка, позволяющая достичь репозиции фрагментов позвонка и их стабильной фиксации.

При большем сроке после травмы рекомендуется дополнять ТПФ 1 промежуточным винтом с транспедикулярной пластикой дефекта кости остеиндуктивным материалом.

При неосложненных переломах типа А3 и отсутствии признаков нестабильности показано выполнение стандартной бисегментарной ТПФ. При наличии данных факторов и предикторов нестабильности МК для пояснично-крестцового перехода показано одномоментное выполнение бисегментарной ТПФ и вентрального спондилодеза с имплантатом MESH. При отсутствии предикторов нестабильности МК выполняется только бисегментарная ТПФ. С целью контроля консолидации тела позвонка, исключения признаков посттравматического остеонекроза – через 2 месяца после операции выполняли КТ L5 позвонка, в случае остеонекротических процессов выполняли резекцию тела L5 по типу паза, опорный корпородез MESH, ауто- или аллокостью.

При переломах типа А4 вне зависимости от выраженности кифоза, ДППК и ПВПК показано одномоментное выполнение бисегментарной ТПФ и вентрального спондилодеза с имплантатом MESH.

При переломах типа В1 показана бисегментарная ТПФ. При переломах В2 – бисегментарная ТПФ с промежуточными винтами в зависимости от типа перелома А. Данная методика экстраполирована из алгоритма хирургической реконструкции подобных переломов грудопоясничного переходного отдела ввиду недостаточного количества пациентов с переломом L5 подобной морфологии.

При переломах типа С и при малом сроке после травмы (< 21 дня) выполняли бисегментарную ТПФ + межтеловой спондилодез из различных доступов (TLIF, PLIF, LLIF, ALIF). При повреждениях сроком свыше 21 дня – 3-этапный спондилосинтез: корпорэктомия/дискэктомия, ТПФ и вентральный спондилодез с установкой кейджа (контейнерного имплантата) типа «MESH», заполненного ауто/аллокостью.

5.5. Обсуждение результатов

Компрессионно-оскольчатые переломы тела пятого поясничного позвонка встречаются достаточно редко и составляют до 1,6% всех повреждений позвоночного столба [91, 239, 271]. В зарубежной литературе информация о травме данной локализации ограничивается описаниями серий случаев, наибольшая из которых представлена 14 пациентами [419]. В доступной отечественной литературе подобных публикаций не найдено. Биомеханика пояснично-крестцового переходного отдела позвоночника характеризуется переходом мобильного поясничного отдела позвоночника к относительно неподвижному тазу. Комбинация «сдвигающих» и компрессирующих усилий на уровне L5-S1 предъявляет повышенные требования к стабильности спондилосинтеза при повреждениях этой локализации [288, 289, 402].

Оскольчатый характер перелома, как правило, является следствием приложения критического усилия по оси позвоночного столба, приводящего к пропульсии фрагментов тела позвонка в просвет позвоночного канала и формированию кифотической деформации. Анатомия и биомеханика переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника определяют морфологию переломов, отличающуюся от повреждений тораколюмбарной зоны. Взрывные переломы (A3, A4 по AOSpine) L5 позвонка более стабильны относительно аналогичных разрушений переходного грудопоясничного отдела ввиду расположения ниже гребней подвздошных костей и дополнительной стабилизации подвздошно-поясничными связками. Значительная компрессия тела L5 позвонка в ряде случаев может привести к изменению биомеханики позвоночника ввиду нарушения сагиттального баланса. Сочетание большого поперечного сечения позвоночного канала на уровне L5 позвонка и относительно большей устойчивости к травме корешков конского хвоста по сравнению с конусом спинного мозга способствует незначительному числу неврологических осложнений при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка.

По мнению различных авторов, оскольчатые переломы рассматриваются как нестабильные при наличии неврологического дефицита, значительной потери высоты тела позвонка более 50%, а также при наличии более 15–20 град. кифоза и дефицита просвета позвоночного канала более 40% [310, 401]. В нашем биомеханическом исследовании математическое моделирование подтвердило клинические данные о повышении риска нестабильности травмированного L5 позвонка при сегментарном кифозе более 15 град. На сегодняшний день отсутствует единообразие во взглядах на тактику лечения пациентов с изолированным повреждением L5 позвонка. Следует отметить, что сложность хирургической реконструкции при подобной травме обусловлена уникальными топографо-анатомическими и биомеханическими особенностями этой зоны.

Стандартное для тораколумбарной травмы решение в виде бисегментарной транспедикулярной фиксации в сегментах L4-S1 не рекомендуется к применению некоторыми авторами ввиду отсутствия доказанных преимуществ по сравнению с консервативным лечением [197, 242, 419].

Контраргументом в отношении использования данной методики являются ограниченные ее возможности в отношении сохранения нормальных параметров поясничного лордоза на этом уровне. Частое несращение переломов, формирование кифотической деформации, нарушения сагиттального баланса сопровождаются формированием хронического болевого синдрома и снижением качества жизни. При минимальной костной травме у неврологически интактных пациентов предлагается придерживаться консервативной тактики лечения [197]. Напротив, С.А. Mick et al. [166] приводят неудовлетворительную динамику в виде снижения высоты передних отделов тела компримированного L5 позвонка у пациентов, получавших консервативное лечение, противопоставляя ей данные реклинации тел позвонков у пациентов, которым был выполнен транспедикулярный спондилосинтез. Однако, по данным А. Kaminski et al. (2002), подобные вмешательства чреваты потерей коррекции в отдаленном послеоперационном периоде [276]. Несмотря на значительную потерю коррекции, функциональные и интроскопические результаты, как правило, не коррелируют.

Эффект декомпрессии содержимого позвоночного канала также не очевиден относительно спонтанного регресса радикулопатии [159]. Профилактика вторичной кифотизации на уровне L5 позвонка путем восстановления опороспособности передней колонны позвоночного столба обеспечивается выполнением переднего опорного корпородеза. Подобная операция, проводимая из переднего доступа, сопряжена с техническими сложностями ввиду прилегания магистральных сосудов к передней поверхности тела позвонка. Известны также статьи, посвященные корпородезу из заднего доступа, содержащие противоречивые результаты лечения единичных больных [265, 282].

Мы провели анализ результатов биомеханического математического моделирования различных вариантов хирургического лечения при изолированной травме L5 позвонка: модели без имплантатов, модели ТПФ с 4 винтами, модели ТПФ с 5 винтами, модели ТПФ с 6 винтами, модели ТПФ с 4 винтами и кейджем. Вариант с установкой кейджа Mesh и ТПФ с 4 винтами в позвонки L4 и S1, безусловно, приводит к наиболее жесткой стабильной фиксации сегмента. При таком варианте существенно снижаются эквивалентные напряжения как в костной ткани, так и в имплантатах. При сравнении одноэтапных вариантов лечения, а также варианта без установки имплантатов, наиболее рациональным с точки зрения биомеханики оказались варианты с установкой дополнительных промежуточных винтов. При этом, учитывая тот факт, что два указанных варианта не существенно отличаются между собой по значениям максимальных эквивалентных напряжений в костных тканях и имплантатах, установка дополнительного (шестого) винта видится с точки зрения биомеханики избыточной.

В нашем клиническом исследовании при сравнении рентгенологических результатов консервативного лечения показатели регионарного угла L4-S1 в сроки до 6 месяцев после травмы при консервативном лечении выглядят предпочтительнее, чем при транспедикулярной фиксации, что обусловлено равномерным уменьшением высоты передней и средней опорных колонн в условиях отсутствия имплантированного заднего инструментария. Однако, после 12 месяцев наблюдения рентгенологические и клинические преимущества

консервативного лечения исчезают. По нашим данным уменьшение регионарного угла L4-S1 после имплантации транспедикулярной системы, сопровождающееся ухудшением качества жизни и менее выраженным в отдаленной перспективе регрессом болевого синдрома по сравнению с циркулярной хирургической реконструкцией, что не позволяет рекомендовать данный вариант спондилосинтеза как метод выбора. По всей видимости, уменьшение регионарного угла L4-S1 связано с дистракцией дорзальных отделов позвоночно-двигательных сегментов L4-S1 при недостаточном реклинирующем воздействии на переднюю опорную колонну L5 позвонка.

Повышения клинической эффективности хирургической реконструкции при повреждениях L5 позвонка можно достичь дополнением транспедикулярной фиксации передним опорным корпородезом в сочетании (при необходимости) с декомпрессией содержимого позвоночного канала. Опыт применения имплантатов типа MESH в реконструкции резецированного тела позвонка на уровне переходного грудопоясничного отдела [6, 19, 37] может быть «экстраполирован» и на поясничнокрестцовый переход. В доступной литературе недостаточно представлен опыт циркулярной фиксации и декомпрессии при оскольчатых переломах L5 позвонка [185, 271]. Транспедикулярный спондилосинтез переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника недостаточно стабилен для минимизации риска развития нестабильности МК и реколлапса тела позвонка.

Принимая во внимание главенствующую роль L4-L5 и L5-S1 сегментов в формировании поясничного лордоза, помимо восстановления высоты тела L5 позвонка необходима реконструкция и обеспечение сохранения гармоничного сагиттального профиля позвоночника на этом уровне. Следствием этого можно ожидать нормализацию и сохранение нормального сагиттального баланса позвоночника. Вышеперечисленное можно достичь комбинацией транспедикулярной системы и переднего опорного корпородезом имплантатом типа MESH.

Нормальный лордоз на уровне L4 - S1 составляет около 40 град. [101]. Травма, приводящая к деформации L5, изменяет сагиттальный баланс пациента.

Хотя долгосрочные последствия этого не были широко описаны в литературе, посвященной повреждениям позвоночника, нарушения сагиттального баланса у пациентов с деформациями и дегенеративно-дистрофическими поражениями позвоночника коррелируют со снижением качества жизни [376]. В отношении L5 позвонка в данном исследовании получены результаты, согласующиеся с ранее сообщенными данными [271], так как при удовлетворительных функциональных результатах отмечалось улучшение регионарного угла L4-S1. Это исследование также содержит ограничения, связанные с его ретроспективным дизайном, отсутствием возможности оценить сагиттальный баланс ввиду отсутствия снимков положения «стоя» у большинства пациентов до операции и небольшим количеством пациентов.

Рентгенологические и функциональные исходы использования стандартной транспедикулярной фиксации при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка сопоставимы с результатами консервативного лечения и не способствуют достижению удовлетворяющих пациента показателей. Это, по всей видимости, связано с негативным воздействием транспедикулярной фиксации на этом уровне при переломах типа A3 и A4, так как за счет дистракции дорзальных отделов уменьшается лордоз на уровне L4-S1 по сравнению с дооперационными показателями. Вероятно, это связано с анатомическими особенностями переходной поясничнокрестцовой зоны (расположения ниже гребней подвздошных костей и дополнительной стабилизации подвздошно-поясничными связками). По результатам нашего исследования в 26% случаев в сроки до 12 месяцев такая хирургическая тактика была сопряжена с развитием нестабильности МК. Дополнение транспедикулярной системы расклинивающим опорным корпородезом MESH в 21% случаев обеспечивает сохранение, а в 79% улучшает параметры сагиттального профиля переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника. При выполнении переднего корпородеза на этом уровне обязательно участие сосудистого хирурга. В нашем исследовании в 4 случаях (21%) при выделении наблюдалось повреждение магистральных сосудов (в 2 случаях –

левая общая подвздошная вена, в 1 случае – НПВ в области бифуркации, в 1 случае – левая общая подвздошная артерия).

Одним из ограничений нашего исследования является малый объем выборки. По данным D. D'Aquino et al. [398] для достижения мощности 70% (effect size $d = 0.588$, $\alpha = 0.05$, $1-\beta = 0.28$), необходимо, чтобы в каждой исследуемой группе пациентов с травмой L5 позвонка было не менее 30 пациентов. Поэтому необходимо еще раз сказать о пользе биомеханического математического моделирования, которое позволяет проверить различные гипотезы и медицинские технологии в случае редких патологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время существует огромное количество хирургических техник, позволяющих осуществить реконструкцию при повреждениях переходных отделов позвоночника. Обращают на себя внимание схожие клинические результаты применения различных по травматичности и стабильности фиксации методик при однотипных разрушениях позвонков. Обобщая данные литературы, следует подчеркнуть, что, учитывая сложность топографической анатомии переходных отделов позвоночника, высокие требования к стабильности спондилосинтеза ввиду повышенных нагрузок на оперированные сегменты, высокий риск осложнений при проведении ревизионных операций, задачей хирурга становится выбор оптимального способа хирургической реабилитации пациента. Многие аспекты спондилосинтеза переходных отделов позвоночника требуют дальнейшей разработки.

В последнее время компьютерное моделирование поврежденного и синтезированного позвоночника можно отнести к одному из инструментов предоперационного планирования. При этом распространенность расхождений между результатами клинических и экспериментальных исследований, а также отсутствие клинических исследований высокого уровня доказательности, посвященных применению результатов компьютерного биомеханического моделирования в выборе способа спондилосинтеза позволяют говорить о необходимости продолжения работ в этом направлении.

Изолированная травма шейногрудного перехода – редкая патология. Опубликовано лишь несколько работ, посвященных хирургическому лечению травмы этого отдела позвоночника, и в большинстве случаев – это клинические примеры или малые серии пациентов. Тактика лечения травмы ШГП до сих пор дискуссионна. Продолжают разрабатываться способы доступа к ШГП, изучаются различные фиксирующие конструкции, набирается клинический опыт для оценки отдаленных результатов. Все это делает изучение травм ШГП актуальной научной проблемой. В наше исследование вошло всего 34 пациента с травмой ШГП за

десятилетний период. Отсутствие большого клинического опыта делает биомеханическое моделирование незаменимым для анализа различных вариантов лечения, применения различных медицинских технологий, оценки предикторов возможных осложнений при редкой патологии.

В клинической практике мы сталкиваемся с индивидуальными анатомическими особенностями (форма грудной апертуры, высота расположения рукоятки грудины и степень шейногрудного кифоза), которые влияют на возможность доступа, и приводят к необходимости выполнения манубриотомии или стернотомии при переднем доступе к ШГП. Это повышает травматичность доступа и частоту осложнений. В связи с этим, актуальным является определение параметров предоперационной оценки возможности выполнения переднего доступа без манубриотомии. Для решения этой задачи проведен анализ параметров саггитального баланса и параметров входа в грудную клетку по данным КТ-исследований (n=84), проведенных на базе НИИТОН ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. При анализе мы провели оценку нового рентгенологического показателя в зависимости от пола и возраста, а также выявили пороговые значения грудинношейного угла (SCA – sternocervical angle).

Мы выявили, что доступ без манубриотомии может быть выполнен в 93%, 67% и 13% для С7, Th1 и Th2 позвонков, соответственно. Определили, что доступ к С7 позвонку без манубриотомии можно осуществить при грудинношейном угле более 70 град. в 100% случаев, к Th1 позвонку при угле более 90 град. – в 94% случаев, и к Th2 позвонку при угле более 110 град. – в 43% случаев. В нашем исследовании выявлена зависимость грудинношейного угла от возраста. Причем показано, что у пожилых пациентов доступ может быть затруднен, и практически невозможен при необходимости инструментировать Th2 позвонок у пациентов старше 70 лет.

В проведенном клиническом ретроспективном исследовании мы показали значимость оценки грудинношейного угла для прогнозирования несостоятельности МК. Это, по-видимому, связано с плохой визуализацией и трудностями при введении фиксирующих винтов, в том числе невозможностью

разнонаправленного введения винтов в случае затрудненного доступа. Мы пришли к выводу, что при планировании хирургического лечения травмы ШГП необходима предоперационная оценка возможности выполнения переднего доступа без манубриотомии. В качестве такой оценки грудинно-шейный угол является удобным как в расчетах, так и в интерпретации. При выявлении необходимости выполнения манубриотомии/стернотомии стоит рассмотреть вариант циркулярного спондилодеза (360 град.).

Нами были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами C1-Th10 и 10 пациентов с изолированными повреждениями C7 позвонка. С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки. Оценена эффективность различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника.

В ходе исследования при анализе модели шейногрудного отдела позвоночника в норме мы выявили рост эквивалентных напряжений на позвонки Th1 и Th2, в то же время напряжения в других позвонках оказались существенно ниже. Это указывает на повышенные требования к стабильности именно нижнего полюса МК при остеосинтезе переломов ШГП. Соответственно, необходима хорошая визуализация нижнего позвонка, что бывает, крайне затруднительно в этой области. Определили, что при различных типах травмы ШГП (тип А и С по классификации AOSpine) разнонаправленное введение винтов при фиксации передней пластины и верхний и в нижний позвонки оказывается наиболее стабильной конструкцией среди трех рассмотренных. При этом оказывается наименьшая нагрузка на нижний позвонок (Th1).

Выявлено, что применение кейджа типа MESH максимального диаметра (13 мм) демонстрирует наименьшие перемещения в зафиксированном участке

позвоночника, что говорит о более высокой жесткости данного варианта. Это позволило сделать вывод о целесообразности использования в клинической практике кейджа типа MESH максимально возможного диаметра.

При анализе напряженно-деформированного состояния моделей переломов типа А и С с разной степенью наклона мы выявили, что при всех типах переломов угол наклона более 20 град. является критичным углом, когда происходит скачкообразное (порядка 10%) увеличение напряжений в винтах и позвонках, а также перемещений верхнего позвонка относительно зафиксированного. Смоделированный в нашем исследовании угол наклона является аналогом такого показателя саггитального баланса, как T1 slope (наклон Th1 позвонка). Увеличение угла наклона моделирует усиление шейного лордоза, что, способствует формированию сдвиговых нагрузок в зоне ШГП. Этим можно объяснить повышение риска нестабильности МК в послеоперационном периоде.

Кроме того, мы провели математическое моделирование комбинированных вмешательств (циркулярный спондилосинтез). Дополнительная установка дорсальной конструкции в позвонки С6-Th1 вместе с передним спондилодезом позволяет существенно снизить механические напряжения в нижнем позвонке и пластине, и перемещения всего позвоночно-двигательного сегмента. Это позволяет повысить стабильность фиксации и снизить нагрузку на переднюю пластину и при типе А, и при типе С переломов ШГП.

Мы провели ретроспективную оценку результатов различных вариантов лечения пациентов с изолированной травмой ШГП, прооперированных с 2010 по 2021 гг. Пациентов разделили на 2 группы: 1 группа (n=28) – пациенты со стабильной фиксацией через 12 мес. после операции, 2 группа (n=6) – пациенты с нестабильной фиксацией. Был проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для выявления значимых предикторов несостоятельности фиксации.

При трехколонном повреждении ШГП тактика хирургической реконструкции обсуждается. Применяется как передняя, так и циркулярная фиксация. Показанием к циркулярной фиксации могут быть двусторонние

переломо-вывихи, и особенно застарелые повреждения, крайне нестабильные или особо сложные травмы, травма в сочетании с анкилозирующим спондилитом (болезнь Бехтерева) и политравмы с длительной искусственной вентиляцией легких. В наше исследование вошло всего 34 пациента, и в большинстве случаев спондилосинтез выполнен из переднего хирургического доступа. Поэтому мы не старались оценить преимущества того или иного метода и попытались проанализировать только клинико-демографический характер пациентов, особенности и осложнения переднего доступа, а также предикторы нестабильности МК.

Наш опыт хирургического лечения пациентов с одноуровневой травмой позвоночника в области шейногрудного перехода показал хорошие непосредственных и отдаленных (до 1 года) результаты. Во всех случаях удалось добиться коррекции ДППК, и в большинстве случаев – коррекции потери высоты передней колонны (76%, 26/34). Сегментарная кифотическая деформация скорректирована у 97% (33/34) пациентов. Дислокация позвонка устранена в 100% случаев. Через 12 мес. после операции отмечалось значимое улучшение по шкале ВАШ и NDI у большинства пациентов (82%, 28/34).

Осложнения наблюдались у 11 пациентов (32%, 11/34). Однако все осложнения были нетяжелыми и преходящими: дисфагия, дисфония, синдром Горнера, синдром Арлекина. Лишь в 1 случае (3%) потребовалась ревизия по поводу напряженной подкожной гематомы. У одной больной по данным КТ в послеоперационном периоде диагностирована бессимптомная медиастинальная гематома, которая регрессировала по данным контрольного КТ через 3 мес. Не было тяжелых местных и системных осложнений, описанных в литературе [394].

Частота нестабильности при хирургии шейногрудного перехода варьирует от 2,3% до 9,1%. В нашем исследовании нестабильность металлофиксации с потерей коррекции кифоза и появлением или усилением болевого синдрома выявлена у 6 пациентов (17,6%, 6/34) через 6–12 мес. после операции. В 4 случаях несостоятельность МК сочеталась со значимым увеличением кифотической деформации, отмечалось значимое изменение по шкале ВАШ, увеличение

сегментарного кифоза, дислокации и потери высоты передней колонны, что соответствует данным литературы.

Предикторами несостоятельности, выявленными в различных исследованиях, являются: билатеральный характер повреждения, флексионно-дистракционных повреждения 3-го типа по классификации Allen – Ferguson, изолированная передняя стабилизация, болезнь Бехтерева, безинструментальная ламинэктомия, вентральная многоуровневая корпэктомия (два или три уровня), предшествующие операции на шейном отделе позвоночника и употреблением табака, мужской пол, многоуровневое поражение и применение аллотрансплантата, пожилой возраст. В нашем исследовании при однофакторном анализе значимыми предикторами несостоятельности МК оказались: дислокация до операции (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–4,2), возраст более 46 лет (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,0–4,5), билатеральное повреждение суставного отростка (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,0–3,6), кифоз до операции > 11 град. (ОШ – 1,6; ДИ95% 1,1–3,0), грудинно-шейный угол < 70 град. (ОШ – 3,6; ДИ95% 1,6–19,7), проекционный угол < -20° (ОШ – 2,2; ДИ95% 1,2–6,6), угол наклона Th1 позвонка > 20 град. (ОШ – 1,9; ДИ95% 1,1–3,1). Мы не выявили связи развития нестабильности с полом, сроком травмы, степенью подвывиха. В исследование не включали пациентов с болезнью Бехтерева и оценивали только одноуровневое поражение. Применение аллотрансплантата было только в 1 случае, что не привело к развитию несостоятельности МК. Клиническое исследование подтвердило данные биомеханического моделирования о преимуществе разнонаправленного введения фиксирующих винтов. Данную методику мы применили у 14 (50%) пациентов. Ни у одного из них не возникло несостоятельности конструкции. Применение разнонаправленных винтов снижало риск развития нестабильности при однофакторном анализе (ОШ – 0,7; ДИ95% 0,5–0,9).

При многомерной логистической регрессии только наличие дислокации (сочетания перелома типа А4 с дислокацией, или с повреждением типа С) повышало риск развития нестабильности МК.

На основе проведенного анализа результатов хирургического лечения и биомеханического моделирования разработан новый алгоритм при изолированных повреждениях шейногрудного перехода с учетом типа повреждения, наличия предикторов несостоятельности МК и анатомических особенностей входа в грудную клетку.

Как и в других, основным ограничением нашего исследования результатов хирургического лечения при травме шейногрудного отдела позвоночника явились малое количество наблюдений, ретроспективный неослепленный анализ результатов хирургического лечения, малое число комбинированных вмешательств. Поэтому для уточнения полученных данных необходим дальнейший набор клинического материала и его оценка.

Травма переходного грудопоясничного отдела позвоночника (Th11-L2), составляет до 90% повреждений всего позвоночного столба [124]. От 10 до 20% взрывных переломов локализованы на уровне Th11-L2. Учитывая преимущественную локализацию повреждений позвоночника в его переходном грудопоясничном отделе, хирургия этой зоны получила наибольшее развитие. Выбор наиболее подходящего хирургического метода при травме ГПП, особенно при тяжелой потере высоты передней колонны и выраженного кифоза остается дискуссионным. Гетерогенность морфологии оскольчатых переломов позвонков переходного грудопоясничного отдела позвоночника вследствие различных механизмов травмы не позволяет сформировать универсальную тактику хирургического лечения данных повреждений.

На сегодняшний день альтернативой короткосегментарному инструментированию является использование полисегментарных конструкций [385], а профилактикой дестабилизации при потере опороспособности тела позвонка – дополнение дорзальной фиксации вентральным корпорорезом. Методикой, сочетающей высокую стабильность системы кость-металлоконструкция с относительно низкой травматичностью, можно считать короткосегментарную и полисегментарную фиксацию, дополненные билатеральным введением транспедикулярных винтов в поврежденный позвонок.

Недостаточная освещенность в доступной литературе, особенно в отечественной, опыта применения дополнительных (промежуточных, intermediate screw fixation) винтов, введенных в поврежденный позвонок при тораколюмбарной травме, а также выполнению вентрального спондилодеза при наличии транспедикулярных систем подобной компоновки, дает основание продолжать исследования в данном направлении.

В настоящее время вектор научных исследований при травме грудного отдела позвоночника сместился в сторону поиска предикторов риска развития нестабильности металлоконструкций и подбора оптимальной системы фиксации с учетом биомеханических преимуществ тех или иных конструкций. Значительную роль в алгоритме принятия решений в реконструктивной хирургии переходного грудного отдела играют результаты биомеханических исследований. Несмотря на пристальное внимание к биомеханике развития взрывных переломов переходного грудного отдела позвоночника [471], в доступных отечественных и зарубежных источниках не обнаружено работ, посвященных моделированию всех позвоночно-двигательных сегментов переходного грудного отдела позвоночника и оценки напряжений и перемещений в них в норме и при повреждающих нагрузках. Также отсутствуют исследования биомеханики развития переломов и переломовывихов, классифицирующихся как тип В и С по AOSpine, которые формируются при дистракционном и дистракционно-ротационном механизме травмы. Результаты ряда исследований по биомеханическому моделированию в определенной мере противоречат клинической практике.

Нами были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии позвоночника 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами Th10-L4 и 70 пациентов с повреждениями грудного отдела позвоночника. С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника, включающая позвонки от С7 до S5, ребра, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки. Оценена эффективность различных методик в отношении механической

стабильности систем различной компоновки. На базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование инструментированного позвоночника. Получены новые данные о биомеханических особенностях груднопоясничного отдела позвоночника в норме и при патологии, а также в инструментированном состоянии. Созданы биомеханические компьютерные модели нормального, поврежденного и инструментированного позвоночника, включающие в себя геометрические твердотельные модели позвонков, межпозвонковых дисков, связок, суставов и систем фиксации с учетом их индивидуальных механических свойств и геометрических параметров.

Для оценки предикторов несостоятельности фиксации, всех 273 пациентов, прооперированных с 2010 по 2017 г. разделили на 3 группы: 1 группа (n=215) – пациенты со стабильной фиксацией в течение 1 года после операции; 2 группа (n=49) – пациенты, у которых выявлена нестабильность фиксации (перелом/миграция винта или стержня); 3 группа (n=9) – пациенты с посттравматическим остеолизом позвонка в послеоперационном периоде. Был проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для выявления значимых предикторов несостоятельности фиксации и остеолиза. Проведен анализ причин несостоятельности короткосегментарных фиксирующих систем у пациентов с повреждениями переходного груднопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения и сопоставление его результатов с данными биомеханического моделирования, а также с биомеханическими критериями успешности хирургического реконструктивного лечения заболеваний и повреждений позвоночника. Выявлены значимые предикторы несостоятельности фиксации (перелом и миграция МК): ИМТ более 28 кг/м² (ОШ 13,1 [2,3–125,1]), перелом типа А4 по AOSpine (ОШ 5,8 [1,0–31,8]), бисегментарная ТПФ (ОШ 6,7 [1,3–32,5]), отсутствие промежуточной фиксации (ОШ 22,2 [5,0–97,0]), и угол остаточной кифотической деформации более 8 град. (ОШ 17,7 [5,5–57,3]). А также предикторы развития посттравматического остеолиза позвонка: возраст старше 47 лет (ОШ 29,9 [2,7–62,5]), перелом типа А4 по AOSpine (ОШ 12,2 [1,7–76,8]), травматическое расширение позвонка более 63% (ОШ 13,9 [1,8–105,3]) и наличие

дефицита просвета позвоночного канала (ОШ 12,2 [1,5–99,5]) по данным предоперационного КТ. Составлены шкалы риска развития несостоятельности МК и остеонекроза травмированного позвонка, которые в дальнейшем использовали в новом алгоритме хирургического лечения.

В хирургическом лечении пациентов с нестабильными повреждениями тораколюмбарной зоны «золотым стандартом» считается короткосегментарная транспедикулярная фиксация. При этом немало публикаций, посвященных распространенному (до 30% случаев) развитию несостоятельности короткосегментарных стабилизирующих систем, наступающего до консолидации перелома. Однако, последние исследования сообщают о высокой эффективности короткосегментарной фиксации при переломе типа А3. Компоновка дополнена двумя промежуточными винтами, введенными в поврежденный позвонок. Применение же полисегментарной системы обеспечивает снижение общего уровня напряжений в позвоночнике, снижением осевой нагрузки на поврежденный позвонок на 20%. По данным исследования негативным аспектом использования полисегментарных конструкций является более высокий по сравнению с короткосегментарной фиксацией риск развития синдрома смежного сегмента за счет статистически значимо более высоких напряжений в краниальном от зоны фиксации межпозвоночном диске при сгибании и боковом наклоне.

Таким образом, среди существующих вариантов спондилосинтеза при взрывных переломах груднопоясничного перехода оптимальными большинство авторов считают короткосегментарную фиксацию, дополненную промежуточными винтами и полисегментарную фиксацию (как правило, инструментируются 2 позвонка краниальнее и 2 позвонка каудальнее поврежденного), при этом в случае перелома Th11-L2 позвонков верхним инструментированным позвонком, как правило, будет Th9-Th12. Среди негативных сторон полисегментарной транспедикулярной фиксации ряд авторов отмечает высокий риск развития ускоренной дегенерации смежных позвоночно-двигательных сегментов. Однако, обращаясь к результатам исследований, посвященным синдрому смежного сегмента у пациентов, подвергнутых декомпрессивно-стабилизирующим

вмешательствам по поводу дегенеративно-дистрофических заболеваний поясничного отдела позвоночника (ДДЗП), можно отметить достаточно низкий риск развития этого осложнения (1,3% случаев) в первые 2 года после операции. Лишь спустя 5 и 10 лет после вмешательства доля хирургически значимых дегенеративных изменений смежных с фиксированными сегментов достигает 5,8–10,4% соответственно. При этом средний возраст пациентов, оперированных по поводу ДДЗП, существенно выше среднего возраста пациентов, оперированных по поводу травмы позвоночника. При корректном введении транспедикулярных винтов их негативное воздействие в отношении развития спондилоартроза и спонтанного артродеза дугоотростчатых суставов минимально. Сроки, через которые возможно удаление дорзальной МК в связи с консолидацией перелома или формированием артифициального костно-металлического блока, составляют около 12 месяцев. Краниальный смежный сегмент поражается в 2 раза чаще каудального при условии, что фиксация осуществлена на уровне поясничного отдела позвоночника. Таким образом, синдром смежного сегмента не представляется значимой проблемой, сопутствующей полисегментарной транспедикулярной фиксации при изолированных переломах переходного грудопоясничного отдела. Другим феноменом, сопутствующим протяженной фиксации с верхним полюсом, локализованным на уровне грудного отдела позвоночника, является формирование проксимального переходного кифоза (РЖК). Среди осложнений спондилосинтеза при изолированной травме грудопоясничного перехода РЖК в доступной литературе не описан. Подобные патологические изменения ассоциированы, по данным литературы, с протяженной позвоночно-тазовой фиксацией до уровня Th11-L2, выраженном остеопорозе, грубых нарушениях сагиттального баланса, мышечной атрофии, грубых ятрогенных повреждениях задней опорной колонны. Все вышеперечисленные факторы не типичны для пациентов с тораколюмбарной травмой. Учитывая вышесказанное, сложно аргументировать отказ от использования полисегментарной транспедикулярной фиксации при переломах Th12-L2 позвонков риском ускоренного развития ДДЗП смежных сегментов. При этом, однако, следует учитывать риск некоторого ускорения развития

дегенеративных изменений в интактных межпозвонковых дисках, включенных в зону фиксации, увеличение продолжительности вмешательства и объема интраоперационной кровопотери, соотнося эти негативные моменты со значимым снижением риска развития ранней нестабильности короткосегментарной конструкции.

Как альтернативу транспедикулярной фиксации можно рассматривать имплантацию стабилизирующих систем из переднего хирургического доступа. В литературе достаточно подробно описаны показания и методология применения, а также преимущества и недостатки вентрального спондилосинтеза по сравнению с дорзальными методиками. При этом публикаций, посвященных сопоставлению клинических результатов использования циркулярного (ТПФ+ MESH) и изолированного вентрального вариантов реконструкции при травме переходного грудопоясничного отделов позвоночника, не обнаружено. В отношении компьютерного биомеханического моделирования вентральных стабилизирующих систем и их сравнения с другими вариантами инструментирования проведено крайне мало работ.

В качестве альтернативы изолированному использованию короткосегментарной транспедикулярной фиксации при переломах грудопоясничной локализации известно использование ТПФ в сочетании с транскутанной вертебро- или кифопластикой. Клинические исследования при этом декларируют преимущества подобных комбинированных методик в отношении раннего купирования болевого синдрома и профилактики развития нестабильности ТПФ. Так как в реальных условиях потеря достигнутой угловой коррекции, достигнутая после выполнения ТПФ, происходит постепенно по мере возникновения усталостных разрушений костной ткани и МК под действием повторнопеременных напряжений, то моделирование данных условий требует дальнейшей работы в этом направлении. Перспективным, на наш взгляд, является использование дополнительной аугментации костным цементом в качестве провизорной фиксации фрагментов поврежденного позвонка при объективной невозможности выполнить передний корпородез симультанно с ТПФ.

В отношении повреждений типа В (флексионно-дистракционные) и С (дистракционно-ротационные) сведений об алгоритмах выбора оптимальной хирургической тактики в доступной литературе немного. Повреждения типа В составляют около 15% всех травматических деструкций груднопоясничного перехода и включают в себя переломы Chance и изолированные разрушения капсульно-связочного аппарата. Единого подхода к хирургическому лечению данной категории повреждений на сегодняшний день не выработано.

Проведенный нами клинический анализ предикторов риска развития нестабильности МК и остеонекроза поврежденного позвонка, а также биомеханическое моделирование различных систем фиксации позволило нам разработать новый алгоритм хирургического лечения острой неосложненной травмы груднопоясничного перехода. В ходе проведенного клинического исследования выявлена эффективность применения нового алгоритма в плане профилактики развития нестабильности МК и необходимости повторных вмешательств. При сравнении двух сопоставимых по основным клиническим и инструментальным данным групп с и без применения нового алгоритма выявлено значимое снижение частоты нестабильности МК и реоперации. Нестабильность фиксирующих систем наблюдали в 19% в группе контроля и в 6,7% в группе применения нового алгоритма. Частота остеонекроза поврежденного позвонка была ниже в группе применения алгоритма (6% в группе контроля и 3 % в группе применения алгоритма), однако различия не были статистически значимыми. При оценке риска выявлено, что применение нового алгоритма снижало риск развития нестабильности в 3 раза (ОШ – 3,3, 95% ДИ 1,1–10,2) и риск реоперации в 2,9 раза (ОШ -2,9; ДИ 1,0–8,0).

Основным ограничением проведенного исследования по сравнению результатов применения нового алгоритма являлось не рандомизированное деление на группы, а по параметру даты выполненной операции. Кроме того, был небольшой объем выборки, короткий период наблюдения, ретроспективный неослепленный анализ результатов хирургического лечения. Несмотря на это, полученные результаты превосходства применения нового алгоритма

статистически обоснованы, хотя и требуют дальнейших рандомизированных крупных исследований для подтверждения.

Переломы пятого поясничного позвонка встречаются достаточно редко. Оскольчатый характер перелома, как правило, являются следствием приложения критического усилия по оси позвоночного столба, приводящего к пропульсии костных осколков в просвет позвоночного канала и формированию кифотической деформации. Анатомия и биомеханика переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника определяют морфологию переломов, отличающуюся от повреждений тораколюмбарной зоны. Взрывные переломы (A3, A4 по AOSpine) L5 позвонка более стабильны относительно аналогичных разрушений переходного грудопоясничного отдела ввиду расположения ниже гребней подвздошных костей и дополнительной стабилизации подвздошно-поясничными связками. Значительная компрессия тела L5 позвонка в ряде случаев может привести к изменению биомеханики позвоночника ввиду нарушения сагиттального баланса. Сочетание большого поперечного сечения позвоночного канала на уровне L5 позвонка и относительно большей устойчивости к травме корешков конского хвоста по сравнению с конусом спинного мозга, способствует незначительному числу неврологических осложнений при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка.

Оскольчатые (burst) переломы рассматриваются как нестабильные при наличии значительной потери высоты тела позвонка, а также при наличии более 15–20 град. кифоза и дефицита просвета позвоночного канала более 40–50%. Оптимальной тактикой хирургии этих переломов включает декомпрессию нервных структур при неврологических нарушениях и полную коррекцию и стабилизацию. На сегодняшний день отсутствует единообразие во взглядах на тактику лечения пациентов с изолированным повреждением L5 позвонка. Сложность хирургической реконструкции при подобной травме обусловлена уникальными топографо-анатомическими и биомеханическими особенностями этой зоны. Стандартное для тораколюмбарной травмы решение в виде бисегментарной транспедикулярной фиксации в сегментах L4-S1 не рекомендуется к применению

некоторыми авторами ввиду отсутствия доказанных преимуществ по сравнению с консервативным лечением. Контраргументом в отношении использования данной методики являются и ограниченные ее возможности в отношении сохранения нормальных параметров поясничного лордоза на этом уровне. Частое несращение переломов, формирование кифотической деформации, нарушения сагиттального баланса сопровождаются формированием хронического болевого синдрома и снижением качества жизни. При минимальной костной травме у неврологически интактных пациентов большинство авторов предлагает придерживаться консервативной тактики лечения. Профилактика вторичной кифотизации на уровне L5 позвонка путем восстановления опороспособности передней колонны позвоночного столба обеспечивается выполнением переднего опорного корпородеза. Подобная операция при выполнении из переднего доступа сопряжена с техническими сложностями ввиду прилегания магистральных сосудов к передней поверхности тела позвонка.

По результатам клинического исследования мы сделали несколько выводов. Рентгенологические и функциональные исходы использования стандартной транспедикулярной фиксации при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка сопоставимы с результатами консервативного лечения и не способствуют достижению удовлетворяющих пациента показателей. Это, по всей видимости, связано с негативным воздействием транспедикулярной фиксации на этом уровне при переломах типа A3 и A4, так как за счет дистракции дорзальных отделов уменьшается лордоз на уровне L4-S1 по сравнению с дооперационными показателями. Вероятно, это объясняется анатомическими особенностями переходной поясничнокрестцовой зоны (расположения ниже гребней подвздошных костей и дополнительной стабилизации подвздошно-поясничными связками). По результатам нашего исследования в 26% случаев в сроки до 12 месяцев такая хирургическая тактика была сопряжена с развитием нестабильности МК. Дополнение транспедикулярной системы расклинивающим опорным корпородезом MESH в 21% случаев обеспечивает сохранение, а в 79% – улучшает параметры сагиттального профиля переходного поясничнокрестцового

отдела позвоночника. При переломах типа A2 использование промежуточных винтов, введенных в тело L5 позвонка, обеспечивает лучшую консолидацию перелома по сравнению со стандартной транспедикулярной фиксацией. Скелетирование передней поверхности тела L5 позвонка и смежных дисков в 21% случаев сопровождалось повреждением магистральных сосудов. При выполнении переднего корпоротомии на этом уровне необходимо участие сосудистого хирурга или наличие возможности экстренного вызова сосудистого хирурга в операционную.

ВЫВОДЫ

1. Предикторы нестабильности металлофиксации в ШГП – билатеральное повреждение суставных отростков, кифоз до операции $> 11^\circ$, грудинно-шейный угол $< 70^\circ$; в ГПП – ИМТ $> 28 \text{ кг/м}^2$, срок после травмы > 21 дня, уровень поражения L1, перелом типа A4 по AOSpine, кифоз до операции $> 18^\circ$, угол остаточной кифотической деформации $> 8^\circ$; в ПКП – ИМТ $> 26 \text{ кг/м}^2$, ODI до операции > 32 баллов, L4-S1 угол Cobb после операции $< 20^\circ$, ДППК, неполная коррекция ДППК, высота передней колонны до операции < 30 мм. Предикторы посттравматического остеонекроза в ГПП – возраст > 47 лет, перелом типа A4 по AOSpine, расширение (vertebral body spread) тела позвонка $> 63\%$, наличие ДППК. Присутствие перечисленных предикторов приводит к несостоятельности спондилосинтеза в 18% наблюдений.
2. На основе изучения виртуальных биомеханических моделей переходных отделов позвоночника установлено, что угол наклона ПКП (C7-Th1) $> 30^\circ$ приводит к повышению эквивалентных напряжений в металлоконструкции до 46 МПа (на 61%). Использование при повреждениях ГПП бисегментарной ТПФ без промежуточной фиксации повышает эквивалентные напряжения в металлоконструкции до 80 МПа (25%) по сравнению с полисегментарной и циркулярной фиксацией. При спондилосинтезе ПКП использование промежуточной ТПФ уменьшает эквивалентные напряжения в металлоконструкции на 15 МПа (20%).
3. Использование разработанного справочника-переходника по классификации типов переломов позволило оптимизировать предоперационное планирование, повысив точность диагностики на 20%.
4. Использование персонифицированной методики определения грудино-шейного угла позволило в 23% наблюдений снизить травматичность операции при спондилосинтезе в области шейногрудного перехода. Применение предложенного способа определения расчетной высоты тела L5 позвонка за счет коррекции хирургической тактики снизило частоту развития нестабильности в 3,4 раза.

5. Биомеханическое моделирование остеосинтеза переломов позвонков в переходных отделах позвоночника показало, что при наличии предикторов нестабильности металлофиксации по сравнению с традиционными хирургическими методиками применение разнонаправленных винтов и MESH максимального диаметра повышает стабильность спондилосинтеза ШГП на 12%; использование промежуточной транспедикулярной фиксации и полисегментарной транспедикулярной фиксации в ГПП – на 25%; а циркулярная фиксация в ПКП – на 25%.

6. Разработанные методики спондилосинтеза позволили уменьшить частоту случаев нестабильности металлофиксации в 1,7 раза в ШГП, в 3,3 (ОШ – 3,3, 95% ДИ:1,1–10,2) – в ГПП, в 5 раз – в ПКП и снизить интенсивность боли, улучшив функциональные возможности пациента на 4 балла по ВАШ10 и на 2% по шкале Освестри в ШГП, на 4 % в ГПП, на 2 балла и 4% в ПКП.

7. Внедрение в клиническую практику созданной системы диагностики и лечения пациентов с повреждениями переходных отделов позвоночника снизило риск развития нестабильности металлофиксации в 3,3 раза и число случаев ревизионных вмешательств в 2,9 раза. Показатели функциональной шкалы Освестри через 12 месяцев после операции улучшились на 3,3%.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При планировании спондилосинтеза переходных отделов позвоночника следует выявлять предикторы нестабильности металлофиксации и посттравматического остеонекроза тела позвонка, учитывать их при выборе тактики лечения.
2. Для оптимального выбора фиксатора следует классифицировать повреждение с помощью справочника-переходника и воспользоваться разработанной базой данных «имплантаты».
3. В случае выявления предикторов нестабильности планируемой металлофиксации (билатеральное повреждение суставных отростков, кифоз до операции > 11 град., грудинно-шейный угол < 70 град., проекционный угол < -20 град., угол наклона Th1 позвонка > 20 град.) передний спондилодез при изолированной неосложненной травме ШГП необходимо дополнять дорзальной фиксацией.
4. При планировании переднего доступа к ШГП следует оценивать рентгенологические показатели, такие как грудинно-шейный угол и проекционный угол доступа. Оптимальным для переднего доступа без манубриотомии к C7, Th1 и Th2 позвонкам является грудинно-шейный угол более 70, 90 и 110 град., соответственно. У пожилых пациентов (возраст более 70 лет) доступ к Th2 позвонку без манубриотомии ограничен, и следует рассмотреть другие варианты фиксации.
5. При изолированной неосложненной травме ГПП необходимо учитывать предикторы нестабильности (ИМТ более 28 кг/м^2 , срок после травмы более 21 дня; уровень поражения L1; перелом типа A4 по AOSpine; кифоз до операции более 18° ; угол остаточной кифотической деформации более 8 град.) и посттравматического остеонекроза (возраст старше 47 лет, перелом типа A4 по AOSpine, расширение (vertebral body spread) тела позвонка более 63%, наличие дефицита просвета позвоночного канала).

6. При неполных (А3) и полных (А4) взрывных переломах ГПП предпочтение следует отдавать полисегментарным транспедикулярным конструкциям. При этом в ранние сроки (до 3 недель) с момента травмы можно рекомендовать оптимизированный вариант полисегментарной ТПФ (6-винтовую), позволяющую снизить травматичность и продолжительность операции.
7. При травме ГПП и выявлении предикторов нестабильности металлофиксации (более 4 баллов по разработанной шкале риска) бисегментарную ТПФ необходимо дополнять промежуточной винтовой фиксацией, в том числе унилатеральной, выполнять полисегментарную транспедикулярную фиксацию или циркулярный спондилодез.
8. При травме ГПП и выявлении предикторов остеонекроза (более 4 баллов по шкале риска) необходимо выполнять вентральный спондилодез или циркулярную фиксацию. При невозможности выполнить передний корпородез одновременно с ТПФ показано использование аугментации тела позвонка костным цементом в качестве провизорной фиксации фрагментов поврежденного позвонка.
9. При выявлении признаков нестабильности МК и остеонекроза тела поврежденного позвонка в условиях ТПФ ГПП необходимо выполнение реоперации в объеме удаления нестабильной металлоконструкции, коррекции и фиксации переходного грудопоясничного отдела позвоночника полисегментарной системой, резекции тела поврежденного позвонка и опорного корпородеза MESH.
10. При изолированной травме ПКП наличие оскольчатого перелома (А4 по классификации AoSpine) и предикторов нестабильности ($ИМТ > 26 \text{ кг/м}^2$, ODI до операции > 32 баллов, L4-S1 угол Cobb после операции < 20 град., ДППК, неполная коррекция ДППК, высота передней колонны до операции < 30 мм) являются показанием к выполнению циркулярного спондилодеза.
11. При планировании вентрального доступа к телу L5 позвонка необходимо по данным КТ оценивать расположение бифуркации аорты и НПВ для выбора оптимального доступа. У пациентов с высоким расположением бифуркации аорты (выше середины тела позвонка L4) оптимальным является доступ в пространстве между подвздошными сосудами. При низкой бифуркации аорты необходимо

выполнять боковой доступ к телу L5 позвонка с выделением левых подвздошных сосудов, терминального отдела аорты и перевязкой сегментарных сосудов. При осуществлении вентрального доступа желательно участие сосудистого хирурга.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТОР – ассоциация травматологов-ортопедов России

ВАШ – визуальная аналоговая шкала

ГПП – переходный грудопоясничный отдел позвоночника

ДИ – доверительный интервал

ДДЗП – дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника

ДППК – дефицит просвета позвоночного канала

ИМТ – индекс массы тела

КТ – компьютерная томография

МК – металлоконструкция

МРТ – магнитно-резонансная томография

МПКТ – минеральная плотность костной ткани

МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография

МФА – многофакторный регрессионный анализ

НПВ – нижняя полая вена

ОФА – однофакторный регрессионный анализ

ОШ – отношение шансов

ПВПК – потеря высоты передней колонны

ПДС – позвоночно-двигательный сегмент

ПКП – переходный поясничнокрестцовый отдел позвоночника

ПТФ – позвоночно-тазовая фиксация

ТПФ – транспедикулярная фиксация

ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии

ШГП – шейногрудной переход

ШОП – шейный отдел позвоночника

ЭОП – электронно-оптический преобразователь

ЭТН – эндотрахеальный наркоз

ALIF – передний поясничный межтеловой спондилодез

AO/ASIF – Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation

ASA – American Society of Anesthesiologists

AUC – площадь под кривой

CSFCS – Spine Fractures Classification System (AOSpine)

CSISS – cervical spine injury severity score

MESH – сетчатый имплантат для межтелового спондилодеза

NDI – Neck Disability Index

ODI – Oswestry Disability Index

PJK – проксимальный переходный кифоз

ROC – receiver operating characteristic (кривая ошибок)

SCA – sternocervical angle (грудинно-шейный угол)

SD – стандартное отклонение

SVA – sagittal vertical axis

SLIC – subaxial injury classification (классификация субаксиальных повреждений)

TIA – thoracic inlet alignment (угол входа в грудную клетку)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова, Е.А. Морфо-топометрическое обоснование выбора методов хирургической коррекции деформаций позвоночного столба : дис. ... док. мед. наук: 14.00.02 – Анатомия человека; 14.00.22 – Травматология и ортопедия/ Анисимова Елена Анатольевна; ГОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Росздрава. – Саратов, 2009. – 412 с.
2. Афаунов, А.А. Транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника (экспериментально-клиническое исследование) : дис. ... док. мед. наук : 14.00.22 – Травматология и ортопедия / Афаунов Аскер Алиевич; ГУН «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии». – Санкт-Петербург, 2006. – 339 с.
3. 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.
4. Бабкина, Т.А. Рентгенография и компьютерная томография в оценке эффективности стабилизации позвоночника у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудной и поясничной локализации / Т.А. Бабкина, В.Е. Савелло / Радиология - практика. – 2013. – №4. – С. 6–14.
5. 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 имени профессора А.Л. Поленова. – 2019. – Т. 11. – № 3. – С. 5–8.
6. Биомеханические аспекты циркулярного спондилосинтеза переходного грудопоясничного отдела позвоночника / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга, И.Н. Щаницын, К.К. Скрипаченко // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 560–566.
7. Биомеханический анализ вариантов позвоночно-тазовой фиксации при продольных переломах крестца методом конечных элементов / А.А. Кулешов,

Н.А. Аганесов, М.С. Ветрилэ [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 28–35.

8. Биомеханическое моделирование реконструктивного вмешательства на переходном грудопоясничном отделе позвоночника / А.М. Донник, В.В. Зарецков, И.В. Кириллова [и др.] // Восьмые Поляховские чтения: Тезисы докладов Международной научной конференции по механике. Санкт-Петербург, 30 января – 2 февраля 2018 г. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2018. – С. 285–286.

9. Бурцев, А.В. Диагностика и хирургическое лечение многоколонных повреждений шейного отдела позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 – Травматология и ортопедия / Бурцев Александр Владимирович; ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития России. – Курган, 2012. – 150 с.

10. Бурцев, А.В. Стабилизирующие оперативные вмешательства при хирургической патологии шейного отдела позвоночника: дис. ... док. мед. наук: 14.01.15 – Травматология и ортопедия / Бурцев Александр Владимирович; ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России. – Курган, 2019. – 320 с.

11. Вентральные вмешательства при повреждениях грудно-поясничного отдела позвоночника / В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, С.В. Лихачев, Л.А. Артемов, Ю.И. Титова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 435–438.

12. Вязанкин, И.А. Унилатеральная транспедикулярная фиксация в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 3.1.8. Травматология и ортопедия / Вязанкин Иван Антонович; ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). – Москва, 2023. – 161 с.

13. Гринь, А.А. Дисфония, дисфагия и повреждение возвратного гортанного нерва при переднем шейном спондилодезе / А.А. Гринь, Д.С. Касаткин, В.Д. Штадлер // Нейрохирургия. – 2020. – Т. 22. – № 2. – С. 98–104.

14. Губин, А.В. Классификации субаксиальных повреждений шейного отдела позвоночника / А.В. Губин, А.В. Бурцев // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 2. – С. 8–15.
15. Дифференцированный подход к хирургическому лечению больных с ригидными посттравматическими деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, Н.В. Богомолова [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2017. – Т. 13. – № 3. – С. 772–779.
16. Доль, А.В. Биомеханическое моделирование вариантов хирургического реконструктивного лечения спондилолистеза позвоночника на уровне L4-L5 / А.В. Доль, Е.С. Доль, Д.В. Иванов // Российский журнал биомеханики. – 2018. – Т. 22. – № 1. – С. 31–44.
17. 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. – Т. 14. – № 3. – С. 611–617.
18. Иванов, Д.В. Биомеханика как основа систем поддержки принятия врачебных решений в хирургии: дис. ... док. физ.-мат. наук: 01.02.08 – Биомеханика / Иванов Дмитрий Валерьевич; ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского». – Саратов, 2022. – 438 с.
19. Извлечение клинически значимых данных из биомеханического моделирования вариантов хирургического лечения травмы позвоночника при повреждении позвонков Th10, Th11/ А.М. Донник, Д.В. Иванов, С.И. Киреев, Л.Ю. Коссович, Н.В. Островский, И.А. Норкин, К.К. Левченко, С.В. Лихачев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – Т. 19. – № 4. – С. 439–453.
20. Использование промежуточной транспедикулярной фиксации при оскольчатых переломах позвонков переходного грудопоясничного отдела / С.В. Лихачев, В.В. Островский, В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга / Кафедра травматологии и ортопедии. – 2023. – № 1 (51). – С. 25–35.

21. Использование транспедикулярной фиксации при оскольчатых переломах тел грудных и поясничных позвонков / В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С.В. Лихачев, А.Е. Шульга, Ю.И. Титова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2014. – Т. 10. – № 3. – С. 441–446.
22. Казьмин, А.И. Хирургическое лечение дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением стержней из нитинола: дис. ... канд. мед. наук : 14.01.15 – Травматология и ортопедия / Казьмин Аркадий Иванович; ФГБУ «Центральный НИИ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России. – Москва, 2016. – 145 с.
23. Клинические рекомендации. Перелом (вывих) грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника: клинические рекомендации / Ассоциация травматологов-ортопедов России (АТОР). – 2021. – URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/448_2 – Текст: электронный. (Дата обращения 19.09.2023).
24. Компьютерная томография как составляющая предоперационного планирования металлофиксации переходных отделов позвоночника при коррекции сколиотических деформаций гибридными конструкциями / И.А. Норкин, С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга, С.В. Степухович, А.В. Зарецков, Д.Ю. Сумин, К.Т. Битокова // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2018. – Т. 99. – № 3. – С. 139–146.
25. Корж, Н.А. Задний спондилодез в хирургии шейного отдела позвоночника / Н.А. Корж, А.Е. Барыш // Хирургия позвоночника. – 2010. – № 2. – С. 8–15.
26. Кочнев, Е.Я. Проблема лечения имплант-ассоциированной инфекции позвоночника (обзор литературы) / Е.Я. Кочнев, И.А. Мещерягина, А.В. Бурцев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2020. – № 4 (56). – С. 28–41.
27. Ластевский, А.Д. Прогнозирование потери коррекции после изолированной передней стабилизации при хирургическом лечении вывихов шейных позвонков субаксиальной локализации / А.Д. Ластевский, В.Л. Лукинов, В.В. Рерих // Хирургия позвоночника. – 2020. – Т. 17. – № 3. – С. 20–31.

28. Ластевский, А.Д. Хирургическое лечение вывихов шейных позвонков субаксиллярной локализации (клинико-экспериментальное исследование): дис. ... канд. мед. наук : 3.1.8. Травматология и ортопедия / Ластевский Алексей Дмитриевич; ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Я.Л. Цивьяна» Минздрава России. – Новосибирск, 2021. – 142 с.
29. Луцк, А.А. Краниовертебральные повреждения и заболевания / А.А. Луцк, И.К. Раткин, М.Н. Никитин. – Новосибирск: Издатель, 1998. – 551 с. – ISBN: 5-88399-003-7. – Текст: непосредственный.
30. Мизюров, С.А. Хирургическое лечение агрессивных гемангиом позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 3.1.8. Травматология и ортопедия / Мизюров Сергей Александрович; ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). – Саратов, 2023. – 205 с.
31. Миниинвазивная задняя стабилизация поясничного отдела позвоночника / Г.М. Кавалерский, С.К. Макиров, А.Д. Ченский [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2009. – Т. 4. – № 2. – С. 111–113.
32. Морозов, И.Н. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор) / И.Н. Морозов, С.Г. Млявых // Медицинский альманах. – 2011. – № 4 (17). – С. 157–159.
33. Нейротравматология: справочник / Под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана, А.А. Потапова. – Москва: Вазар-Ферро, 1994. – 250 с. – Текст: непосредственный.
34. Нестабильное неосложненное повреждение переходного шейно-грудного отдела позвоночника. Клиническое наблюдение и обзор литературы / В.В. Островский, С.В. Лихачев, С.П. Бажанов, Д.К. Джумагишиев, Р.М. Бахарев, В.В. Зарецков // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2020. – № 3 (41). – С. 31–38.
35. Оперативные доступы к шейному, грудному и поясничному отделам позвоночника и позвоночного канала (вариант классификации) / Г.Г. Булыщенко,

М.Н. Кравцов, Д.В. Свистов [и др.] // Вестник Российской Военно-Медицинской Академии. – 2016. – № 4 (56). – С. 186–190.

36. Оптимизация использования транспедикулярного спондилосинтеза при повреждениях типа А3 переходного грудопоясничного отдела позвоночника: клиничко-экспериментальное исследование / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга, А.В. Зарецков, Д.В. Иванов // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 275–283.

37. Оптимизация спондилосинтеза при некоторых оскольчатых повреждениях позвонков грудопоясничной локализации / С.В. Лихачев, В.Б. Арсениевич, В.В. Островский, А.Е. Шульга, А.В. Зарецков, Д.В. Иванов, А.В. Доль, А.М. Донник, В.В. Зарецков // Современные технологии в медицине. – 2020. – Т. 12. – № 4. – С. 30–39.

38. Особенности позвоночно-тазовой фиксации при деформациях и травматических повреждениях позвоночника / М.С. Ветрилэ, А.А. Кулешов, С.Н. Макаров [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2021. – Т. 28. – № 1. – С. 17–27.

39. Особенности сагиттального баланса пациентов при посттравматических деформациях грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, В.В. Островский, С.П. Бажанов, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27. – № 6. – С. 709–716.

40. Островский, В.В. Персонализированный подход к диагностике и лечению пациентов с посттравматическими и дегенеративными поражениями шейного отдела позвоночника / В.В. Островский, И.Н. Щаницын // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 14. – № 2. – С. 244–250.

41. Островский, В.В. Совершенствование диагностики и тактики хирургического лечения пациентов с травматическими и дегенеративными поражениями шейного отдела позвоночника: дис. ... док. мед. наук: 14.01.15 – Травматология и ортопедия / Островский Владимир Владимирович; ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). – Саратов, 2020. – 348 с.

42. Отдаленные результаты применения задней фиксации субаксиальных позвонков при острой нестабильной травме / С.П. Бажанов, В.Ю. Ульянов, В.В. Островский, С.В. Лихачев // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 501–504.
43. 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.
44. Патент на изобретение № 2436534, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/56. Способ репозиции и фиксации позвоночника при оскольчатых переломах / В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, С.В. Лихачёв, Ю.И. Титова, Л.А. Артёмов. Патентообладатель: ФГУ «СарНИИТО» Минздравсоцразвития России. – 2010121609, заявл. 27.05.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.
45. Патент на изобретение № 2477624, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/70. Способ репозиции и фиксации позвоночника при крупнооскольчатых переломах тел позвонков / В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С.В. Лихачёв, Л.А. Артёмов, А.Е. Шульга, А.В. Мандров. Патентообладатель: ФГБУ «СарНИИТО» Минздравсоцразвития России. – 2012105290/14, заявл. 16.02.2012; опубл. 20.03.2013, Бюл. № 8.
46. Патент на изобретение № 2478342, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/00; 17/70. Способ репозиции и фиксации позвоночника при оскольчатых переломах тел грудных и поясничных позвонков / В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С.В. Лихачёв, А.Е. Шульга, Л.А. Артёмов, Ю.И. Титова, А.В. Мандров. Патентообладатель: ФГУ «СарНИИТО» Минздравсоцразвития России. – 2012105291/14, заявл. 16.02.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
47. Патент на изобретение № 2717921, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/70. Способ этапного хирургического лечения оскольчатых переломов переходного грудопоясничного отдела позвоночника / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга, С.А. Мизюров. Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. – 2019131873, заявл. 10.10.2019; опубл. 26.03.2020, Бюл. № 9.

48. Патент на изобретение № 2717922, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/70; 17/7059; 17/7068. Способ хирургического лечения оскольчатых переломов грудных и поясничных позвонков / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга. Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. – 2019131910, заявл. 10.10.2019; опубл. 26.03.2020, Бюл. № 9.
49. Патент на изобретение № 2772644, Российская Федерация, С1, МПК А61В 6/03. Способ определения высоты тела L5 позвонка при изолированных оскольчатых переломах / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.В. Островский, С.П. Бажанов, В.Б. Арсениевич, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга. Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. – 2021116380, заявл. 07.06.2021; опубл. 23.05.2022, Бюл. № 15.
50. Патент на изобретение № 2779995, Российская Федерация, С1, МПК А61В 6/03. Способ выбора тактики лечения при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.В. Островский, С.П. Бажанов, В.Б. Арсениевич, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга. Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. – 2021134447, заявл. 25.11.2021; опубл. 16.09.2022, Бюл. № 26.
51. Патент на изобретение № 2594445, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/56. Способ замещения дефекта тела L5 позвонка из заднего оперативного доступа после корпорэктомии / Д.А. Пташников, Д.А. Михайлов, С.В. Масевнин [и др.]. – 2015126347/14, заявл. 01.07.2015; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.
52. Патент на полезную модель № 99316, Российская Федерация, U1. Метчик для репозиции отломков тела позвонка / В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, С.В. Лихачев, Ю.И. Титова, Л.А. Артемов. Патентообладатель: ФГУ «СарНИИТО Росмедтехнологий». – 2010121599/14, заявл. 27.05.2010; опубл. 20.11.2010
53. Перкутанная транспедикулярная фиксация при травматическом спондилолистезе L5-позвонка / Л.Ю. Слияков, А.В. Черняев, С.В. Донченко, А.Г. Симонян // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2017. – Т. 24. – № 2. – С. 57–60.

54. Повреждения переходного грудопоясничного отдела позвоночника: библиометрический анализ англоязычной литературы / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, А.Е. Шульга, С.А. Грамма, И.Н. Щаницын, С.П. Бажанов, А.В. Зарецков, А.М. Донник // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 52–69.
55. Позвоночно-тазовая фиксация: показания, анатомо-биомеханические аспекты и историческое развитие методов / М.С. Ветрилэ, А.А. Кулешов, Н.А. Аганесов, В.Р. Захарин // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18. – № 3. – С. 100–110.
56. Позвоночно-тазовая фиксация: современные технические решения / М.С. Ветрилэ, А.А. Кулешов, С.Н. Макаров [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18. – № 4. – С. 101–110.
57. Посттравматическая нестабильность позвоночника / Дулаев, А.К., В.П. Орлов, Н.М. Ястребков [и др.] // Повреждения и заболевания позвоночника и суставов: материалы научно-практической конференции травматологов-ортопедов Республики Беларусь. – Минск, 1998. – С. 168–169.
58. Предоперационное планирование оптимального хирургического доступа при реконструкции переходного шейно-грудного отдела позвоночника / В.В. Островский, С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга, С.П. Бажанов, Д.Ю. Сумин, А.В. Папаев // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2022. – № 1 (47). – С. 38–45.
59. Применение манубриотомии в лечении осложненного повреждения шейно-грудного отдела позвоночника: клиническое наблюдение и обзор литературы / И.А. Музышев, С.Т. Торчинов, А.В. Борзенков, Д.Н. Дзукаев // Хирургия позвоночника. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 36–42.
60. Проблемы оперированного позвоночника. лечение несостоятельности транспедикулярной фиксации и патологии смежного уровня: клинический случай / С.В. Очкал, В.А. Сороковиков, П.В. Селиверстов [и др.] // Клиническая практика. – 2022. – Т. 13. – № 2. – С. 108–113.
61. Программа AOSpine Симпозиум продвинутого уровня – Переходные Зоны Позвоночника. 23–24 июня 2017 г., Курган. URL:

http://xfiles.aospine.org/users/publications/events/eu/2017/flyers/Kurgan_Program_RU.pdf – Текст: электронный. (Дата обращения 21.09.2023).

62. Результаты применения промежуточных транспедикулярных винтов при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, В.В. Островский, А.Е. Шульга, А.В. Зарецков // Гений ортопедии. – 2020. – Т. 26. – № 4. – С. 548–554.

63. Результаты хирургического лечения пациентов с повреждениями поясничного отдела позвоночника / С.В. Макаревич, А.Н. Мазуренко, К.А. Криворот [и др.] // Медицинские новости. – 2015. – № 7. – С. 64–67.

64. 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.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2014. – Т. 78. – № 6. – С. 60–67.

65. Рекомендательный протокол лечения острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых (Ассоциация нейрохирургов РФ). Часть 2 / В.В. Крылов, А.А. Гринь, А.А. Луцик [и др.] // Вопросы нейрохирургии. – 2015. – Т. 79. – № 1. – С. 83–89.

66. Рерих, В.В. Хирургическое лечение взрывных переломов тел позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника (обзор литературы) / В.В. Рерих, В.Д. Синявин // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – 190.

67. Свидетельство о регистрации базы данных № 2019622195, Российская Федерация. База данных «Имплантаты» для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений / Л.В. Бессонов, В.М. Велиев, А.А. Голядкина, М.В. Горякин, А.В. Доль, А.М. Донник, Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, А.С. Колесникова, Л.Ю. Коссович, С.В. Лихачев, И.В. Матершев, А.В. Маханьков, А.В. Полиенко, Ю.Ю. Рожкова, Д.А. Сидоренко, В.Ю. Ульянов, А.С. Фалькович, А.С. Федонников, А.В. Фроленков, А.Е. Шульга. Правообладатель: Российская Федерация, от имени которой выступает Фонд Перспективных Исследований. – 2019622072, заявл. 13.11.2019; опубл. 27.11.2019, Бюл. № 12.

68. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019665103, Российская Федерация. Справочник-переходник по классификациям переломов AO/ASIF и AOSpine / Л.В. Бессонов, В.С. Золотов, Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, А.С. Колесникова, Л.Ю. Коссович, С.В. Лихачев, Д.А. Сидоренко, А.С. Фалькович, А.Е. Шульга. Правообладатель: Российская Федерация, от имени которой выступает Фонд Перспективных Исследований. – 2019664401, заявл. 13.11.2019; опубли. 19.11.2019, Бюл. № 11.
69. Современные классификации повреждений нижнешейного отдела позвоночника. Часть 1. Обзор наиболее популярных шкал и систем / А.А. Гринь, И.С. Львов, С.Л. Аракелян [и др.] // Нейрохирургия. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 90–102.
70. Современные классификации повреждений нижнешейного отдела позвоночника. Часть 2. Систематический обзор исследований надежности существующих шкал и воспроизводимости результатов их применения / А.А. Гринь, И.С. Львов, С.Л. Аракелян [и др.] // Нейрохирургия. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 28–38.
71. Создание трехмерных твердотельных моделей позвоночника с транспедикулярной фиксацией с использованием специализированного программного обеспечения / А.М. Донник, Д.В. Иванов, Л.Ю. Коссович, К.К. Левченко, С.И. Киреев, К.М. Морозов, Н.В. Островский, В.В. Зарецков, С.В. Лихачев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – Т. 19. – № 4. – С. 424–438.
72. Способ хирургического лечения оскольчатых переломов тел позвонков / В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С.В. Лихачев, Л.А. Артемов, Ю.И. Титова, Д.П. Зуева // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2011. – Т. 7. – № 1. – С. 146–147.
73. Сравнительная характеристика технологий передней и задней стабилизации при оперативных вмешательствах на шейном отделе позвоночника / А.В. Бурцев, А.В. Губин, С.О. Рябых [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2020. – Т. 17. – № 3. – С. 108–116.

74. Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «Спинометр» с системой Surgimap: апробация межэкспертной надежности / Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, С.В. Лихачев, А.В. Полиенко, А.В. Харламов, А.Е. Шульга // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27. – № 1. – С. 74–79.
75. Стабилизирующие операции на позвоночнике. Избранные аспекты / Л.Ю. Слияков, А.В. Гаркави, А.В. Черняев [и др.]. – Москва: Медицинское информационное агенство, 2018. – 112 с. – ISBN: 978-5-9986-0347-1. – Текст: непосредственный.
76. Тагер, И.Л. Рентгенодиагностика заболеваний позвоночника / И.Л. Тагер. – Москва: Медицина, 1983. – 208 с. – Текст : непосредственный.
77. Тактика лечения пациентов с изолированными повреждениями пятого поясничного позвонка / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, В.В. Островский, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга, С.П. Бажанов // Современные технологии в медицине. – 2021. – Т. 13. – № 5. – С. 31–40.
78. Ульрих, Э.В. Аномалии позвоночника у детей: руководство для врачей / Э.В. Ульрих. – Санкт-Петербург: СОТИС, 1995. – 336 с. – ISBN: 5-85503-092-х. – Текст: непосредственный.
79. 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 (69). – С. 103–112.
80. Факторы, влияющие на стабильность транспедикулярной фиксации у пациентов с нестабильными повреждениями поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области / А.Е. Боков, С.Г. Млявых, И.С. Братцев, А.В. Дыдыкин // Инновационная медицина Кубани. – 2020. – Т. 3. – № 19. – С. 12–19.
81. Хирургическое лечение пациентки с последствиями несостоятельной вентральной фиксации при застарелом переломе Th12 позвонка на фоне тяжелого остеопороза (клинический случай) / А.Е. Шульга, В.В. Островский, В.В. Зарецков,

- С.П. Бажанов, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин // *Гений ортопедии*. – 2023. – Т. 29. – № 1. – С. 85–91.
82. Хирургическое лечение переломовывиха в переходном грудопоясничном отделе позвоночника (клинический случай) / С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, Д.В. Иванов, А.Е. Шульга, В.Б. Арсениевич, С.В. Степухович, С.А. Мизюров // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2020. – Т. 16. – № 2. – С. 488–494.
83. Хирургическое лечение повреждений и заболеваний позвоночника: практическое руководство для врачей по использованию имплантатов ООО «Остеосинтез» (г. Рыбинск) / В.В. Зарецков, И.А. Норкин, В.Б. Арсениевич [и др.]. – Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2007. – 112 с. – ISBN: 5-88697-146-7. – Текст: непосредственный.
84. Цивьян, Я.Л. Повреждения позвоночника / Я.Л. Цивьян. – Москва: Медицина, 1971. – 313 с. – Текст: непосредственный.
85. Черепанов, Е.А. Русская версия опросника Освестри: культурная адаптация и валидность // Е.А. Черепанов // *Хирургия позвоночника*. – 2009. – № 3. – С. 93–98.
86. Шапиро, К.И. Смертность и летальность при травмах (обзор литературы) / К.И. Шапиро // *Ортопедия, травматология и протезирование*. – 1991. – № 1. – С. 69–74.
87. Шульга, А.Е. Оптимизация тактики хирургического лечения травматических повреждений в переходном грудопоясничном отделе позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.22 – Травматология и ортопедия / Шульга Алексей Евгеньевич; ГОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Росздрава. – Саратов, 2009. – 196 с.
88. Шульга, А.Е. Особенности травматических переходов в грудопоясничном переходе позвоночного столба / А.Е. Шульга // *Восстановительная травматология и ортопедия. Молодые ученые: новые идеи и открытия: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (14–16 июня 2006 г.)*. – Курган: Светич, 2006. – С. 193–194.

89. A Case Report of a Rare Complication of Bowel Perforation in Extreme Lateral Interbody Fusion / M. Balsano, S. Carlucci, M. Ose, L. Boriani // *European Spine Journal*. – 2015. – Vol. 24. – Suppl 3. – P. 405–408.
90. A Comparative Study on Screw Loosening in Osteoporotic Lumbar Spine Fusion between Expandable and Conventional Pedicle Screws / Z.X. Wu, F.T. Gong, L. Liu [et al.] // *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. – 2012. – Vol. 132. – № 4. – P. 471–476.
91. A Comprehensive Classification of Thoracic and Lumbar Injuries / F. Magerl, M. Aebi, S.D. Gertzbein [et al.] // *European Spine Journal*. – 1994. – Vol. 3. – № 4. – P. 184–201.
92. A Mechanistic Classification of Closed, Indirect Fractures and Dislocations of the Lower Cervical Spine / B.L. Allen Jr, R.L. Ferguson, T.R. Lehmann, R.P. O'Brien // *Spine*. – 1982. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–27.
93. A Novel 'Four-Rod Technique' for Lumbo-Pelvic Reconstruction: Theory and Technical Considerations / F.H. Shen, M. Harper, W.C. Foster [et al.] // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – № 12. – P. 1395–1401.
94. A Numerical Study to Determine the Effect of Ligament Stiffness on Kinematics of the Lumbar Spine during Flexion / M. Putzer, S. Auer, W. Malpica [et al.] // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2016. – Vol. 17. – № 1. – Art. 95.
95. A Perspective for the Selection of Surgical Approaches in Patients with Upper Thoracic and Cervicothoracic Junction Instabilities / R.A. Kaya, O.N. Türkmenoğlu, O.N. Koç [et al.] // *Surgical Neurology*. – 2006. – Vol. 65. – № 5. – P. 454–463.
96. A Prospective Randomized Controlled Trial of Anterior Compared with Posterior Stabilization for Unilateral Facet Injuries of the Cervical Spine / B.K. Kwon, C.G. Fisher, M.C. Boyd [et al.] // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2007. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–12.
97. A Review of the Management of Thoracolumbar Burst Fractures / L.Y. Dai, S.D. Jiang, X.Y. Wang [et al.] // *Surgical Neurology*. – 2007. – Vol. 67. – № 3. – P. 221–231.

98. A Review of the TLICS System: A Novel, User-Friendly Thoracolumbar Trauma Classification System / J.A. Rihn, D.T. Anderson, E. Harris [et al.] // *Acta Orthopaedica*. – 2008. – Vol. 79. – № 4. – P. 461–466.
99. A Transsternal Biclavicular Approach to the Upper Anterior Thoracic Spine / F. Lesoin, C.E. Thomas 3rd, A. Autricque [et al.] // *Surgical Neurology*. – 1986. – № 26. – P. 253–256.
100. A Transsternoclavicular Approach for the Anterior Decompression and Fusion of the Upper Thoracic Spine. Technical Note / M. Tamura, M. Saito, M. Machida, K. Shibasaki // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2005. – Vol. 2. – № 2. – P. 226–229.
101. Abdel, M.P. Supine Thoracolumbar Sagittal Spine Alignment: Comparing Computerized Tomography and Plain Radiographs / M.P. Abdel, W.S. Bodemer, P.A. Anderson // *Spine*. – 2012. – Vol. 37. – № 4. – P. 340–345.
102. AbdelFatah, M.A. The Walking Recovery One Year after Surgical Management of Thoracolumbar Burst Fracture in Paraplegic Patients / M.A. AbdelFatah // *Neurologia Medico-Chirurgica*. – 2017. – Vol. 57. – № 9. – P. 467–471.
103. Abumi, K. Surgical Treatment of Cervical Destructive Spondyloarthropathy (DSA) / K. Abumi, M. Ito, K. Kaneda // *Spine*. – 2000. – Vol. 25. – № 22. – P. 2899–2905.
104. Access Related Complications in Anterior Lumbar Surgery Performed by Spinal Surgeons / N.A. Quraishi, M. Konig, S.J. Booker [et al.] // *European Spine Journal*. – 2013. – Vol. 22. – Suppl. 1. – S16–20.
105. Access Strategies for Revision or Explantation of the Charité Lumbar Artificial Disc Replacement / W.H. Wagner, J.J. Regan, S.P. Leary [et al.] // *Journal of Vascular Surgery*. – 2006. – Vol. 44. – № 6. – P. 1266–1272.
106. Access-related complications in anterior lumbar surgery in patients over 60 years of age / D.A. Rothenfluh, M. Koenig, O.M. Stokes [et al.] // *European Spine Journal*. – 2014. – Vol. 23. – Suppl. 1. – S86–92.
107. Accuracy of Image-Guided Pedicle Screw Placement Using Intraoperative Computed Tomography-Based Navigation with Automated Referencing, Part I: Cervicothoracic Spine / K.M. Scheufler, J. Franke, A. Eckardt, H. Dohmen // *Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 69. – № 4. – P. 782–795.

108. Accuracy of Upper Thoracic Pedicle Screw Placement Using Three-Dimensional Image Guidance / J.M. Bledsoe, D. Fenton, J.L. Fogelson, E.W. Nottmeier // *The Spine Journal*. – 2009. – Vol. 9. – № 10. – P. 817–821.
109. Adams, Z.B. The Relation of Bony Anomalies of the Lumbar and Sacral Spine to the Causes and Treatment of Scoliosis / Z.B. Adams // *American Journal of Orthopedic Surgery*. – 1914. – Vol. S2–12. – № 1. – P. 45–53.
110. Aebi, M. Classification of Injuries of the Cervical Spine / M. Aebi, S. Nazarian // *Orthopade*. – 1987. – Vol. 16. – № 1. – P. 27–36.
111. Agarwal, N. Adjacent-Segment Disease after Thoracic Pedicle Screw Fixation / N. Agarwal, R.F. Heary, P. Agarwal // *Journal of Neurosurgery: Spine*. – 2018. – Vol. 28. – № 3. – P. 280–286.
112. Allain, J. Anterior Spine Surgery in Recent Thoracolumbar Fractures: An Update / J. Allain // *Orthopaedics and traumatology, surgery and research*. – 2011. – Vol. 97. – № 5. – P. 541–554.
113. Aly, T.A. Short Segment versus Long Segment Pedicle Screws Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Meta-Analysis / T.A. Aly // *Asian Spine Journal*. – 2017. – Vol. 11. – № 1. – P. 150–160.
114. Amin, A. Fractures and Dislocations of the Cervicothoracic Junction / A. Amin, A. Saifuddin // *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. – 2005. – Vol. 18. – № 6. – P. 499–505.
115. An Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction of the Spine (Modified Osteotomy of Manubrium Sterni and Clavicle) / C. Sar, A. Hamzaoglu, U. Talu, U. Domanic // *Journal of Spinal Disorders*. – 1999. – Vol. 12. – № 2. – P. 102–106.
116. An Evidence-Based Clinical Guideline for the Diagnosis and Treatment of Cervical Radiculopathy from Degenerative Disorders / C.M. Bono, G. Ghiselli, T.J. Gilbert [et al.] // *Spine Journal*. – 2011. – Vol. 11. – № 1. – P. 64–72.
117. An RCT Study on the Feasibility of Anterior Transpedicular Screw Fixation in the Cervicothoracic Junction / L. Zhao, J. Hong, M.E. Wandtke [et al.] // *European Spine Journal*. – 2016. – Vol. 25. – № 6. – P. 1716–1723.

118. Analysis and Improvement of the Three-Column Spinal Theory / Q. Su, C. Li, Y. Li [et al.] // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2020. – Vol. 21. – № 1. – Art. 537.
119. Analysis of the Risk Factors for Unfavorable Radiologic Outcomes after Fusion Surgery in Thoracolumbar Burst Fracture: What Amount of Postoperative Thoracolumbar Kyphosis Correction Is Reasonable? / D.K. Seo, C.H. Kim, S.K. Jung [et al.] // *Journal of Korean Neurosurgical Society*. – 2019. – Vol. 62. – № 1. – P. 96–105.
120. Anatomic Comparison of the Roy-Camille and Magerl Techniques for Screw Placement in the Lower Cervical Spine / J.G. Heller, G.D. Carlson, J.J. Abitbol, S.R. Garfin // *Spine*. – 1991. – Vol. 16. – Suppl. 10. – S552–557.
121. Anatomic Considerations of a Modified Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction / R. Xu, R. Grabow, N. A. Ebraheim [et al.] // *American Journal of Orthopedics*. – 2000. – Vol. 29. – № 1. – P. 37–40.
122. Anatomic Study of the Cervicothoracic Spinal Nerves and Their Relation to the Pedicles / N.A. Ebraheim, M. Tremains, R. Xu, R.A. Yeasting // *American Journal of Orthopedics*. – 2000. – Vol. 29. – № 10. – P. 779–781.
123. Anderson, T.M. Thoracic Approaches to Anterior Spinal Operations: Anterior Thoracic Approaches / T.M. Anderson, K.A. Mansour, J.I. Miller Jr // *The Annals of Thoracic Surgery*. – 1993. – Vol. 55. – № 6. – P. 1447–1452.
124. Ankomah, F. The Top 50 Most-Cited Articles on Thoracolumbar Fractures / F. Ankomah, T. Ikpeze, A. Mesfin // *World Neurosurgery*. – 2018. – № 118. – P. e699–e706.
125. Anterior and Posterior Spinal Fusion. Staged versus Same-Day Surgery / H.L. Shufflebarger, J.O. Grimm, V. Bui, J.D. Thomson // *Spine*. – 1991. – Vol. 16. – № 8. – P. 930–933.
126. Anterior Approach to the Cervical Spine: Elegance Lies in Its Simplicity / K. Arumalla, H. Bansal, J. Jadeja, [et al.] // *Asian Journal of Neurosurgery*. – 2021. – Vol. 16. – № 4. – P. 669–684.

127. Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction without Sternotomy: A Report of 37 Cases / V. Pointillart, N. Aurouer, N. Gangnet, J.M. Vital // *Spine*. – 2007. – Vol. 32. – № 25. – P. 2875–2879.
128. Anterior Decompression and Fixation versus Posterior Reposition and Semirigid Fixation in the Treatment of Unstable Burst Thoracolumbar Fracture: Prospective Clinical Trial / M.F. Stancić, E. Gregorović, E. Nozica, L. Penezić // *Croatian Medical Journal*. – 2001. – Vol. 42. – № 1. – P. 49–53.
129. Anterior Pedicle Screw Fixation for Multilevel Cervical Corpectomy and Spinal Fusion / M. Aramomi, Y. Masaki, S. Koshizuka, [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2008. – Vol. 150. – № 6. – P. 575–582.
130. Anterior Spinal Fusion. The Operative Approach and Pathological Findings in 412 Patients with Pott's Disease of the Spine / A.R. Hodgson, F.E. Stock, H.S. Fang, G.B. Ong // *The British Journal of Surgery*. – 1960. – Vol. 48. – P. 172–178.
131. Anterior Stabilization of the Upper Thoracic Spine via an 'Interaortocaval Subinnominate Window: Case Report and Description of Operative Technique / Z.R. Cohen, D.R. Fourney, Z.L. Gokaslan [et al.] // *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. – 2004. – Vol. 17. – № 6. – P. 543–548.
132. Anterior Surgery with Insertion of Titanium Mesh Cage and Posterior Instrumented Fusion Performed Sequentially on the Same Day under One Anesthesia for Septic Spondylitis of Thoracolumbar Spine: Is the Use of Titanium Mesh Cages Safe? / P. Korovessis, G. Petsinis, G. Koureas [et al.] // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – № 9. – P. 1014–1419.
133. Anterior versus Posterior Approach for Treatment of Thoracolumbar Burst Fractures: A Meta-Analysis / G.J. Xu, Z.J. Li, J.X. Ma [et al.] // *European Spine Journal*. – 2013. – Vol. 22. – № 10. – P. 2176–2183.
134. AO Surgery Reference. Trauma. URL: <https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma> – Текст: электронный. (Дата обращения: 19.09.2023).

135. AOSpine Classification Systems (Subaxial, Thoracolumbar) / K.J. Schnake, G.D. Schroeder, A.R. Vaccaro, C. Oner // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2017. – Vol. 31. – № 4. – S14–S23.
136. AOSpine Subaxial Cervical Spine Injury Classification System / A.R. Vaccaro, J.D. Koerner, K.E. Radcliff [et al.] // *European Spine Journal*. – 2016. – Vol. 25. – № 7. – P. 2173–2184.
137. Applications of Finite Element Simulation in Orthopedic and Trauma Surgery / A. Herrera, E. Ibarz, J. Cegoñino [et al.] // *World Journal of Orthopedics*. – 2012. – Vol. 3. – № 4. – P. 25–41.
138. Arand, M. Sources of Error and Risks in CT Based Navigation / M. Arand, L. Kinzl, F. Gebhard // *Der Orthopade*. – 2002. – Vol. 31. – № 4. – P. 378–384.
139. Assessment of Two Thoracolumbar Fracture Classification Systems as Used by Multiple Surgeons / K.B. Wood, G. Khanna, A.R. Vaccaro [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2005. – Vol. 87. – № 7. – P. 1423–1429.
140. Baek, D.H. Treatment of Traumatic Lumbosacral Spondyloptosis Combined with Unstable Pelvic Ring Injury / D.H. Baek, B.W. Choi, J.W. Kim // *Journal of Orthopaedic Science*. – 2015. – Vol. 20. – № 4. – P. 776–780.
141. Bailey, R.W. Stabilization of the Cervical Spine by Anterior Fusion / R.W. Bailey, C.E. Badgley // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1960. – Vol. 42 (A). – P. 565–594.
142. Bailey, W. Anomalies of the Spine: A Correlation of Anatomical, Roentgenological, and Clinical Findings / W. Bailey, R.A. Carter // *California and western medicine*. – 1938. – Vol. 49. – № 1. – P. 46–52.
143. Baker, J.F. Analysis of Sagittal Thoracic Inlet Measures in Relation to Anterior Access to the Cervicothoracic Junction / J.F. Baker // *Global Spine Journal*. – 2023. – Vol. 13. – № 3. – P. 705–712.
144. Benzel, E.C. The Lateral Extracavitary Approach to the Spine Using the Three-Quarter Prone Position / E.C. Benzel // *Journal of Neurosurgery*. – 1989. – Vol. 71. – № 6. – P. 837–841.

145. Better Life Quality and Sexual Function in Men and Their Female Partners with Short-Segment Posterior Fixation in the Treatment of Thoracolumbar Junction Burst Fractures / D. Cankaya, M. Balci, A. Deveci [et al.] // *European Spine Journal*. – 2016. – Vol. 25. – № 4. – P. 1128–1134.
146. Bilateral Traumatic Dislocation Without Fracture of the Lumbosacral Junction / R. Xu, C. Solakoglu, R.M. Kretzer [et al.] // *Spine*. – 2011. – Vol. 36. – № 10. – E662–668.
147. Biomechanical Analysis of Three Surgical Approaches for Lumbar Burst Fractures Using Short-Segment Instrumentation / G.S. Gurwitz, J.M. Dawson, M.J. McNamara [et al.] // *Spine*. – 1993. – Vol. 18. – № 8. – P. 977–982.
148. Biomechanical Analysis of Transpedicular Screw Fixation in the Subaxial Cervical Spine / R. Kothe, W. Rütther, E. Schneider, B. Linke // *Spine*. – 2004. – Vol. 29. – № 17. – P. 1869–1875.
149. Biomechanical Comparison of Instrumentation Techniques in Treatment of Thoracolumbar Burst Fractures: A Finite Element Analysis / W.M. Park, Y.S. Park, K. Kim, Y.H. Kim // *Journal of Orthopaedic Science*. – 2009. – Vol. 14. – № 4. – P. 443–449.
150. Biomechanical Comparison of Posterior Intermediate Screw Fixation Techniques with Hybrid Monoaxial and Polyaxial Pedicle Screws in the Treatment of Thoracolumbar Burst Fracture: A Finite Element Study / H. Liu, H. Wang, J. Liu [et al.] // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. – 2019. – Vol. 14. – № 1. – Art. 122.
151. Biomechanical Comparison of Short-Segment Posterior Fixation Including the Fractured Level and Circumferential Fixation for Unstable Burst Fractures of the Lumbar Spine in a Calf Spine Model / A. Sait, N.R. Prabhav, V. Sekharappa [et al.] // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2016. – Vol. 25. – № 5. – P. 602–609.
152. Biomechanical Comparison of Translaminar versus Pedicle Screws at T1 and T2 in Long Subaxial Cervical Constructs / M.J. McGirt, E.G. Sutter, R. Xu [et al.] // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 65. – Suppl. 6. – P. 167–172.
153. Biomechanical Effects of USS Fixation with Different Screw Insertion Depths on the Vertebrae Stiffness and Screw Stress for the Treatment of the L1 Fracture / J. Liu,

- S. Yang, J. Lu [et al.] // *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. – 2018. – Vol. 31. – № 2. – P. 285–297.
154. Biomechanical Evaluation of Cervicothoracic Junction Fusion Constructs / J. Godzik, J.F. Dalton, E. Martinez-del-Campo [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2018. – S1878-8750(18)32863-8.
155. Biomechanical Evaluation of Lumbosacral Reconstruction Techniques for Spondylolisthesis: An in Vitro Porcine Model / B.W. Cunningham, S.J. Lewis, J. Long [et al.] // *Spine*. – 2002. – Vol. 27. – № 21. – P. 2321–2327.
156. Biomechanics of high-grade spondylolisthesis with and without reduction / W. Wang, C.E. Aubin, P. Cahill [et al.] // *Medical & Biological Engineering & Computing*. – 2016. – Vol. 54. – № 4. – P. 619–628.
157. Biomechanics of the L5-S1 Motion Segment after Total Disc Replacement - Influence of Iatrogenic Distraction, Implant Positioning and Preoperative Disc Height on the Range of Motion and Loading of Facet Joints / M. Dreischarf, H. Schmidt, M. Putzier, T. Zander // *Journal of Biomechanics*. – 2015. – Vol. 48. – № 12. – P. 3283–3291.
158. Birch, R. A Surgical Approach to the Cervicothoracic Spine / R. Birch, G. Bonney, R.W. Marshall // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 1990. – Vol. 72. – № 5. – P. 904–907.
159. Boerger, T.O. Does ‘Canal Clearance’ Affect Neurological Outcome After Thoracolumbar Burst Fracture? / T.O. Boerger, D. Limb, R.A. Dickson // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 2000. – Vol. 82. – № 5. – P. 629–635.
160. Bogdan, L. Technical Nuances of a Posterior-Only L5 Vertebrectomy with Anterior Column Reconstruction / L. Bogdan, M. Galgano // *Surgical Neurology International*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 325.
161. Bohlman, H.H. Acute Fractures and Dislocations of the Cervical Spine. An Analysis of Three Hundred Hospitalized Patients and Review of the Literature / H.H. Bohlman // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 1979. – Vol. 61. – № 8. – P. 1119–1142.
162. Bridwell, K.H. Management of Tumors at the Lumbosacral Junction / K.H. Bridwell. – In: *Lumbosacral and Spinopelvic Fixation*. Eds. J.Y. Margulies,

- Y. Floman, J.-P.C. Farcy [et al.]. – Philadelphia Lippincott-Raven. – 1996. – P. 109–122. – ISBN: 978-1-5603-2071-5. – Текст: непосредственный.
163. Bron, J.L. The Clinical Significance of Lumbosacral Transitional Anomalies / J.L. Bron, B.J. Van Royen, P.I. Wuisman // *Acta Orthopaedica Belgica*. – 2007. – Vol. 73. – № 6. – P. 687–695.
164. Bühren, V. Surgical Management of Tetraplegia / V. Bühren, M. Potulski, H. Jaksche // *Der Unfallchirurg*. – 1999. – Vol. 102. – № 1. – P. 2–12.
165. Burrell, H.L. I. Fracture of the Spine: A Summary of All the Cases (244) Which Were Treated at the Boston City Hospital from 1864 to 1905 / H.L. Burrell // *Annals of Surgery*. – 1905. – Vol. 42. – № 4. – P. 481–506.
166. Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra // C.A. Mick, A. Carl, B. Sachs [et al.] // *Spine*. – 1993. – Vol. 18. – № 13. – P. 1878–1884.
167. Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra: Case Series and Systematic Review / M.J. Cavagnaro, C. Tavolaro, J.M. Orenday-Barraza [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2022. – Vol. 103. – P. 163–171.
168. Burst Fractures of the Second through Fifth Lumbar Vertebrae. Clinical and Radiographic Results / D.A. Andreychik, D.H. Alander, K.M. Senica, E.S. Stauffer // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 1996. – Vol. 78. – № 8. – P. 1156–1166.
169. Capen, D.A. Surgical Stabilization of the Cervical Spine. A Comparative Analysis of Anterior and Posterior Spine Fusions / D.A. Capen, D.E. Garland, R.L. Waters // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1985. – № 196. – P. 229–237.
170. Cauchoix, J. Anterior Surgical Approaches to the Spine // J. Cauchoix, J.P. Binet // *Annals of the Royal College of Surgeons of England*. – 1957. – Vol. 21. – № 4. – P. 234–243.
171. Ceramic Cement as a Potential Stand-Alone Treatment for Bone Fractures: An in Vitro Study of Ceramic-Bone Composites / I. Koh, Y. Gombert, C. Persson [et al.] // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. – 2016. – Vol. 61. – P. 519–529.

172. Cervical Spine Injury Severity Score. Assessment of Reliability / P.A. Anderson, T.A. Moore, K.W. Davis [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume.* – 2007. – Vol. 89. – № 5. – P. 1057–1065.
173. Cervicothoracic Junction Approach Using Modified Anterior Approach: J-Type Manubriotomy and Low Cervical Incision / J. Lee, S.H. Paeng, W.H. Lee [et al.] // *Korean Journal of Neurotrauma.* – 2019. – Vol. 15. – № 1. – P. 43–49.
174. Characteristics and Clinical Aspects of Patients with Spinal Cord Injury Undergoing Surgery / J.S. Melo-Neto, L.E.L. Vidotto, F.C. Gomes [et al.] // *Revista Brasileira de Ortopedia.* – 2016. – Vol. 52. – № 4. – P. 479–490.
175. Chronic Post-Sternotomy Pain / E. Kalso, S. Mennander, T. Tasmuth, E. Nilsson // *Acta Anaesthesiologica Scandinavica.* – 2001. – Vol. 45. – № 8. – P. 935–939.
176. Circumferential Reconstruction of Subaxial Cervical and Cervicothoracic Spine by Simultaneously Combined Anterior-Posterior Approaches in the Sitting Position / Y. Han, X.L. Ma, Y.C. Hu [et al.] // *Orthopaedic Surgery.* – 2017. – Vol. 9. – № 3. – P. 263–270.
177. Clark, C.R. *The Cervical Spine* / C.R. Clark, E.C. Benzel. – 4th Ed. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins, 2005. – 1250 p. – ISBN: 0-7817-3576-9. – Текст: непосредственный.
178. Classification and Surgical Decision Making in Acute Subaxial Cervical Spine Trauma / A.A. Patel, R.J. Hurlbert, C.M. Bono [et al.] // *Spine.* – 2010. – Vol. 35. – Suppl. 21. – P. S228–234.
179. Classification System Based on Kinematic MR Imaging in Cervical Spondylitic Myelopathy / C. Muhle, J. Metzner, D. Weinert [et al.] // *American Journal of Neuroradiology.* – 1998. – Vol. 19. – № 9. – P. 1763–1771.
180. Clifton, W. How I Do It: Tapered Rod Placement across the Cervicothoracic Junction for Augmented Posterior Constructs Clifton / W. Clifton, A. Damon, M. Pichelmann // *Acta Neurochirurgica.* – 2019. – Vol. 161. – № 12. – P. 2429–2431.
181. Clinical Characteristics and Stage I Operation of Anterior and Posterior Approaches for the Treatment of Cervicothoracic Junction (C7T1) Fracture-Dislocation

- / J. Liu, H. Liu, T. Li [et al.] // *Zhongguo Gu Shang*. – 2015. – Vol. 28. – № 2. – P. 177–181.
182. Clinical Examination in Complement with Computed Tomography Scan: An Effective Method for Identification of Cervical Spine Injury / R.P. Gonzalez, G.R. Cummings, H.A. Phelan [et al.] // *The Journal of Trauma*. – 2009. – Vol. 67. – № 6. – P. 1297–1304.
183. Clinical Features of Herniated Disc at Cervicothoracic Junction Level Treated by Anterior Approach / J.G. Lee, H.S. Kim, C.I. Ju, S.W. Kim // *Korean Journal of Spine*. – 2016. – Vol. 13. – № 2. – P. 53–56.
184. Cloward, R.B. Treatment of Acute Fractures and Fracture-Dislocations of the Cervical Spine by Vertebral-Body Fusion. A Report of Eleven Cases / R.B. Cloward // *Journal of Neurosurgery*. – 1961. – Vol. 18. – P. 201–209.
185. Combined Anterior-Posterior Surgery versus Posterior Surgery for Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review of the Literature / P. P. Oprel, W.E. Tuinebreijer, P. Patka, D. den Hartog // *The Open Orthopaedics Journal*. – 2010. – Vol. 4. – № 1. – P. 93–100.
186. Combined Posteroanterior Fusion versus Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) in Thoracolumbar Burst Fractures / R. Schmid, R.A. Lindtner, M. Lill [et al.] // *Injury*. – 2012. – Vol. 43. – № 4. – P. 475–479.
187. Comey, C.H. Anterior Thoracic Corpectomy without Sternotomy: A Strategy for Malignant Disease of the Upper Thoracic Spine / C.H. Comey, M.R. McLaughlin, J. Moossy // *Acta Neurochirurgica*. – 1997. – Vol. 139. – № 8. – P. 712–718.
188. 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*. – 2017. – Vol. 96. – № 34. – P. e7893.
189. Comparison of a Paraspinal Approach with a Percutaneous Approach in the Treatment of Thoracolumbar Burst Fractures with Posterior Ligamentous Complex Injury: A Prospective Randomized Controlled Trial / X.Z. Jiang, W. Tian, B. Liu [et al.] // *The Journal of International Medical Research*. – 2012. – Vol. 40. – № 4. – P. 1343–1356.

190. Comparison of Anterior and Posterior Approaches in Cervical Spinal Cord Injuries / D.S. Brodke, P.A. Anderson, D.W. Newell [et al.] // *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. – 2003. – Vol. 16. – № 3. – P. 229–235.
191. Comparison of Expandable and Fixed Interbody Cages in a Human Cadaver Corpectomy Model: Fatigue Characteristics / M. Pekmezci, J.A. Tang, L. Cheng [et al.] // *Clinical Spine Surgery*. – 2016. – Vol. 29. – № 9. – P. 387–393.
192. Comparison of Four Different Posterior Screw Fixation Techniques for the Treatment of Thoracolumbar Junction Fractures / N. Saglam, S. Dogan, C. Ozcan, I. Turkmen // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 123. – P. e773–e780.
193. Comparison of Short-Segment Pedicle Fixation with versus without Inclusion of the Fracture Level in the Treatment of Mild Thoracolumbar Burst Fractures / C. Sun, G. Guan, X. Liu [et al.] // *International Journal of Surgery*. – 2016. – № 36 (Pt. A). – P. 352–357.
194. Comparison of Surgical or Nonsurgical Treatment Outcomes in Patients with Thoracolumbar Fracture with Score 4 of TLICS: A Randomized, Single-Blind, and Single-Center Clinical Trial / A. Mohamadi, A. Googanian, A. Ahmadi, A. Kamali // *Medicine*. – 2018. – Vol. 97. – № 6. – P. e9842.
195. Complete L₅ Burst Fracture Treated by 270-Degree Decompression and Reconstruction Using Titanium Mesh Cage via a Single Posterior Vertebrectomy / H. Zeng, H. Wang, H. Xu [et al.] // *Chinese Journal of Traumatology*. – 2014. – Vol. 17. – № 5. – P. 307–310.
196. Computational Modeling and Analysis of Thoracolumbar Spine Fractures in Frontal Crash Reconstruction / X. Ye, J.P. Gaewsky, D.A. Jones [et al.] // *Traffic Injury Prevention*. – 2018. – Vol. 19. – Supl. 2. – P. S32–S39.
197. Conservative Management of Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra / J.F. Blanco, J.A. De Pedro, P.J. Hernández [et al.] // *Journal of Spinal Disorders and Techniques*. – 2005. – Vol. 18. – № 3. – P. 229–231.
198. Contralateral Radiculopathy after Transforaminal Lumbar Interbody Fusion / T. Hunt, F.H. Shen, C.I. Shaffrey, V. Arlet // *European Spine Journal*. – 2007. – Vol. 16. – Suppl. 3. – P. 311–314.

199. Correlation of Anterior Interbody Graft Choice With Patient-Reported Outcomes in Cervical Spine Trauma / H.Q. Lee, C.Y. Kow, J.S. Ng [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2019. – Vol. 9. – № 7. – P. 735–742.
200. Court-Brown, C.M. The Management of Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra / C.M. Court-Brown, S.D. Gertzbein // *Spine*. – 1987. – Vol. 12. – № 3. – P. 308–312.
201. Creating Reproducible Thoracolumbar Burst Fractures in Human Specimens: An in Vitro Experiment / L. Oberkircher, M. Schmuck, M. Bergmann [et al.] // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2016. – Vol. 24. – № 4. – P. 580–585.
202. CT-Based Classification of Long Spinal Allograft Fusion / G.H. Tan, B.G. Goss, P.J. Thorpe, R.P. Williams // *European Spine Journal*. – 2007. – Vol. 16. – № 11. – P. 1875–1881.
203. Current Status of Short Segment Fixation in Thoracolumbar Spine Injuries / R. Jindal, V. Jasani, D. Sandal, S.K. Garg // *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. – 2020. – Vol. 11. – № 5. – P. 770–777.
204. Dai, L.D. Low Lumbar Spinal Fractures: Management Options / L.D. Dai // *Injury*. – 2002. – Vol. 33. – № 7. – P. 579–582.
205. Dai, L.Y. Posterior Short-Segment Fixation with or without Fusion for Thoracolumbar Burst Fractures. A Five to Seven-Year Prospective Randomized Study / Dai LY, Jiang LS, Jiang SD // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2009. – Vol. 91. – № 5. – P. 1033–1041.
206. Daniels, A.H. Traumatic Spondyloptosis Resulting from High-Energy Trauma Concurrent with a Tonic-Clonic Seizure / A.H. Daniels, A.A. Deodhar, R.A. Hart // *The Spine Journal*. – 2009. – Vol. 9. – № 1. – P. e1–4.
207. Danish Version of the Oswestry Disability Index for Patients with Low Back Pain. Part 2: Sensitivity, Specificity and Clinically Significant Improvement in Two Low Back Pain Populations / H.H. Lauridsen, J. Hartvigsen, C. Manniche [et al.] // *European Spine Journal*. – 2006. – Vol. 15. – № 11. – P. 1717–1728.

208. Darling, G.E. Modified Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction / G.E. Darling, R. McBroom, R. Perrin // *Spine*. – 1995. – Vol. 20. – № 13. – P. 1519–1521.
209. Denis, F. Spinal Instability as Defined by the Three-Column Spine Concept in Acute Spinal Trauma / F. Denis // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1984. – № 189. – P. 65–76.
210. Denis, F. The Three Column Spine and Its Significance in the Classification of Acute Thoracolumbar Spinal Injuries / F. Denis // *Spine*. – 1983. – Vol. 8. – № 8. – P. 817–831.
211. Description and Analysis of Anomalies of the Lumbosacral Transition and Their Potential Sequelae / V. Lánik, H. Urbánková, M. Sojáková, N. Volleková // *Bratislava medical journal*. – 1981. – Vol. 76. – № 5. – P. 600–609.
212. Descriptive Epidemiology of Traumatic Spinal Injury in Japan / M.A. Tafida, Y. Wagatsuma, E. Ma [et al.] // *Journal of Orthopaedic Science*. – 2018. – Vol. 23. – № 2. – P. 273–276.
213. Development of an Experimental Model of Burst Fracture with Damage Characterization of the Vertebral Bodies under Dynamic Conditions / A. Germaneau, T. Vendevre, M. Saget [et al.] // *Clinical Biomechanics*. – 2017. – Vol. 49. – P. 139–144.
214. Direct Midline Posterior Corpectomy and Fusion of a Lumbar Burst Fracture with Retrospondyloptosis / A. Carminucci, R. Assina, R.N. Hernandez, I.M. Goldstein // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 99. – P. 809.e11–809.e14.
215. Does Combined Anterior-Posterior Approach Improve Outcomes Compared with Posterioronly Approach in Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures? A Systematic Review / T. Tan, T.J. Donohoe, M.S. Huang [et al.] // *Asian Spine Journal*. – 2020. – Vol. 14. – № 3. – P. 388–398.
216. 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.] // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2017. – Vol. 31. – Suppl. 4. – P. S38–S43.

217. Does the Fracture Fragment at the Anterior Column in Thoracolumbar Burst Fractures Get Enough Attention? / L. Deqing, L. Kejian, L. Teng [et al.] // *Medicine*. – 2017. – Vol. 96. – № 6. – P. e5936.
218. Dubey, S. Expansile Manubriotomy for Ventral Cervicothoracic Junction Disease / S. Dubey, A. Agrawal // *Neurology India*. – 2018. – Vol. 66. – № 1. – P. 168–173.
219. Duncan, G.J. One Hundred Years of Automobile-Induced Orthopedic Injuries / G.J. Duncan, R. Meals // *Orthopedics*. – 1995. – Vol. 18. – № 2. – P. 165–170.
220. Early and One-Stage Posterior-Anterior Surgery for Fresh and Severe Lower Cervical Spine Fracture and Dislocation / C. Duan, J. Hu, X. Wang, J. Wu // *Journal of Central South University. Medical Sciences*. – 2016. – Vol. 41. – № 8. – P. 838–845.
221. Early Complications Related to Approach in Cervical Spine Surgery: Single-Center Prospective Study / P.G. Campbell, S. Yadla, J. Malone [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 74. – № 2–3. – P. 363–368.
222. Ellis, J.D. Compression Fractures of the Vertebral Bodies and Other Changes Mistaken for Them / J.D. Ellis // *The Journal of Bone & Joint Surgery*. – 1944. – Vol. 26. – № 1. – P. 139–145.
223. 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 // *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. – 2017. – Vol. 20. – № 13. – P. 1412–1420.
224. Establishing the Injury Severity of Thoracolumbar Trauma: Confirmation of the Hierarchical Structure of the AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System / G.D. Schroeder, A.R. Vaccaro, C.K. Kepler [et al.] // *Spine*. – 2015. – Vol. 40. – № 8. – P. E498–503.
225. Establishment and Analysis of a Three-Dimensional Finite Element Model of Human Cervicothoracic Junction (C6-T1) / X. Ma, J.P. Guo, K.H. Liang, W.H. Song // *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*. – 2010. – Vol. 23. – № 1. – P. 5–8.
226. Etiology and Clinical Course of Missed Spine Fractures / D.C. Reid, R. Henderson, L. Saboe, J.D. Miller // *The Journal of Trauma*. – 1987. – Vol. 27. – № 9. – P. 980–986.

227. Evans, D.K. Dislocations at the Cervicothoracic Junction / D.K. Evans // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume.* – 1983. – Vol. 65. – № 2. – P. 124–127.
228. Evidence-Based Medicine of Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review of Operative Management across 20 Years / J.K. Scheer, J. Bakhsheshian, S. Fakurnejad [et al.] // *Global Spine Journal.* – 2015. – Vol. 5. – № 1. – P. 73–82.
229. Ex-Vivo Evaluation of the Three-Column Concept in Canine Thoracolumbar Fractures / G.A.C. Diamante, P.V.T. Marinho, C.C. Zani, M.V. Bahr Arias // *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia.* – 2020. – Vol. 72. – № 4. – P. 1221–1230.
230. Experimental and Computational Approach Investigating Burst Fracture Augmentation Using PMMA and Calcium Phosphate Cements / S.M. Tarsuslugil, R.M. O'Hara, N.J. Dunne [et al.] // *Annals of Biomedical Engineering.* – 2014. – Vol. 42. – № 4. – P. 751–762.
231. Extent and Location of Fixation Affects the Biomechanical Stability of Short- or Long-Segment Pedicle Screw Technique with Screwing of Fractured Vertebra for the Treatment of Thoracolumbar Burst Fractures: An Observational Study Using Finite Element Analysis / H. Wang, Z. Mo, J. Han [et al.] // *Medicine.* – 2018. – Vol. 97. – № 26. – P. e11244.
232. Factors Influencing the Quality of Life after Burst Fractures of the Thoracolumbar Transition / D. Briem, W. Lehmann, A.H. Ruecker [et al.] // *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery.* – 2004. – Vol. 124. – № 7. – P. 461–468.
233. Factors Predicting Long-Term Outcome after Short-Segment Posterior Fixation for Traumatic Thoracolumbar Fractures / H.B.S. Sodhi, A.R. Savardekar, R.B. Chauhan [et al.] // *Surgical Neurology International.* – 2017. – Vol. 8. – Art. 233.
234. Falavigna, A. Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction: Proposed Indication for Manubriotomy Based on Preoperative Computed Tomography Findings / A. Falavigna, O. Righesso, A.R. Teles // *Journal of Neurosurgery. Spine.* – 2011. – Vol. 15. – № 1. – P. 38–47.

235. FEM-Based Compression Fracture Risk Assessment in Osteoporotic Lumbar Vertebra L1 / A. Maknickas, V. Alekna, O. Ardatov [et al.] // *Applied Sciences*. – 2019. – Vol. 9. – № 15. – Art. 3013.
236. Fessler, R.G. Surgical Approaches to the Cervicothoracic Junction / R.G. Fessler, D.D. Dietze. In: *Operative Neurosurgical Techniques, Indications Methods, and Results*. H.H. Schmidek, W.H. Sweet, Eds. – Philadelphia WB Saunders Company, 1995. – Vol. 2. – P. 1875–1886. – ISBN: 978-0-7216-5542-0. – Текст: непосредственный.
237. Fielding, J.W. Anterior Cervical Approach to the Upper Thoracic Spine / J.W. Fielding, W.T. Stillwell // *Spine*. – 1976. – Vol. 1. – № 3. – P. 158–160.
238. Finite Element Analysis of Short- Versus Long-Segment Posterior Fixation for Thoracolumbar Burst Fracture / R. Basaran, M. Efendioglu, M. Kaksi [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 128. – P. e1109–e1117.
239. Finn, C.A. Burst Fracture of the Fifth Lumbar Vertebra / C.A. Finn, E.S. Stauffer // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1992. – Vol. 74. – № 3. – P. 398–403.
240. Fracture-Dislocation of the Fifth Lumbar Vertebra. A New Classification / T. Aihara, K. Takahashi, M. Yamagata, H. Moriya // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 1998. – Vol. 80. – № 5. – P. 840–845.
241. Fredrickson, B.E. Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra. A Report of Four Cases / B.E. Fredrickson, H.A. Yuan, H. Miller // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1982. – Vol. 64. – № 7. – P. 1088–1094.
242. Functional Outcome of Low Lumbar Burst Fractures. A Multicenter Review of Operative and Nonoperative Treatment of L3-L5 / E.A. Seybold, C.A. Sweeney, B.E. Fredrickson [et al.] // *Spine*. – 1999. – Vol. 24. – № 20. – P. 2154–2161.
243. Gieger, M. The Anterior Cervical Approach to the Cervicothoracic Junction / M. Gieger, P.A. Roth, J.K. Wu // *Neurosurgery*. – 1995. – Vol. 37. – № 4. – P. 704–710.
244. Giotta Lucifero, A. Surgical Management of Thoracolumbar Junction Fractures: An Evidence-Based Algorithm / A. Giotta Lucifero, N. Bruno, S. Luzzi // *World Neurosurgery*. – 2023. – Vol 17. – Art. 100151.

245. Gnanenthiran, S.R. Nonoperative versus Operative Treatment for Thoracolumbar Burst Fractures without Neurologic Deficit: A Meta-Analysis / S.R. Gnanenthiran, S. Adie, I.A. Harris // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 2012. – Vol. 470. – № 2. – P. 567–577.
246. Goel, V.K. Applications of the Finite Element Method to Thoracolumbar Spinal Research – Past, Present, and Future / V.K. Goel, G.L. Gilbertson // *Spine*. – 1995. – Vol. 20. – № 15. – P. 1719–1727.
247. Grading Quality of Evidence and Strength of Recommendations / D. Atkins, D. Best, P. Briss [et al.] // *BMJ (Clinical Research Ed.)*. – 2004. – Vol. 328. – № 7454. – Art. 1490.
248. Graft Materials and Biologics for Spinal Interbody Fusion / M. D'Souza, N.A. Macdonald, J.L. Gendreau [et al.] // *Biomedicines*. – 2019. – Vol. 7. – № 4. – Art. 75.
249. Graham, J.J. Complications of Cervical Spine Surgery. A Five-Year Report on a Survey of the Membership of the Cervical Spine Research Society by the Morbidity and Mortality Committee / J.J. Graham // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1989. – Vol. 14. – № 10. – P. 1046–1050.
250. Green, R.A.R. Whole Spine MRI in the Assessment of Acute Vertebral Body Trauma / R.A.R. Green, A. Saifuddin // *Skeletal Radiology*. – 2004. – Vol. 33. – № 3. – P. 129–135.
251. Guo, L.X. Finite Element Modeling and Static/Dynamic Validation of Thoracolumbar-Pelvic Segment / L.X. Guo, W.J. Li // *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. – 2020. – Vol. 23. – № 2. – P. 69–80.
252. Hadra, B.E. The Classic: Wiring of the Vertebrae as a Means of Immobilization in Fracture and Potts' Disease. Berthold E. Hadra. *Med Times and Register*, Vol. 22, May 23, 1891 / B.E. Hadra // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1975. – № 112. – P. 4–8.
253. Harlequin Syndrome after Scoliosis Surgery / U. Heiler, T. Pitzen, M. Fetter, M. Ruf // *Der Orthopade*. – 2019. – Vol. 48. – № 12. – P. 1042–1044.

254. Hashimoto, T. Relationship between Traumatic Spinal Canal Stenosis and Neurologic Deficits in Thoracolumbar Burst Fractures / T. Hashimoto, K. Kaneda, K. Abumi // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 1988. – Vol. 13. – № 11. – P. 1268–1272.
255. Heary, R.F. Decision-Making in Burst Fractures of the Thoracolumbar and Lumbar Spine / R.F. Heary, S. Kumar // *Indian Journal of Orthopaedics*. – 2007. – Vol. 41. – № 4. – P. 268–276.
256. Heary, R.F. Spinal Fracture Complications / R.F. Heary, M. Omar Iqbal. – In: *Complications in Neurosurgery*. – A. Nanda, eds. – Elsevier, 2019. – P. 362–371. – ISBN: 978-0-323-50961-9. – Текст: непосредственный.
257. History and Advances in Spinal Neurosurgery / C.T. Walker, U.K. Kakarla, S.W. Chang, V.K.H. Sonntag // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2019. – Vol. 31. – № 6. – P. 775–785.
258. Holly, L.T. Percutaneous Placement of Posterior Cervical Screws Using Three-Dimensional Fluoroscopy / L.T. Holly, K.T. Foley // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – № 5. – P. 536–540.
259. Huang, T.J. Burst Fracture of the Fifth Lumbar Vertebra with Unilateral Facet Dislocation: Case Report / T.J. Huang, J.Y. Chen, R.W. Hsu // *The Journal of Trauma*. – 1994. – Vol. 36. – № 5. – P. 755–757.
260. Hunt, T. Expandable Cage Placement via a Posterolateral Approach in Lumbar Spine Reconstructions. Technical Note / T. Hunt, F.H. Shen, V. Arlet // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2006. – Vol. 5. – № 3. – P. 271–274.
261. Impact of Cervicothoracic Region Stereotactic Spine Radiosurgery on Adjacent Organs at Risk / M. Sharma, E.E. Bennett, G. Rahmathulla [et al.] // *Neurosurgical Focus*. – 2017. – Vol. 42. – № 1. – P. E14.
262. Impact of Surgical Approach on Complications and Resource Utilization of Cervical Spine Fusion: A Nationwide Perspective to the Surgical Treatment of Diffuse Cervical Spondylosis / M.F. Shamji, C. Cook, R. Pietrobon [et al.] // *The Spine Journal*. – 2009. – Vol. 9. – № 1. – P. 31–38.

263. Incidence and Diagnosis of C7-T1 Fractures and Subluxations in Multiple-Trauma Patients: Evaluation of the Advanced Trauma Life Support Guidelines / V.L. Gisbert, J.J. Hollerman, A.L. Ney [et al.] // *Surgery*. – 1989. – Vol. 106. – № 4. – P. 702–708.
264. Increased In-Hospital Complications after Primary Posterior versus Primary Anterior Cervical Fusion / S.G. Memtsoudis, A. Hughes, Y. Ma [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 2011. – Vol. 469. – № 3. – P. 649–657.
265. Injury Characteristics and Surgical Treatment of Lower Lumbar Vertebral Burst Fractures / Z.Y. Zeng, P. Wu, J.Q. Zhang [et al.] // *Zhongguo Gu Shang*. – 2014. – Vol. 27. – № 2. – P. 112–117.
266. Instrumentation of the Cervicothoracic Junction after Destabilization / H.U. Bueff, J.C. Lotz, O.K. Colliou [et al.] // *Spine*. – 1995. – Vol. 20. – № 16. – P. 1789–1792.
267. Insufficient Stability of Pedicle Screws in Osteoporotic Vertebrae: Biomechanical Correlation of Bone Mineral Density and Pedicle Screw Fixation Strength / L. Weiser, G. Huber, K. Sellenschloh [et al.] // *European Spine Journal*. – 2017. – Vol. 26. – № 11. – P. 289–2897.
268. Internal Fixation of the Unstable Cervical Spine Using Posterior Roy-Camille Plates: Preliminary Report / N.A. Ebraheim, H.S. An, W.T. Jackson, J.A. Brown // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 1989. – Vol. 3. – № 1. – P. 23–28.
269. Is It Possible to Evaluate the Parameters of Cervical Sagittal Alignment on Cervical Computed Tomographic Scans? / H.S. Jun, I.B. Chang, J.H. Song [et al.] // *Spine*. – 2014. – Vol. 39. – № 10. – P. E630–636.
270. Is Lateral Stabilization Enough in Thoracolumbar Burst Fracture Reconstruction? A Biomechanical Investigation / R.R. Panchal, E.A. Matheis, M. Gudipally [et al.] // *The Spine Journal*. – 2015. – Vol. 15. – № 10. – P. 2247–2253.
271. Isolated Unstable Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra: Functional and Radiological Outcome after Posterior Stabilization with Reconstruction of the Anterior Column: About 6 Cases and Literature Review / M. Meyer, R. Noudel, K. Farah [et al.] // *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research*. – 2020. – Vol. 106. – № 6. – P. 1215–1220.

272. Ivancic, P.C. Hybrid Cadaveric/Surrogate Model of Thoracolumbar Spine Injury Due to Simulated Fall from Height / P.C. Ivancic // *Accident Analysis and Prevention*. – 2013. – Vol. 59. – P. 185–191.
273. Jarrett, C.D. Anterior Exposure of the Lumbar Spine with and without an ‘Access Surgeon’: Morbidity Analysis of 265 Consecutive Cases / C.D. Jarrett, J.G. Heller, L. Tsai // *Journal of Spinal Disorders and Techniques*. – 2009. – Vol. 22. – № 8. – P. 559–564.
274. Jeanneret, B. Posterior Rod System of the Cervical Spine: A New Implant Allowing Optimal Screw Insertion / B. Jeanneret // *European Spine Journal*. – 1996. – Vol. 5. – № 5. – P. 350–356.
275. Joaquim, A.F. Spinal Reconstruction Techniques for Traumatic Spinal Injuries: A Systematic Review of Biomechanical Studies / A.F. Joaquim, J.P. Maslak, A.A. Patel // *Global Spine Journal*. – 2019. – Vol. 9. – № 3. – P. 338–347.
276. Kaminski, A. Burst Fracture of the Fifth Lumbar Vertebra: Results of Posterior Internal Fixation and Transpedicular Bone Grafting / A. Kaminski, E.J. Müller, G. Muhr // *European Spine Journal*. – 2002. – Vol. 11. – № 5. – P. 435–440.
277. Kang, D.G. Combat-Related L5 Burst Fracture Treated with L4-S1 Posterior Spinal Fusion / D.G. Kang, T.C. Dworak, R.A. Lehman Jr // *The Spine Journal*. – 2012. – Vol. 2. – № 9. – P. 862–863.
278. Karaikovic, E.E. Accuracy of Cervical Pedicle Screw Placement Using the Funnel Technique / E.E. Karaikovic, W. Yingsakmongkol, R.W. Gaines Jr // *Spine*. – 2001. – Vol. 26. – № 22. – P. 2456–2462.
279. Karikari, I.O. Simple Method for Determining the Need for Sternotomy/Manubriotomy with the Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction / I.O. Karikari, C.J. Powers, R.E. Isaacs // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 65. – Suppl. 6. – P. E165–166.
280. Kazarian, L.E. Creep Characteristics of the Human Spinal Column / L.E. Kazarian // *The Orthopedic clinics of North America*. – 1975. – Vol. 6. – № 1. – P. 3–18.
281. Kim, B.G. Treatment of Thoracolumbar Fracture / B.G. Kim, J.M. Dan, D.E. Shin // *Asian Spine Journal*. – 2015. – Vol. 9. – № 1. – P. 133–146.

282. Kocis, J. Complete Burst Fracture of the Fifth Lumbar Vertebra Treated by Posterior Surgery Using Expandable Cage / J. Kocis, P. Wendsche, P. Visna // *Acta Neurochirurgica*. – 2008. – Vol. 150. – № 12. – P. 1301–1305.
283. Kramer, K.M. Unilateral Facet Dislocation of the Lumbosacral Junction. A Case Report and Review of the Literature // K.M. Kramer, A.M. Levine // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1989. – Vol. 71. – № 8. – P. 1258–1261.
284. Kreitz, B.G. L5 Vertebral Compression Fracture: A Series of Five Cases / B.G. Kreitz, P. Côté, J.D. Cassidy // *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. – 1995. – Vol. 18. – № 2. – P. 91–97.
285. Kubo, T. Transclavicular Approach for a Large Dumbbell Tumor in the Cervicothoracic Junction / T. Kubo, H. Nakamura, Y. Yamano // *Journal of Spinal Disorders*. – 2001. – Vol. 14. – № 1. – P. 79–83.
286. Kurz, L.T. Modified Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction / L.T. Kurz, S.E. Pursel, H.N. Herkowitz // *Spine*. – 1991. – Vol. 16. – Suppl. 10. – P. S542–547.
287. Kyphosis Recurrence after Posterior Short-Segment Fixation in Thoracolumbar Burst Fractures / X.Y. Wang, L.Y. Dai, H.Z. Xu, Y.L. Chi // *Journal of Neurosurgery: Spine*. – 2008. – Vol. 8. – № 3. – P. 246–254.
288. L5 Corpectomy-the Lumbosacral Segmental Geometry and Clinical Outcome-a Consecutive Series of 14 Patients and Review of the Literature / M. Vazan, Y.M. Ryang, J. Gerhardt [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2017. – Vol. 159. – № 6. – P. 1147–1152.
289. L5 Vertebrectomy for the Surgical Treatment of Tumoral and Traumatic Lesions of L5 Vertebra / T. Kaner, T. Oktenoglu, M. Sasani, A.F. Ozer // *Orthopedic Reviews*. – 2012. – Vol. 4. – № 1. – P. e10.
290. Late Displacement of a Fracture Dislocation at the Lumbosacral Junction. A Case Study / D.K. Steinitz, D.I. Alexander, R.K. Leighton, J.J. O’Sullivan // *Spine*. – 1997. – Vol. 22. – № 9. – P. 1024–1027.
291. Lateral Parascapular Extrapleural Approach to the Upper Thoracic Spine / R.G. Fessler, D.D. Dietze Jr, M.M. Millan, D. Peace // *Journal of Neurosurgery*. – 1991. – Vol. 75. – № 3. – P. 349–355.

292. Lee, W. Anterior-Along Surgical Treatment for Subaxial Cervical Spine Facet Dislocation: A Systematic Review / W. Lee, C.C. Wong // *Global Spine Journal*. – 2021. – Vol. 11. – № 2. – P. 256–265.
293. Liao, J.C. Posterior Short-Segment Fixation in Thoracolumbar Unstable Burst Fractures – Transpedicular Grafting or Six-Screw Construct? / J.C. Liao, K.F. Fan // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 153. – P. 56–63.
294. Liu, K. Comparison of a Novel Anterior-Only Approach and the Conventional Posterior-Anterior Approach for Cervical Facet Dislocation: A Retrospective Study / K. Liu, Z. Zhang // *European Spine Journal*. – 2019. – Vol. 28. – № 10. – P. 2380–2389.
295. Long Segment Instrumentation of Thoracolumbar Burst Fracture: Fusion versus Nonfusion / G. Tezeren, O. Bulut, M. Tukenmez [et al.] // *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. – 2009. – Vol. 22. – № 2. – P. 107–112.
296. Long-Term Biomechanical Stability and Clinical Improvement after Extended Multilevel Corpectomy and Circumferential Reconstruction of the Cervical Spine Using Titanium Mesh Cages / F.L. Acosta Jr, H.E. Aryan, D. Chou, C.P. Ames // *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. – 2008. – Vol. 21. – № 3. – P. 165–174.
297. Losanoff, J.E. Primary Closure of Median Sternotomy: Techniques and Principle / J.E. Losanoff, J.W. Jones, B.W. Richman // *Cardiovascular Surgery (London, England)*. – 2002. – Vol. 10. – № 2. – P. 102–110.
298. Louis, R. Die Chirurgie Der Wirbelsäule / R. Louis. – Wemding: Springer Berlin, Heidelberg, 1985. – 330 p. – ISBN: 978-3-662-11486-5. – Текст: непосредственный.
299. Low Lumbar Burst Fractures: A Unique Fracture Mechanism Sustained in Our Current Overseas Conflicts / R.A. Lehman Jr, H. Paik, T.T. Eckel [et al.] // *The Spine Journal*. – 2012. – Vol. 12. – № 9. – P. 784–790.
300. Low Lumbar Burst Fractures: Comparison between Conservative and Surgical Treatments / H.S. An, J.M. Simpson, N.A. Ebraheim [et al.] // *Orthopedics*. – 1992. – Vol. 15. – № 3. – P. 367–373.
301. Lower cervical spine trauma: classification and operative treatment / M. Reinhold, M. Blauth, R. Rosiek, C. Knop // *Unfallchirurg*. – 2006. – Vol. 109. – № 6. – P. 471–482.

302. Lowery, G.L. The Significance of Hardware Failure in Anterior Cervical Plate Fixation. Patients with 2- to 7-Year Follow-Up / G.L. Lowery, R.F. McDonough // *Spine*. – 1998. – Vol. 23. – № 2. – P. 181–187.
303. Luk, K.D. Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction by Unilateral or Bilateral Manubriotomy. A Report of Five Cases / K.D. Luk, K.M. Cheung, J.C. Leong // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2002. – Vol. 84. – № 6. – P. 1013–1017.
304. Lumboiliac Fixation in Lumbosacral Dislocation and Associated Injuries of the Pelvis and Lumbosacral Junction: A Long-Term Radiological and Clinical Follow-Up / F. De Iure, M. Cappuccio, M. Palmisani [et al.] // *Injury*. – 2016. – Vol. 47. – Suppl 4. – P. S44–S48.
305. Magnetic Resonance-Based Morphological Features of the Manubrium and the Surgeons' View Line: When to Use Manubriotomy? / H.M. Xu, F. Hu, X.Y. Wang, S.L. Tong // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 124. – P. e793–e798.
306. Management of Burst Fractures in the Thoracolumbar Spine / M. Cahueque, A. Andrés Cobar, C. Zuñiga, G. Caldera // *Journal of Orthopaedics*. – 2016. – Vol. 13. – № 4. – P. 278–281.
307. Manickam, P.S. The Biomechanical Study of Cervical Spine: A Finite Element Analysis / P.S. Manickam, S.T. Roy // *International Journal of Artificial Organs*. – 2022. – Vol. 45. – № 1. – P. 89–95.
308. Mazel, C. Malunion of Post-Traumatic Thoracolumbar Fractures / C. Mazel, L. Ajavon // *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. – 2018. – Vol. 104. – № 1S. – P. S55–S62.
309. Mazur, J.M. Unrecognized Spinal Instability Associated with Seemingly 'Simple' Cervical Compression Fractures / J.M. Mazur, E.S. Stauffer // *Spine*. – 1983. – Vol. 8. – № 7. – P. 687–692.
310. McAfee, P.C. The Unstable Burst Fracture / P.C. McAfee, A.Y. Hansen, N.A. Lasda // *Spine*. – 1982. – Vol. 7. – № 4. – P. 365–373.

311. McLain, R.F. Early Failure of Short-Segment Pedicle Instrumentation for Thoracolumbar Fractures. A Preliminary Report / R.F. McLain, E. Sparling, D.R. Benson // *The Journal of Bone & Joint Surgery*. – 1993. – Vol. 75. – № 2. – P. 162–167.
312. Micheli, L.J. Anterior Exposure of the Cervicothoracic Spine Using a Combined Cervical and Thoracic Approach / L.J. Micheli, R.W. Hood // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1983. – Vol. 65. – № 7. – P. 992–997.
313. Mid-Range Outcomes in 64 Consecutive Cases of Multilevel Fusion for Degenerative Diseases of the Lumbar Spine / M. Röllinghoff, K. Schlüter-Brust, D. Groos [et al.] // *Orthopedic Reviews*. – 2010. – Vol. 2. – № 1. – P. e3.
314. Mini Transsternal Approach to the Anterior High Thoracic Spine (T1-T4 Vertebrae) / C. Brogna, B. Thakur, L. Fiengo [et al.] // *BioMed Research International*. – 2016. – Vol. 2016. – Art. 4854217.
315. Minimally Invasive Endoscopic Approach to the Cervicothoracic Junction for Vertebral Metastases: Report of Two Cases / J. Le Huec, E. Lesprit, J. Guibaud [et al.] // *European Spine Journal*. – 2001. – Vol. 10. – № 5. – P. 421–426.
316. Minimally Invasive Spinal Surgery for the Treatment of Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures / T. Oh, J.K. Scheer, S. Fakurnejad [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2015. – Vol. 22. – № 1. – P. 42–47.
317. Minimally Invasive Total Disc Replacement: Surgical Technique and Preliminary Clinical Results / H.M. Mayer, K. Wiechert, A. Korge, I. Qose // *European Spine Journal*. – 2002. – Vol. 11. – Suppl. 2. – P. S124–130.
318. Mini-Open Anterior Approach for Cervicothoracic Junction Fracture: Technical Note / J. Ohya, D.P. Bray, S.T. Magill [et al.] // *Neurosurgical Focus*. – 2017. – Vol. 43. – № 2. – Art E4.
319. Mini-Open Anterior Approach to the Cervicothoracic Junction: A Cadaveric Study / Y.X. Huang, N.F. Tian, Y.L. Chi [et al.] // *European Spine Journal*. – 2013. – Vol. 22. – № 7. – P. 1533–1538.
320. Miscusi, M. Surgical Approaches to the Cervico-Thoracic Junction / M. Miscusi, A. Bellitti, F.M. Polli // *Journal of Neurosurgical Sciences*. – 2005. – Vol. 49. – № 2. – P. 49–57.

321. Miyashita, T. Clinical Results of Posterior Stabilization without Decompression for Thoracolumbar Burst Fractures: Is Decompression Necessary? / T. Miyashita, H. Ataka, T. Tanno // *Neurosurgical Review*. – 2012. – Vol. 35. – № 3. – P. 447–455.
322. Modified Posterior Lumbar Interbody Fusion for Radiculopathy Following Healed Vertebral Collapse of the Middle-Lower Lumbar Spine / T. Yamashita, H. Sakaura, T. Miwa, T. Ohwada // *Global Spine Journal*. – 2014. – Vol. 4. – № 4. – P. 255–262.
323. 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 Journal*. – 2014. – Vol. 8. – № 3. – P. 281–297.
324. Morales Alba, N.A. Posterior Placement of an Expandable Cage for Lumbar Vertebral Body Replacement in Oncologic Surgery by Posterior Simple Approach: Technical Note / N.A. Morales Alba // *Spine*. – 2008. – Vol. 33. – № 23. – P. E901–905.
325. Morrison, R.H. Volumetric Changes of Iliac Crest Autografts Used to Reconstruct the Anterior Column in Thoracolumbar Fractures: A Follow-up Using CT Scans / R.H. Morrison, A. Thierolf, A. Weckbach // *Spine*. – 2007. – Vol. 32. – № 26. – P. 3030–3035
326. Morscher, E. Neue Aspekte Der Vorderen Plattenosteosynthese Der Halswirbelsäulenverletzungen // E. Morscher, P. Moulin, T. Stoll // *Chirurg*. – 1992. – Vol. 63. – № 11. – P. 875–883.
327. Motion Preservation Following Total Lumbar Disc Replacement at the Lumbosacral Junction: A Prospective Long-Term Clinical and Radiographic Investigation / C. Wuertinger, R.D.À. Annes, W. Hitzl, C.J. Siepe // *The Spine Journal*. – 2018. – Vol. 18. – № 1. – P. 72–80.
328. Nazarian, S.M. Posterior Internal Fixation with Screw Plates in Traumatic Lesions of the Cervical Spine / S.M. Nazarian, R.P. Louis // *Spine*. – 1991. – Vol. 16. – Suppl. 3. – P. S64–71.
329. Nazzaro, J.M. ‘Trap Door’ Exposure of the Cervicothoracic Junction. Technical Note / J.M. Nazzaro, E. Arbit, M. Burt // *Journal of Neurosurgery*. – 1994. – Vol. 80. – № 2. – P. 338–341.

330. Negative Sagittal Balance Following Adult Spinal Deformity Surgery / R.K. Merrill, J.S. Kim, I.T. McNeill [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2018. – Vol. 8. – № 2. – P. 149–155.
331. Neurological and Functional Outcome after Unstable Cervicothoracic Junction Injury Treated by Posterior Reduction and Synthesis / T. Lenoir, E. Hoffmann, C. Thevenin-Lemoine [et al.] // *The Spine Journal*. – 2006. – Vol. 6. – № 5. – P. 507–513.
332. Neurological L5 Burst Fracture: Posterior Decompression and Lordotic Fixation as Treatment of Choice / A. Ramieri, M. Domenicucci, P. Cellocco [et al.] // *European Spine Journal*. – 2012. – Vol. 21. – Suppl. 1. – P. S119–122.
333. Nichols, C.G. Evaluation of Cervicothoracic Junction Injury / C.G. Nichols, D.H. Young, W.R. Schiller // *Annals of Emergency Medicine*. – 1987. – Vol. 16. – № 6. – P. 640–642.
334. Obeidat, M. Cortical Bone Trajectory Screws for Fixation Across the Cervicothoracic Junction: Surgical Technique and Outcomes / M. Obeidat, Z. Tan, J.A. Finkelstein // *Global Spine Journal*. – 2019. – Vol. 9. – № 8. – P. 859–865.
335. Operative Management of Complex Lumbosacral Dissociations in Combat Injuries / P.M. Formby, S.C. Wagner, D.G. Kang [et al.] // *The Spine Journal*. – 2016. – Vol. 16. – № 10. – P. 1200–1207.
336. Operative Treatment of Unstable Injuries of the Cervicothoracic Junction / G. Sapkas, S. Papadakis, P. Katonis [et al.] // *European Spine Journal*. – 1999. – Vol. 8. – № 4. – P. 279–283.
337. Ossification of the Yellow Ligament Combined with Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament at the Cervicothoracic Junction / S. Chitoku, I. Nishiura, M. Fukuda, S. Amano // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 103. – P. 952.e19–952.e22.
338. Outcomes in Thoracolumbar Burst Fractures With a Thoracolumbar Injury Classification Score (TLICS) of 4 Treated With Surgery Versus Initial Conservative Management / A. Nataraj, A.S. Jack, I. Ihsanullah [et al.] // *Clinical Spine Surgery*. – 2018. – Vol. 31. – № 6. – P. E317–E321.

339. Padalkar, P. Posterior Reconstruction of Vertebral Body Using Expandable Cage for L5 Burst Fracture Dislocation: Case Report / P. Padalkar, N. Virani, A. Kathare // *Journal of Orthopaedic Case Reports*. – 2014. – Vol. 4. – № 2. – P. 5–9.
340. Pascal-Moussellard, H. Osteosynthesis in Sacral Fracture and Lumbosacral Dislocation / H. Pascal-Moussellard, C. Hirsch, R. Bonaccorsi // *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research*. – 2016. – Vol. 102. – Suppl. 1. – P. S45–57.
341. Pedicle Screw Fixation of Thoracolumbar Fractures: Conventional Short Segment versus Short Segment with Intermediate Screws at the Fracture Level – a Systematic Review and Meta-Analysis / C. Kapoen, Y. Liu, F.W. Bloemers, J. Deunk // *European Spine Journal*. – 2020. – Vol. 29. – № 10. – P. 2491–2504.
342. Perioperative and Delayed Complications Associated with the Surgical Treatment of Cervical Spondylotic Myelopathy Based on 302 Patients from the AOSpine North America Cervical Spondylotic Myelopathy Study / M.G. Fehlings, J.S. Smith, B. Kopjar [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Spine*. – 2012. – Vol. 16. – № 5. – P. 425–432.
343. Posterior Instrumentation of the Unstable Cervicothoracic Spine / J.R. Chapman, P.A. Anderson, C. Pepin [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 1996. – Vol. 84. – № 4. – P. 552–558.
344. Posterior Only Approach for Fifth Lumbar Corpectomy: Indications and Technical Notes / B. Elnady, A. Shawky, H. Abdelrahman [et al.] // *International Orthopaedics*. – 2017. – Vol. 41. – № 12. – P. 2535–2541.
345. Posterior Rigid Instrumentation of C7: Surgical Considerations and Biomechanics at the Cervicothoracic Junction. A Review of the Literature / A.B. Bayoumi, I.E. Efe, S. Berk [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 111. – P. 216–226.
346. Posterior Short-Segmental Fixation Combined with Intermediate Screws vs Conventional Intersegmental Fixation for Monosegmental Thoracolumbar Fractures / J.W. Tian, L. Wang, T. Xia [et al.] // *Orthopedics*. – 2011. – Vol. 34. – № 8. – P. e389–396.
347. Posterior Stabilization at the Cervicothoracic Junction: A Biomechanical Study / J.L. Kreshak, D.H. Kim, D.P. Lindsey [et al.] // *Spine*. – 2002. – Vol. 27. – № 24. – P. 2763–2770.

348. Posterior Stabilization of L5 Burst Fractures without Reconstruction of the Anterior Column / P. Sebesta, J. Stulík, T. Vyskocčil, J. Kryl // *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca*. – 2008. – Vol. 75. – № 2. – P. 123–128.
349. Posterior Stabilization of the Cervical Spine with Hook Plates / B. Jeanneret, F. Magerl, E. Halter Ward, J.C. Ward // *Spine*. – 1991. – Vol. 16. – Suppl. 3. – P. S56–63.
350. Posterior Subaxial Cervical Spine Screw Fixation: A Review of Techniques / A.F. Joaquim, M.L. Mudo, L.A. Tan, K.D. Riew // *Global Spine Journal*. – 2018. – Vol. 8. – № 7. – P. 751–760.
351. Prabhakar, M.M. Anterior Decompression for Cervicothoracic Pathology: A Study of 14 Patients / M.M. Prabhakar, T. Thakker // *The Journal of Spinal Cord Medicine*. – 2006. – Vol. 29. – № 2. – P. 163–166.
352. Prajapati, H.P. Thoracolumbar Fracture Classification: Evolution, Merits, Demerits, Updates, and Concept of Stability / H.P. Prajapati, R. Kumar // *British Journal of Neurosurgery*. – 2021. – Vol. 35. – № 1. – P. 92–97.
353. Predictive Validity of Preoperative CT Scans and the Risk of Pedicle Screw Loosening in Spinal Surgery / J. Bredow, C.K. Boese, C.M.L. Werner [et al.] // *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. – 2016. – Vol. 136. – № 8. – P. 1063–1067.
354. Radiographic Evaluation of the Lumbosacral Disc Height / H. Inoue, K. Ohmori, K. Miyasaka, H. Hosoe // *Skeletal Radiology*. – 1999. – Vol. 28. – № 11. – P. 638–643.
355. Radiological Anatomy of the C7 Vertebra: Clinical Implications in Spine Surgery / F. Keskin, F. Erdi, A. Nayman [et al.] // *Journal of Craniovertebral Junction & Spine*. – 2015. – Vol. 6. – № 1. – P. 30–35.
356. Rating the Incidence of Iatrogenic Vascular Injuries in Thoracic and Lumbar Spine Surgery as Regards the Approach: A PRISMA-Based Literature Review / A. Giotta Lucifero, C. Gragnaniello, M. Baldoncini [et al.] // *European Spine Journal*. – 2021. – Vol. 30. – № 11. – P. 3172–3190.
357. Regional Instability Following Cervicothoracic Junction Surgery / M.P. Steinmetz, J. Miller, A. Warbel [et al.] // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2006. – Vol. 4. – № 4. – P. 278–284.

358. Removal of Fixation Construct Could Mitigate Adjacent Segment Stress after Lumbosacral Fusion: A Finite Element Analysis / Y.Y. Hsieh, C.H. Chen, F.Y. Tsuang [et al.] // *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon). – 2017. – Vol. 43. – P. 115–120.
359. Resnick, D.K. Anterior Cervicothoracic Junction Corpectomy and Plate Fixation without Sternotomy / D.K. Resnick // *Neurosurgical Focus*. – 2002. – Vol. 12. – № 1. – P. E7.
360. Results and Risk Factors for Anterior Cervicothoracic Junction Surgery / J.A. Boockvar, M.F. Philips, A.E. Telfeian [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2001. – Vol. 94. – Suppl. 1. – P. 12–17.
361. Retrograde Ejaculation after Anterior Lumbar Spine Surgery / E.M. Lindley, Z.L. McBeth, S.E. Henry [et al.] // *Spine*. – 2012. – Vol. 37. – № 20. – P. 1785–1789.
362. Retrospective Review of Lumbosacral Dissociations in Blast Injuries / M.D. Helgeson, R.A. Lehman Jr, P. Cooper [et al.] // *Spine*. – 2011. – Vol. 36. – № 7. – P. E469–475.
363. Rhee, J.M. A Comparison of Pedicle and Lateral Mass Screw Construct Stiffnesses at the Cervicothoracic Junction: A Biomechanical Study / J.M. Rhee, C. Kraiwattanapong, W.C. Hutton // *Spine*. – 2005. – Vol. 30. – № 21. – P. E636–640.
364. Risk Factor Analysis for Predicting Kyphosis Reoccurrence of Thoracolumbar Burst Fracture Patients Treated with Posterior Short-Segment Fixation / C. Sun, G. Guan, X. Liu [et al.] // *ResearchSquare*. – 2020. – DOI: 10.21203/rs.2.14567/v3.
365. Risk Factor Analysis for Predicting Vertebral Body Re-Collapse after Posterior Instrumented Fusion in Thoracolumbar Burst Fracture / H.D. Jang, C. Bang, J.C. Lee [et al.] // *Spine Journal*. – 2018. – Vol. 18. – № 2. – P. 285–293.
366. Risk Factors for a Kyphosis Recurrence after Short-Segment Temporary Posterior Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures / H. Aono, K. Ishii, S. Takenaka [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2019. – Vol. 66. – P. 138–143.
367. Risk Factors of Kyphosis Recurrence after Implant Removal in Thoracolumbar Burst Fractures Following Posterior Short-Segment Fixation / J.X. Chen, D.L. Xu, S.R. Sheng [et al.] // *International Orthopaedics*. – 2016. – Vol. 40. – № 6. – P. 1253–1260.

368. Robinson, R.A. Anterolateral Disc Removal and Interbody Fusion for Cervical Disc Syndrome / R.A. Robinson, G.W. Smith // SAS Journal. – 2010. – Vol. 4. – № 1. – P. 34–35.
369. Rogers, W.A. Treatment of Fracture-Dislocation of the Cervical Spine / W.A. Rogers // J Bone Joint Surg. – 1942. – № 24. – P. 245–258.
370. Safety and Efficacy of Skipping C7 Instrumentation in Posterior Cervicothoracic Fusion / M.K. Tobin, C. Gragnaniello, F.W. Sun [et al.] // World Neurosurgery. – 2019. – Vol. 130. – P. e68–e73.
371. Sahin, S. Minimally Incisional Stabilization of Unstable L5 Burst Fracture / S. Sahin, D.K. Resnick // Journal of Spinal Disorders & Techniques. – 2005. – Vol. 18. – № 5. – P. 455–457.
372. Sahlstrand, T. An Analysis of Lateral Predominance in Adolescent Idiopathic Scoliosis with Special Reference to Convexity of the Curve / T. Sahlstrand // Spine. – 1980. – Vol. 5. – № 6. – P. 512–518.
373. Schirmer, C.M. Management of Distraction Injury of the Lumbosacral Junction with Unilateral Perched Facet / C.M. Schirmer, E.F. Bisson // Surgical Neurology International. – 2011. – Vol. 2. – Art. 26.
374. Schmid, R. Lumbosacral Dislocation: A Review of the Literature and Current Aspects of Management / R. Schmid, M. Reinhold, M. Blauth // Injury. – 2010. – Vol. 41. – № 4. – P. 321–328.
375. Scholz, M. Instrumented Lumbar Interbody Fusion L4-S1 (TLIF L4-S1) / M. Scholz, P. Schleicher, F. Kandziora // European Spine Journal. – 2017. – Vol. 26. – Suppl. 3. – P. 416–417.
376. Segmental and Global Lordosis Changes with Two-Level Axial Lumbar Interbody Fusion and Posterior Instrumentation / M.A. Melgar, W.D. Tobler, R.J. Ernst [et al.] // International Journal of Spine Surgery. – 2014. – Vol. 8. – Art. 10.
377. Severe Pathological Fractures Caused by Vertebral Hemangiomas with Posterior Decompression, Bone Cement Augmentation and Internal Fixation / C. Li, H.B. Zhang, H. Zhang [et al.] // Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research. – 2016. – Vol. 102. – № 4. – P. 489–494.

378. Shapiro, S. Traumatic Thoracic Spinal Fracture Dislocation with Minimal or No Cord Injury. Report of Four Cases and Review of the Literature / S. Shapiro, T. Abel, R.B. Rodgers // *Journal of Neurosurgery*. – 2002. – Vol. 96. – Suppl. 3. – P. 333–337.
379. Sharan, A.D. Approaching the Upper Thoracic Vertebrae without Sternotomy or Thoracotomy: A Radiographic Analysis with Clinical Application / A.D. Sharan, G.J. Przybylski, L. Tartaglino // *Spine*. – 2000. – Vol. 25. – № 8. – P. 910–916.
380. Shirado, O. Thoracolumbar Burst Fractures; an Experimental Study on Cadaveric Spines and Finite Element Method / O. Shirado // *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. – 1993. – Vol. 67. – № 7. – P. 644–654.
381. Shono, Y. Experimental Study of Thoracolumbar Burst Fractures. A Radiographic and Biomechanical Analysis of Anterior and Posterior Instrumentation Systems / Y. Shono, P.C. McAfee, B.W. Cunningham // *Spine*. – 1994. – Vol. 19. – № 15. – P. 1711–1722.
382. Short Posterior Stabilization in Combination With Cement Augmentation for the Treatment of Thoracolumbar Fractures and the Effects of Implant Removal / S. Hoppe, E. Aghayev, S. Ahmad [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2017. – Vol. 7. – № 4. – P. 317–324.
383. Short Segment Percutaneous Pedicle Screw Fixation after Direct Spinal Canal Decompression in Thoracolumbar Burst Fractures: An Alternative Option / S.H. Park, S.D. Kim, B.J. Moon [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2018. – Vol. 53. – P. 48–54.
384. Short-Segment Pedicle Instrumentation of Thoracolumbar Burst Fractures: Does Transpedicular Intracorporeal Grafting Prevent Early Failure? / A. Alanay, E. Acaroglu, M. Yazici [et al.] // *Spine*. – 2001. – Vol. 26. – № 2. – P. 213–217.
385. Short-Segment versus Long-Segment Stabilization for Unstable Thoracolumbar Junction Burst Fractures / M.K. Ahsan, A.A. Mamun, Z. Zahangiri [et al.] // *Mymensingh Medical Journal*. – 2017. – Vol. 26. – № 4. – P. 762–774.
386. Shousha, M. Corpectomy of the Fifth Lumbar Vertebra, a Challenging Procedure / M. Shousha, H. El-Saghir, H. Boehm // *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. – 2014. – Vol. 27. – № 6. – P. 347–351.

387. Significant New Observations on Cervical Spine Trauma / M.D. Miller, J.A. Gehweiler, S. Martinez [et al.] // *AJR. American journal of roentgenology*. – 2012. – Vol. 130. – № 4. – P. 659–663.
388. Silva, M.J. Computed Tomography-Based Finite Element Analysis Predicts Failure Loads and Fracture Patterns for Vertebral Sections / M.J. Silva, T.M. Keaveny, W.C. Hayes // *Journal of Orthopaedic Research*. – 1998. – Vol. 16. – № 3. – P. 300–308.
389. Single Anterior Approach for Cervical Spine Fractures at C5-T1 Complicating Ankylosing Spondylitis / Q. Guo, Y. Cui, L. Wang [et al.] // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. – 2016. – Vol. 147. – P. 1–5.
390. Single Level Lumbar Laminectomy Alters Segmental Biomechanical Behavior without Affecting Adjacent Segments / A. Bisschop, S.J. van Engelen, I. Kingma [et al.] // *Clinical Biomechanics*. – 2014. – Vol. 29. – № 8. – P. 912–917.
391. Siu, T.L.T. Lateral Lumbar Interbody Fusion at the Lumbosacral Junction / T.L.T. Siu, K. Lin // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2017. – Vol. 43. – P. 178–184.
392. Smucker, J.D. The Evolution of Spinal Instrumentation for the Management of Occipital Cervical and Cervicothoracic Junctional Injuries / J.D. Smucker, R.C. Sasso // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – Suppl. 11. – P. S44–52.
393. Spinal Compression Fractures in Osteoporotic Women: Patterns and Relationship to Hyperkyphosis / A.A. De Smet, R.G. Robinson, B.E. Johnson, B.P. Lukert // *Radiology*. – 1988. – Vol. 166. – № 2. – P. 497–500.
394. Spinal Disorders at the Cervicothoracic Junction / H.S. An, A. Vaccaro, J.M. Cotier, S. Lin // *Spine*. – 1994. – Vol. 19. – № 22. – P. 1557–2564.
395. Spinal Instrumentation after Complete Resection of the Last Lumbar Vertebra: An in Vitro Biomechanical Study after L5 Spondylectomy / V. Bartanusz, A. Muzumdar, M. Hussain [et al.] // *Spine*. – 2011. – Vol. 36. – № 13. – P. 1017–1021.
396. Spine Surgery in Neurological Lesions of the Cervicothoracic Junction: Multicentric Experience on 33 Consecutive Cases / A. Ramieri, M. Domenicucci, P. Ciappetta [et al.] // *European Spine Journal*. – 2011. – Vol. 20. – Suppl. 1. – P. S13–19.

397. Spondylolysis and Spondylolisthesis and Sports / M. Engelhardt, I. Reuter, J. Freiwald [et al.] // *Der Orthopade*. – 1997. – Vol. 26. – № 9. – P. 755–759.
398. Subsidence of Stand-Alone Cervical Cages in Anterior Interbody Fusion: Warning / E. Gercek, V. Arlet, J. Delisle, D. Marchesi // *European Spine Journal*. – 2003. – Vol. 12. – № 5. – P. 513–516.
399. Sundaresan, N. A Transsternal Approach to the Upper Thoracic Vertebrae / N. Sundaresan, J. Shah, J.G. Feghali // *American Journal of Surgery*. – 1984. – Vol. 148. – № 4. – P. 473–477.
400. Surgery in the Cervicothoracic Junction with an Anterior Low Suprasternal Approach Alone or Combined with Manubriotomy and Sternotomy: An Approach Selection Method Based on the Cervicothoracic Angle / H. Teng, J. Hsiang, C. Wu [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Spine*. – 2009. – Vol. 10. – № 6. – P. 531–542.
401. Surgical Approaches for the Correction of Unstable Thoracolumbar Burst Fractures: A Retrospective Analysis of Treatment Outcomes / O.A. Danisa, C.I. Shaffrey, J.A. Jane [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 1995. – Vol. 83. – № 6. – P. 977–983.
402. Surgical Approaches to L5 Corpectomy: A Systematic Review / D. D'Aquino, A.M. Tarawneh, A. Hilis [et al.] // *European Spine Journal*. – 2020. – Vol. 29. – № 12. – P. 3074–3079.
403. Surgical Challenges in Posterior Cervicothoracic Junction Instrumentation / A. Balestrino, R. Gondar, G. Jannelli [et al.] // *Neurosurgical Review*. – 2021. – Vol. 44. – № 6. – P. 3447–3458.
404. Surgical Management for Upper Thoracic Spine Tumors by a Transmanubrium Approach and a New Space / Z.M. Xiao, X.L. Zhan, D.F. Gong, S. De Li // *European Spine Journal*. – 2007. – Vol. 16. – № 3. – P. 439–444.
405. Surgical Treatment Alternatives for Fixation of Unstable Fractures of the Thoracic and Lumbar Spine. A Meta-Analysis / C.A. Dickman, M.A. Yahiro, H.T. Lu, M.N. Melkerson // *Spine*. – 1994. – Vol. 19. – Suppl. 20. – P. 2266S–2273S.
406. Surgical Treatment of Tumors Involving the Cervicothoracic Junction / H. Le, R. Balabhadra, J. Park, D. Kim // *Neurosurgical Focus*. – 2003. – Vol. 15. – № 5. – P. E3.

407. Taylor, A.S. Fracture dislocation of the cervical spine / A.S. Taylor // *Annals of Surgery*. – 1929. – Vol. 90. – № 3. – P. 321–340.
408. Temporary Short-Segment Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures: Comparative Study with or without Vertebroplasty / H. Aono, K. Ishii, H. Tobimatsu [et al.] // *The Spine Journal*. – 2017. – Vol. 17. – № 8. – P. 1113–1119.
409. Tender, G.C. Traumatic Spinal Fracture Treated by Vertebroplasty: A Case Report / G.C. Tender, D. Serban // *Journal of Medical Case Reports*. – 2012. – Vol. 6. – Art. 390.
410. The 100 Most-Cited Papers in General Thoracic Surgery: A Bibliography Analysis / H. Ding, X. Song, L. Chen [et al.] // *International Journal of Surgery*. – 2018. – Vol. 53. – P. 230–238.
411. The 50 Most Cited Articles in Invasive Neuromodulation / M. Ward, J. Doran, B. Paskhover, A. Mammis // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 114. – P. e240–e246.
412. The AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System: A Reliability and Agreement Study / P. Azimi, H.R. Mohammadi, S. Azhari [et al.] // *Asian Journal of Neurosurgery*. – 2015. – Vol. 10. – № 4. – P. 282–285.
413. 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.] // *Journal of Neurosciences in Rural Practice*. – 2016. – Vol. 7. – Suppl. 1. – P. S57–S61.
414. The Effect of Spinal Instrumentation on Kinematics at the Cervicothoracic Junction: Emphasis on Soft-Tissue Response in an in Vitro Human Cadaveric Model / R.M. Kretzer, N. Hu, H. Umekoji [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Spine*. – 2010. – Vol. 13. – № 4. – P. 435–242.
415. The Etiology of Missed Cervical Spine Injuries / J.W. Davis, D.L. Phreaner, D.B. Hoyt, R.C. Mackersie // *The Journal of Trauma*. – 1993. – Vol. 34. – № 3. – P. 342–346.
416. The Evaluation of Different Radiological Measurement Parameters of the Degree of Collapse of the Vertebral Body in Vertebral Compression Fractures / W.E. Hsu, K.C. Su, K.H. Chen [et al.] // *Applied Bionics and Biomechanics*. – 2019. – Vol. 2019. – Art. 4021640.

417. The Impact of Magnetic Resonance on the Diagnostic Evaluation of Acute Cervicothoracic Spinal Trauma / A.L. Goldberg, W.E. Rothfus, Z.L. Deeb [et al.] // *Skeletal Radiology*. – 1988. – Vol. 17. – № 2. – P. 89–95.
418. The Influence of Thoracic Inlet Alignment on the Craniocervical Sagittal Balance in Asymptomatic Adults / S.H. Lee, K.T. Kim, E.M. Seo [et al.] // *Journal of Spinal Disorders and Techniques*. – 2012. – Vol. 25. – № 2. – P. E41–47.
419. The Management and Functional Outcome of Isolated Burst Fractures of the Fifth Lumbar Vertebra / J.S. Butler, P. Fitzpatrick, A.M. Ni Mhaolain [et al.] // *Spine*. – 2007. – Vol. 32. – № 4. – P. 443–447.
420. The Neurological Characteristic of Patients with Fractures of Thoracolumbar Junction Presenting in Timisoara County Clinical Emergency Hospital's Emergency Unit / I. Popa, D. Negoescu, M.D. Oprea, D. Andrei // *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. – 2013. – Vol. 23. – Suppl. 1. – S67–70.
421. The Postero-Lateral Approach in the Treatment of Post-Traumatic Canal Stenosis of the Thoraco-Lumbar Spine / A. Cigliano, E. Scarano, R. De Falco, G. Profeta // *Journal of Neurosurgical Sciences*. – 1997. – Vol. 41. – № 4. – P. 387–393.
422. The Radiographic Failure of Single Segment Anterior Cervical Plate Fixation in Traumatic Cervical Flexion Distraction Injuries / M.G. Johnson, C.G. Fisher, M. Boyd [et al.] // *Spine*. – 2004. – Vol. 29. – № 24. – P. 2815–2820.
423. The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System / A.R. Vaccaro, R.J. Hulbert, A.A. Patel [et al.] // *Spine*. – 2007. – Vol. 32. – № 21. – P. 2365–2374.
424. The Surgical Approach to Subaxial Cervical Spine Injuries: An Evidence-Based Algorithm Based on the SLIC Classification System / M.F. Dvorak, C.G. Fisher, M.G. Fehlings [et al.] // *Spine*. – 2007. – Vol. 32. – № 23. – P. 2620–2629.
425. The Vertebral Body Fracture in Osteoporosis: Restoration of Height Using Percutaneous Vertebroplasty / A.B. Dublin, J. Hartman, R.E. Latchaw [et al.] // *AJNR: American Journal of Neuroradiology*. – 2005. – Vol. 26. – № 3. – P. 489–492.
426. Thoracolumbar Burst Fractures in Patients with Neurological Deficit: Anterior Approach versus Posterior Percutaneous Fixation with Laminotomy / S.R. Shin, S.S. Lee,

J.H. Kim [et al.] // *Journal of clinical neuroscience: official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*. – 2020. – Vol. 75. – P. 11–18.

427. Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis on the Anterior and Posterior Approaches / A. Roblesgil-Medrano, E. Tellez-Garcia, L.C. Bueno-Gutierrez [et al.] // *Spine Surgery and Related Research*. – 2022. – Vol. 6. – № 2. – P. 99–108.

428. Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review of Management / K. Alpantaki, A. Bano, D. Pasku [et al.] // *Orthopedics*. – 2010. – Vol. 33. – № 6. – P. 422–429.

429. 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 [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2016. – Vol. 6. – № 1. – P. 80–85.

430. Thoracolumbar Vertebral Injuries with Neurological Deficit Treated with Posterior Decompression, Short Segment Pedicle Screw Fixation, and Interlaminar Fusion / S. Kumar, S. Kumar, R.K. Arya, A. Kumar // *Asian Spine Journal*. – 2017. – Vol. 11. – № 6. – P. 951–958.

431. Titanium vs. Polyetheretherketone (PEEK) Interbody Fusion: Meta-Analysis and Review of the Literature / S. Seaman, P. Kerezoudis, M. Bydon [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2017. – Vol. 44. – P. 23–29.

432. Top 50 Highly Cited Articles on Dual Energy Computed Tomography (DECT) in Abdominal Radiology: A Bibliometric Analysis / B. Gong, Y. Wu, M.E. O'Keeffe [et al.] // *Polish Journal of Radiology*. – 2017. – Vol. 82. – P. 748–759.

433. Top 50 Most-Cited Articles on Craniovertebral Junction Surgery / A. Nima, J.A. Cohen, J. Zhou [et al.] // *Journal of Craniovertebral Junction and Spine*. – 2017. – Vol. 8. – № 1. – P. 22–32.

434. Traditional and Cortical Trajectory Screws of Static and Dynamic Lumbar Fixation- a Finite Element Study / C.W. Liu, L.L. Wang, Y.K. Xu [et al.] // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2020. – Vol. 21. – № 1. – Art. 463.

435. Transpedicular Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Monosegmental Fixation versus Short-Segment Instrumentation / F.X. Wei, S.Y. Liu, C.X. Liang [et al.] // *Spine*. – 2010. – Vol. 35. – № 15. – P. E714–720.
436. Transpedicular Screw Fixation for Traumatic Lesions of the Middle and Lower Cervical Spine: Description of the Techniques and Preliminary Report / K. Abumi, I. Hajime, T. Hiroshi, K. Kaneda // *Journal of Spinal Disorders*. – 1994. – Vol. 7. – № 1. – P. 19–28.
437. Transpedicular Screwing of the Seventh Cervical Vertebra: Anatomical Considerations and Surgical Technique / C. Barrey, F. Cotton, J. Jund [et al.] // *Surgical and Radiologic Anatomy*. – 2003. – Vol. 25. – № 5–6. – P. 354–360.
438. Trans-Upper-Sternal Approach to the Cervicothoracic Junction / Y.L. Liu, Y.J. Hao, T. Li [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 2009. – Vol. 467. – № 8. – P. 2018–2024.
439. Traumatic Dislocation of the Lumbosacral Junction Diagnosis, Anatomical Classification and Surgical Strategy / R. Vialle, S. Charosky, L. Rillardon [et al.] // *Injury*. – 2007. – Vol. 38. – № 2. – P. 169–181.
440. Traumatic Fracture: Dislocation of Cervicothoracic Junction-Grand Round Presentation of C7-T1 Instabilities and Different Instrumentation Techniques / M.A. Alsofyani, Soufiane Ghailane, S. Alsalmi [et al.] // *Case Reports in Orthopedics*. – 2020. – Art. 7578628.
441. Traumatic Lumbosacral Dislocation: Four Cases and Review of Literature / R. Vialle, S. Wolff, F. Pauthier [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 2004. – № 419. – P. 91–97.
442. Traumatic Lumbosacral Dislocation: Report of Two Cases / A.I. Tsirikos, A. Saifuddin, M.H. Noordeen, S.K. Tucker // *Spine*. – 2004. – Vol. 29. – № 8. – P. E164–168.
443. Traumatic Lumbosacral Fracture Dislocation: A Case Report and Review of the Literature / A. Zarrouk, K. Kamoun, M. Karray [et al.] // *Revue de Chirurgie Orthopedique et Reparatrice de l'appareil Moteur*. – 2007. – Vol. 93. – № 7. – P. 730–735.

444. Traumatic Posterior Fracture-Dislocation of the Fifth Lumbar Vertebra: Report of Two Cases with Review of Literature / A. Kashyap, S. Arora, Y. Khan [et al.] // *Spinal Cord Series and Cases*. – 2021. – Vol. 7. – № 1. – Art. 30.
445. Traumatic spondylolisthesis of L5-S1 / P. Barsa, P. Buchvald, P. Suchomel, R. Lukás // *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca*. – 2003. – Vol. 70. – № 2. – P. 121–125.
446. Traumatic Spondyloptosis: A Series of 20 Patients / A. Mishra, D. Agrawal, D. Gupta [et al.] // *Journal of Neurosurgery. Spine*. – 2015. – Vol. 22. – № 6. – P. 647–652.
447. Traumatic Upper Cervical Spinal Fractures in Teaching Hospitals of China over 13 Years: A Retrospective Observational Study / H. Wang, L. Ou, Y. Zhou [et al.] // *Medicine*. – 2016. – Vol. 95. – № 43. – P. e5205.
448. 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 Journal*. – 2018. – Vol. 8. – Suppl. 2. – P. 34S–45S.
449. Treatment of Subaxial Cervical Spinal Injuries / D.E. Gelb, B. Aarabi, S.S. Dhall [et al.] // *Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 72. – Suppl. 2. – P. 187–194.
450. Treatment of Traumatic Thoracolumbar Spine Fractures: A Multicenter Prospective Randomized Study of Operative versus Nonsurgical Treatment / J. Siebenga, V.J. Leferink, M.J. Segers [et al.] // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – № 25. – P. 2881–2890.
451. Treatment of Unstable Thoracolumbar Fractures: Does Fracture-Level Fixation Accelerate the Bone Healing? / Z. Özbek, E. Özkara, H. Öner [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2017. – № 107. – P. 362–370.
452. 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 Neurochirurgica*. – 2016. – Vol. 158. – № 10. – P. 1883–1889.

453. Triantafyllou, S.J. Flexion Distraction Injuries of the Thoracolumbar Spine: A Review / S.J. Triantafyllou, S.D. Gertzbein // *Orthopedics*. – 1992. – Vol. 15. – № 3. – P. 357–364.
454. Ulrich, C. Internal Fixation on the Lower Cervical Spine – Biomechanics and Clinical Practice of Procedures and Implants / C. Ulrich, M. Arand, J. Nothwang // *European Spine Journal*. – 2001. – Vol. 10. – № 2. – P. 88–100.
455. Unilateral Biportal Endoscopic-Guided Transcorporeal Vertebroplasty with Neural Decompression for Treating a Traumatic Lumbar Fracture of L5 / J. Quillo-Olvera, D. Quillo-Olvera, J. Quillo-Reséndiz, M. Barrera-Arreola // *World Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 144. – P. 74–81.
456. Use of the Sagittal Cobb* Angle to Guide the Rod Bending in the Treatment of Thoracolumbar Fractures: A Retrospective Clinical Study (Preprint) / Z. Shi, G. Wang, Z. Jin [et al.] // *Research Square*. – 2020. – Vol. 15. – № 1. – P. 574.
457. Vaccaro, A.R. Clinical Spine Surgery Focus Issue: The Lumbar Spine / A.R. Vaccaro, G.D. Schroeder // *Clinical Spine Surgery*. – 2016. – Vol. 29. – № 7. – Art. 267.
458. Vaccaro, A.R. Diagnosis and Management of Thoracolumbar Spine Fractures / A.R. Vaccaro, D.H. Kim, D.S. Brodke [et al.] // *Instr Course Lect*. – 2004. – Vol. 53. – P. 359–373.
459. Van Pelt, J.F. Some Observations on the Genetics of Gargoylism / J.F. Van Pelt, J. Huizinga // *Human Heredity*. – 1962. – Vol. 12. – P. 1–11.
460. Variations in Surgical Treatment of Cervical Facet Dislocations / A. Nassr, J.Y. Lee, M.F. Dvorak [et al.] // *Spine*. – 2008. – Vol. 33. – № 7. – P. E188–193.
461. Vascular Injuries during Anterior Exposure of the Thoracolumbar Spine / V. Zahradnik, D. Lubelski, K.G. Abdullah [et al.] // *Annals of Vascular Surgery*. – 2013. – Vol. 27. – № 3. – P. 306–313.
462. Vascular Injury during Anterior Exposure of the Spine / A.D. Hamdan, J.Y. Malek, M.L. Schermerhorn [et al.] // *Journal of Vascular Surgery*. – 2008. – Vol. 48. – № 3. – P. 650–654.

463. Vascular Injury in Elective Anterior Lumbosacral Surgery / K.B. Wood, J. Devine, D. Fischer [et al.] // *Spine*. – 2010. – Vol. 35. – Suppl. 9. – P. S66–75.
464. Vernon, H. The Neck Disability Index: A Study of Reliability and Validity / H. Vernon, S. Mior // *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. – 1991. – Vol. 14. – № 7. – P. 409–415.
465. Vertebral Body Spread in Thoracolumbar Burst Fractures Can Predict Posterior Construct Failure / F. De Iure, G. Lofrese, P. De Bonis [et al.] // *Spine Journal*. – 2018. – Vol. 18. – № 6. – P. 1005–1013.
466. Vertebroplasty plus Short Segment Pedicle Screw Fixation in a Burst Fracture Model in Cadaveric Spines / A.J. Grossbach, S.V. Viljoen, P.W. Hitchon [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2015. – Vol. 22. – № 5. – P. 883–888.
467. Vickery, J.W. Crossing the Cervicothoracic Junction: A Review of the Current Literature / J.W. Vickery, E.E. Varas, A.M. Abtahi // *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*. – 2022. – Vol. 35. – № 10. – P. 451–457.
468. Vinz, H. Fractures in the area of the thoracic and lumbar spine in children / H. Vinz // *Zentralbl. Chir.* – 1964. – Vol. 89. – P. 817–827.
469. Visualization of the Cervicothoracic Junction With EOS Imaging Is Superior to Conventional Lateral Cervical Radiographs / B.P. Hirsch, M. Vaynrub, M. Siow [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2021. – Vol. 11. – № 6. – P. 925–930.
470. Vornanen, M.J. Reduction of Bone Retropulsed into the Spinal Canal in Thoracolumbar Vertebral Body Compression Burst Fractures. A Prospective Randomized Comparative Study between Harrington Rods and Two Transpedicular Devices // M.J. Vornanen, O.M. Böstman, P.J. Myllynen // *Spine*. – 1995. – Vol. 20. – № 15. – P. 1699–1703.
471. Wang, P. Biomechanical Finite Element Analysis of Superior Endplate Collapse after Thoracolumbar Fracture Surgery / P. Wang, X. Hu // *Annals of Translational Medicine*. – 2020. – Vol. 8. – № 12. – P. 753.
472. Wang, V.Y. The Cervicothoracic Junction / V.Y. Wang, D. Chou // *Neurosurgery Clinics of North America*. – 2007. – Vol. 18. – № 2. – P. 365–371.

473. Weinstein, A.M. Finite Element Analysis as an Aid to Implant Design / A.M. Weinstein, J.J. Klawitter, S.D. Cook // *Biomaterials, Medical Devices, and Artificial Organs*. – 1979. – Vol. 7. – № 1. – P. 169–175.
474. When Is the Circumferential Stabilization Necessary for Subaxial Cervical Fracture Dislocations? The Posterior Ligament-Bone Injury Classification and Severity Score: A Novel Treatment Algorithm / J.S. Yang, P. Liu, T.J. Liu [et al.] // *Eur Spine J*. – 2021. – Vol. 30. – № 2. – P. 524–533.
475. Which Salvage Fixation Technique Is Best for the Failed Initial Screw Fixation at the Cervicothoracic Junction? A Biomechanical Comparison Study / J.T. Hong, T. Tomoyuki, A. Jain [et al.] // *European Spine Journal*. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 2417–2424.
476. Whitehill, R. Failure of Immobilization of the Cervical Spine by the Halo Vest. A Report of Five Cases / R. Whitehill, J.A. Richman, J.A. Glaser // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. – 1986. – Vol. 68. – № 3. – P. 326–332.
477. Wilson, P.J. C7 Intra-Laminar Screws for Complex Cervicothoracic Spine Surgery-a Case Series / P.J. Wilson, M.D. Selby // *Journal of Spine Surgery (Hong Kong)*. – 2017. – Vol. 3. – № 4. – P. 561–566.
478. Witt, N.A. Die Stabilisierungsoperationen Im Lumbosacralen Übergangsbereich / N.A. Witt // *Langenbecks Arch Klin Chir*. – 1961. – № 298. – P. 204–213.
479. Woodring, J.H. Limitations of Cervical Radiography in the Evaluation of Acute Cervical Trauma / J.H. Woodring, C. Lee // *The Journal of Trauma*. – 1993. – Vol. 34. – № 1. – P. 32–39.
480. Yasuoka, S. Incidence of Spinal Column Deformity after Multilevel Laminectomy in Children and Adults / S. Yasuoka, H.A. Peterson, C.S. MacCarty // *Journal of Neurosurgery*. – 1982. – Vol. 57. – № 4. – P. 441–445.
481. Zehnder, S.W. Teachability and Reliability of a New Classification System for Lower Cervical Spinal Injuries / S.W. Zehnder, C.J. Lenarz, H.M. Place // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2009. – Vol. 34. – № 19. – P. 2039–2043.
482. Zero-Profile Spacer Versus Cage-Plate Construct in Anterior Cervical Discectomy and Fusion for Multilevel Cervical Spondylotic Myelopathy: Systematic Review and

Meta-Analysis / M.J. Tong, G.H. Xiang, Z.L. He [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 104. – P. 545–553.

483. Zhu, Y. Effectiveness and safety of simply anterior approach for lower cervical spine fracture dislocation (Allen-Ferguson II or II type) without spinal cord injury / Y. Zhu, E. Yue, Q. Kong // *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*. – 2016. – Vol. 30. – № 11. – P. 1408–1411.

484. Zoëga, B. Outcome Scores in Degenerative Cervical Disc Surgery / B. Zoëga, J. Kärrholm, B. Lind // *European Spine Journal*. – 2000. – Vol. 9. – № 2. – P. 137–143.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Модификация рейтинга Oxford Centre for Evidence-Based Medicine [116, 247]

Уровень доказательности клинических исследований:

- I – доказательства получены в результате мета-анализа большого числа хорошо спланированных рандомизированных исследований, рандомизированных исследований с низким уровнем ложнопозитивных и ложнонегативных ошибок;
- II – доказательства основаны на результатах не менее одного хорошо спланированного рандомизированного исследования, рандомизированных исследований с высоким уровнем ложнопозитивных и ложнонегативных ошибок;
- III – доказательства основаны на результатах хорошо спланированных нерандомизированных исследований, контролируемых исследований с одной группой больных, исследованиях с группой исторического контроля и т. д.;
- IV – доказательства получены в результате нерандомизированных исследований, не прямых сравнительных исследований, описательно корреляционных исследований и исследованиях клинических случаев;
- V – доказательства основаны на клинических случаях и примерах.

Градация рекомендаций:

- A – данные с доказательностью I уровня или устойчивые многочисленные данные II, III или IV уровней доказательности;
- B – данные с доказательностью II, III или IV уровней, считающиеся в целом устойчивыми;
- C – данные с доказательностью II, III, IV уровней, но данные в целом неустойчивые;
- D – данные со слабыми или несистематическими эмпирическими доказательствами.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Классификация АО/ASIF spine

Таблица Б1 – Классификация АО/ASIF spine повреждений, применимая при травмах С6, С7 позвонков в зависимости от морфологии перелома

Тип и механизм повреждения	Подтип	Подгруппа
<p style="text-align: center;">А Компрессионные повреждения</p>	<p style="text-align: center;">А1 компрессионные переломы</p>	<p>А1.1 Вколоченный перелом замыкательной пластины</p>
		<p>А1.2 Клиновидный вколоченный перелом</p>
		<p>А1.3 Коллапс тела позвонка</p>
	<p style="text-align: center;">А2 Нестабильные оскольчатые переломы</p>	<p>А2.1 Сагиттальный перелом с раскалыванием</p>
		<p>А2.2 Коронарный перелом с раскалыванием</p>
		<p>А2.3 Многооскольчатый (пинчер) перелом</p>
	<p style="text-align: center;">А3 Нестабильные взрывные переломы тел позвонков</p>	<p>А3.1 Неполный взрывной перелом</p>
		<p>А3.2 Взрывной перелом с раскалыванием</p>
		<p>А3.3 Полный взрывной перелом</p>
<p style="text-align: center;">В Компрессионно-дистракционное передних или задних отделов позвоночно-двигательного сегмента</p>	<p style="text-align: center;">В1 Задние связочные повреждения</p>	<p>В1.1 С поперечным разрушением диска</p>
		<p>В1.2 С переломом тела позвонка типа А</p>
		<p>В1.3 Передний подвывих</p>
	<p style="text-align: center;">В2 Задние костные поражения</p>	<p>В2.1 Поперечный перелом обеих колонн</p>
		<p>В2.2 Поперечное разрушение диска</p>
		<p>В2.3 С переломом тела позвонка типа А</p>
	<p style="text-align: center;">В3 Разрыв через диск</p>	<p>В3.1 Гиперэкстензионный подвывих</p>
		<p>В3.2 Гиперэкстензионный спондилолиз</p>
		<p>В3.3 Задний вывих</p>

Продолжение Таблицы Б1

Тип и механизм повреждения	Подтип	Подгруппа
С Компрессионно- дистракционное+ротация позвонка	С1 Перелом типа А с ротацией	С1.1 Ротационный клиновидный перелом
		С1.2 Ротационный перелом с раскалыванием
		С1.3 Ротационный взрывной перелом
	С2 Перелом типа В с ротацией	С2.1 Перелом типа В1 с ротацией
		С2.2 Перелом типа В2 с ротацией
		С2.3 Перелом типа В3 с ротацией
	С3 Ротационно- подвывиховая травма	С3.1 Отрезающий перелом
		С3.2 Косой перелом
		С3.3 Полное отделение смежных позвонков

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Оценка повреждений С6 и С7 позвонков с применением классификации SLIC [178, 423]

<i>Морфологическая структура повреждения</i>	Баллы
Интактный	0
компрессионный перелом	1
взрывной перелом	2
дистракционное повреждение	3
ротационное/сдвиговое повреждение	4
<i>Диско связочный комплекс:</i>	
Интактный	0
неопределенное повреждение	1
повреждение	2
<i>Неврологический статус:</i>	
Интактный	0
повреждение корешка	1
полное повреждение спинного мозга	2
неполное повреждение спинного мозга	3
Нарастание неврологического дефицита	4
<i>Лечение</i>	Сумма
Консервативное (ортез или гало-фиксация)	<4
Хирургическое (декомпрессивно-стабилиз. или стабилизирующее вмешательство)	≥4

ПРИЛОЖЕНИЕ Г**Шкала Американской ассоциации анестезиологов (ASA)**

Класс*	Физический статус
1	Здоровый
2	Легкая системная патология
3	Тяжелая системная патология, ограничивающая активность, но не угрожающая жизни
4	Тяжелая системная патология, угрожающая жизни
5	Высока вероятность гибели пациента в течение 24 ч после операции или без нее

Примечание: * – при срочных вмешательствах добавляется E к номеру класса

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Опросник Освестри (версия 2.1А)

Этот опросник разработан специально для того, чтобы дать нам информацию, насколько Ваша боль в спине, пояснице (ноге) ограничивает Вашу жизнедеятельность.

Пожалуйста, заполните каждый раздел.

В каждом разделе отметьте только одно утверждение, точнее всего соответствующее Вашему состоянию на сегодня.

1. Интенсивность боли.

- В настоящий момент у меня нет боли.
- В настоящий момент боль очень легкая.
- В настоящий момент боль умеренная.
- В настоящий момент боль довольно сильная.
- В настоящий момент боль очень сильная.
- В настоящий момент боль наихудшая из всех болей, которые только можно себе представить.

2. Самообслуживание (умывание, одевание и т. д.).

- Я могу обслуживать себя нормально без особой боли.
- Я могу обслуживать себя нормально с некоторой болью.
- Самообслуживание причиняет мне боль; я медлителен и осторожен.
- Я нуждаюсь в некоторой помощи, но в основном справляюсь самостоятельно.
- Чтобы обслужить себя, я нуждаюсь в ежедневной помощи.
- Я не могу одеться, с трудом умываюсь и остаюсь в постели.

3. Поднимание предметов.

- Я могу поднимать тяжелые предметы без особой боли.
- Я могу поднимать тяжелые предметы с некоторой болью.
- Боль мешает мне поднимать тяжелые предметы с пола, но я могу справиться, если они расположены удобно, например – на столе.
- Боль мешает мне поднимать тяжелые предметы с пола, но я могу справиться с легкими предметами или предметами средней тяжести, если они удобно расположены.
- Я могу поднимать только очень легкие предметы.
- Я вовсе не могу ни поднять, ни перенести что-либо.

4. Ходьба.

- Боль не мешает мне ходить на любые расстояния.
- Боль мешает мне ходить на расстояние больше 1 км.
- Боль мешает мне ходить на расстояние больше 500 метров.
- Боль мешает мне ходить на расстояние больше, чем 100 метров.
- Я могу ходить, только опираясь на трость, костыли или ходунки.
- Я с трудом добираюсь до туалета и большую часть времени остаюсь в постели.

5. Сидение.

- Я могу сидеть на любом стуле столько, сколько захочу.
- Я могу сидеть столько, сколько захочу, только на моем любимом стуле.
- Боль мешает мне сидеть больше 1 часа.
- Боль мешает мне сидеть больше 30 минут.
- Боль мешает мне сидеть больше 10 минут.
- Из-за боли я вообще не могу сидеть.

6. Стояние.

- Я могу стоять столько, сколько захочу, без особой боли.
- Я могу стоять столько, сколько захочу, с некоторой болью.
- Боль мешает мне стоять больше 1 часа.
- Боль мешает мне стоять больше 30 минут.
- Боль мешает мне стоять больше 10 минут.
- Из-за боли я вообще не могу стоять.

7. Сон.

- Мой сон никогда не прерывается из-за боли.
- Иногда мой сон прерывается из-за боли.
- Из-за боли я сплю меньше 6 часов.
- Из-за боли я сплю меньше 4 часов.
- Из-за боли я сплю меньше 2 часов.
- Из-за боли я вообще не могу уснуть.

8. Сексуальная жизнь (если приемлемо).

- Моя сексуальная жизнь нормальна и не причиняет особой боли.
- Моя сексуальная жизнь нормальна, но причиняет небольшую боль.
- Моя сексуальная жизнь почти нормальна, но очень болезненна.
- Моя сексуальная жизнь сильно ограничена болью.
- Из-за боли я почти лишен/лишена сексуальной жизни.
- Боль лишает меня сексуальной жизни.

9. Образ жизни.

- Я веду активный образ жизни без особой боли.
- Я веду активный образ жизни с некоторой болью.
- Боль не особенно влияет на мой образ жизни, но ограничивает наиболее активную деятельность, например – занятия спортом и т. п.
- Из-за боли моя активность ограничена; я выхожу из дома реже, чем обычно.
- Из-за боли моя активность ограничена пределами дома.
- Из-за боли моя активность полностью ограничена.

10. Поездки, путешествия.

- Я могу поехать куда угодно без боли.
 - Я могу поехать куда угодно с некоторой болью.
 - Боль довольно сильная, но я могу выдержать двухчасовую поездку.
 - Из-за боли я могу выдержать поездку, длящуюся не больше 1 часа.
 - Из-за боли я могу выдержать поездку, длящуюся не больше 30 минут.
 - Я могу доехать только до врача или до больницы.
-

Степень ограничения жизнедеятельности оценивают в баллах или в процентах. Каждому утверждению присваивают балл от 0 (ограничения нет) до 5 (ограничение максимальное). Минимальное число баллов для всего опросника = 0; максимальное = 50. При оценке в процентах минимальное значение = 0%, а максимальное = 100%. Для оценки ограничения жизнедеятельности при заполнении пациентом всех 10 разделов число баллов суммируют и вычисляют общий балл. Если один из 10 разделов пропущен (чаще всего – «Сексуальная жизнь»), то сумму баллов, полученных при заполнении девяти разделов, делят на 45 (максимальное число баллов, которое можно набрать, заполнив 9 разделов опросника) и умножают на 100% [85, 207].

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Опросник NDI (Neck Disability Index)

В опросник NDI [464, 484] входит 10 разделов, включающих в себя жалобы пациента и нарушения в сферах самообслуживания, бытовой и трудовой активности, отдыха. Баллы в каждом разделе суммируются, максимальное число баллов равно 50. При 0–4 баллах – нет нарушений; при 5–14 – легкие нарушения; 15–24 – умеренные; 25–34 – тяжелые; при 34–50 баллах – функция нарушена полностью.

Раздел 1. Интенсивность болей

- A. У меня нет сейчас болей в шее
- B. У меня есть легкие боли шее
- C. Боли непостоянны и умеренны
- D. Боли умеренные, постоянные
- E. Боли сильные, непостоянные
- F. Боли сильные и постоянные

Раздел 2. Самообслуживание

- A. Я могу обслуживать себя без появления дополнительных болей
- B. Я могу обслуживать себя нормально, но это вызывает появление болей
- C. Самообслуживание болезненно, и мне приходится быть медлительным
- D. Я нуждаюсь в некоторой помощи для того, чтобы справиться с самообслуживанием
- E. Я нуждаюсь в ежедневной помощи по большинству вопросов.
- F. Я не могу одеваться, умываюсь с трудом и нахожусь в постели

Раздел 3. Поднятие тяжестей

- A. Я могу поднимать тяжести без появления дополнительных болей
- B. Я могу поднимать тяжести, но это вызывает появление болей
- C. Боли не дают мне поднимать тяжелые предметы с пола, но я могу опереться
- D. Боли не дают мне поднимать предметы с пола, но я могу поднять легкие предметы.
- E. Я могу поднимать только легкие предметы
- F. Я не могу поднимать или переносить предметы

Раздел 4. Чтение

- A. Я могу читать столько, сколько захочу
- B. Я могу читать столько, сколько захочу с легкой болью в шее
- C. Я могу читать столько, сколько захочу с умеренной болью в шее
- D. Я не могу читать столько, сколько захочу из-за умеренной боли в шее
- E. Я не могу читать столько, сколько захочу из-за сильной боли в шее
- F. Я не могу читать совсем

Раздел 5. Головная боль

- A. У меня нет головных болей
- B. У меня не часто бывают слабые головные боли
- C. У меня бывают нечастые умеренные головные боли
- D. У меня часто бывают умеренные головные боли
- E. У меня часто бывают сильные головные боли
- F. Голова болит постоянно

Раздел 6. Концентрация внимания

- A. Я могу полностью сосредотачиваться на чем-либо без особых трудностей
- B. Я могу полностью сосредотачиваться на чем-либо с некоторыми трудностями
- C. У меня есть умеренные трудности в сосредоточении на том, что я хочу
- D. У меня есть значительные трудности в сосредоточении на том, что я хочу
- E. У меня есть очень большие трудности в сосредоточении на том, что я хочу
- F. Я не могу сосредоточиться совсем

Раздел 7. Работа

- A. Я могу работать столько, сколько мне нужно
- B. Я могу делать только свою обычную работу, не более
- C. Я могу делать большую часть своей обычной работы, не более
- D. Я не могу делать свою обычную работу
- E. Я с трудом делаю какую-либо работу
- F. Я не могу работать совсем

Раздел 8. Вождение

- A. Я занимаюсь вождением автомобиля без болей в шее
- B. Я могу водить машину столько, сколько мне нужно со слабой болью в шее
- C. Я могу водить машину столько, сколько мне нужно с умеренной болью в шее
- D. Я не могу водить машину столько, сколько мне нужно из-за умеренной боли в шее
- E. Я с трудом могу водить машину из-за сильной боли в шее
- F. Я не могу водить машину совсем

Раздел 9. Сон

- A. Я сплю хорошо
- B. Мой сон слегка нарушен (менее чем один час бессонницы)
- C. Мой сон немного нарушен (менее чем два часа бессонницы)
- D. Мой сон умеренно нарушен (2-3 часа бессонницы)
- E. Мой сон сильно нарушен (3-5 часов бессонницы)
- F. Мой сон полностью нарушен (5-7 часов бессонницы)

Раздел 10. Отдых

- A. Я могу отдыхать и развлекаться без боли в шее
- B. Я могу отдыхать и развлекаться с некоторой болью в шее
- C. Я могу отдыхать и развлекаться из-за болей в шее с небольшими ограничениями
- D. Я могу отдыхать и развлекаться с большими ограничениями из-за болей в шее
- E. Я с большим трудом делаю что-то для своего отдыха и развлечения из-за болей
- F. Я не могу отдыхать и развлекаться совсем