

*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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора медицинских наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный консультант:**

доктор медицинских наук, профессор

**Норкин Игорь Алексеевич**

**Официальные оппоненты:**

**Виссарионов Сергей Валентинович** – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, директор

**Кулешов Александр Алексеевич** – доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 14-е травматолого-ортопедическое отделение (вертебрологии), заведующий отделением

**Млявых Сергей Геннадьевич** – доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра травматологии, ортопедии и нейрохирургии им. М.В. Колокольцева, доцент кафедры

**Ведущая организация:** Государственное автономное учреждение здравоохранения Свердловской области «Центр специализированных видов медицинской помощи «Уральский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина»

Защита диссертации состоится «24» июня 2024 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.26 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119991, г. Москва, ул. Большая Пироговская д. 2, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д.37/1) и на сайте организации: <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор медицинских наук, профессор

**Тельпухов Владимир Иванович**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

В мире ежегодно повреждения позвоночника получают более чем 5 миллионов человек (Виссарионов С.В. и соавт., 2020; Heary R.F. et al., 2018). Пострадавшие, как правило, мужчины трудоспособного возраста (Wang H. et al., 2016). В Российской Федерации при скелетной травме причиной стойкой утраты трудоспособности в 20,6% случаев является повреждение позвоночника (Крылов В.В. и соавт., 2013; Гаркави А.В. и соавт., 2022; Млявых С.Г. и соавт., 2023). Неосложненные повреждения позвоночного столба приводят к стойкой инвалидизации в 31–33,3%, а при позвоночно-спинномозговой травме данный показатель составляет 83–100% (Макаревич С.В. и соавт., 2015; Рерих В.В. и соавт., 2021). Чаще 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 (Боков А.Е. и соавт., 2020; Афаунов А.А. и соавт., 2022; Kato S. et al., 2017). Несвоевременная или неадекватная хирургической помощь снижает шансы на регресс неврологической симптоматики. Меньшая частота встречаемости повреждений шейногрудного и поясничнокрестцового отделов «компенсируется» технической сложностью реконструктивных вмешательств (Бердюгин К.А. и соавт., 2019; Кулешов А.А. и соавт., 2023).

Переходные отделы позвоночника – отделы, расположенные на стыке противоположно направленных сагиттальных изгибов позвоночника, на границе ригидных и мобильных отделов позвоночника, обладающие уникальными особенностями биомеханики, анатомии и испытывающие повышенные механические нагрузки. Отсутствует терминологическое единство в отечественной и зарубежной литературе, посвященной переходным отделам позвоночного столба, что говорит о недостаточной систематизации данных о патологии и методиках реконструктивной хирургии шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового переходных отделов позвоночника. С восьмидесятых годов XX века в литературе продолжают дискуссии о тактике хирургического лечения пациентов с травмой грудопоясничного переходного отдела позвоночника. Повод для полемики – противоречивые сведения о сопоставимости отдаленных функциональных результатов хирургического и консервативного лечения подобных повреждений (Kato S. et al., 2017). Мнения разнятся от отсутствия необходимости в оперативном пособии при неосложненных повреждениях в связи с неубедительностью его эффективности по сравнению с корсетотерапией до позиции авторов оперировать все травмы для профилактики возникновения отсроченного неврологического дефицита (Denis F., 1996; Siebenga J. et al., 2006; Gnanenthiran S.R. et al., 2012).

Выбор оптимальной хирургической методики, особенно при значительной потере высоты передней колонны и выраженной кифотической деформации, остается дискуссионным (Jindal R. et al., 2020; Кароен С. et al., 2020). Высоким остается риск развития осложнений (до 60% случаев), связанных с развитием нестабильности металлофиксации до образования костного блока (Liao J.C., Fan K.F., 2017; De Iure F. et al. 2018;). Недостаточная освещенность в литературе, особенно в отечественной, алгоритмов выбора оптимальной протяженности и методики фиксации при повреждениях переходного грудопоясничного отдела дает основание продолжать исследования в данном направлении.

Изолированная травма шейногрудного перехода (ШГП) – редкая патология. По данным различных авторов переломы ШГП составляют от 2 до 17% всех переломов шейного отдела позвоночника (Goldberg A.L. et al., 2001; Miller M.D. et al., 2012; Feuchtbaum et al., 2016; Bayoumi A.V. et al., 2018). Опубликовано небольшое количество работ, посвященных хирургическому лечению травмы ШГП, и в большинстве случаев – это клинические примеры или малые серии пациентов (Бурцев А.В., 2019; Amin A. et al., 2005; Bayoumi A.V. et al., 2018). Тактика лечения травмы ШГП до сих пор остается дискуссионной. Продолжают разрабатываться способы доступа к ШГП и различные стабилизирующие конструкции, аккумулируется клинический опыт для оценки отдаленных результатов. Все это позволяет продолжать считать изучение травм ШГП актуальной научной проблемой.

Распространенность повреждений поясничнокрестцового переходного отдела также невелика (1,6% всех повреждений позвоночника) (Meyer M. et al., 2020). Информация, как правило, представлена описанием единичных клинических случаев или серий из 3–5 пациентов (Слиняков Л.Ю. и соавт., 2017; Ветрилэ М.С. и соавт., 2021; Barsa P. et al., 2003; Butler J.S. et al., 2007; Padalkar P. et al., 2014). На сегодняшний день нет единообразия во взглядах на тактику лечения пациентов с изолированным повреждением L5 позвонка (Zeng Z.Y. et al., 2014; Кулешов А.А. и соавт., 2023). Серьезной проблемой видится значительный риск развития таких осложнений, как псевдоартроз, потеря коррекции и повреждение магистральных сосудов. Несостоятельность металлоконструкции и миграция опорного имплантата – основная причина неудовлетворительных результатов переднего спондилодеза. Общая частота повреждения сосудов при переднем доступе к телу L5 позвонка колеблется от 7,9 до 13,8% (Близнец Д.Г. и соавт., 2019; Hamdan A.D. et al., 2008; Quraishi N.A. et al., 2013). Ограничено количество работ, сравнивающих безопасность и эффективность использования только переднего, заднего или комбинированного доступов при травме L5 (Vazan M. et al., 2017; Bogdan L., Galgano M., 2020).

## **Степень разработанности темы исследования**

В настоящее время одним из приоритетных направлений исследований является поиск предикторов риска развития нестабильности металлоконструкций и подбора оптимальной системы фиксации с учетом биомеханических преимуществ тех или иных конструкций. В отечественных и зарубежных источниках не обнаружено работ, посвященных компьютерному моделированию всех позвоночно-двигательных сегментов переходных отделов позвоночника с оценкой напряжений и перемещений в них в норме и при повреждающих нагрузках. Отсутствие большого мирового коллективного клинического опыта хирургии шейногрудного и поясничнокрестцового переходных отделов делает биомеханическое моделирование полезным для анализа различных вариантов лечения, применения различных медицинских технологий, оценки предикторов возможных осложнений при редких вариантах травм.

Следует подчеркнуть, что, учитывая сложность топографической анатомии переходных отделов позвоночника, высокие требования к стабильности спондилосинтеза ввиду повышенных нагрузок на оперированные сегменты, значительный риск осложнений при проведении ревизионных операций, задачей хирурга становится выбор оптимального способа хирургического вмешательства. Многие аспекты спондилосинтеза переходных отделов позвоночника требуют дальнейшей разработки. В последнее время компьютерное моделирование 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. Выделенные проблемные ситуации отражают недостаточную степень разработанности и актуальность темы 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 персонализированного 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 персонифицированный 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 следствие, 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 «Eurospline» (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.

## **Объем и структура работы**

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 использованной 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).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материалы и методы исследования**

Поставленные общие цели и задачи решены отдельно для каждого переходного отдела в отдельной главе с небольшими изменениями, учитывая анатомические особенности и различия в хирургической тактике при травме различных зон позвоночника. Объектом исследования были пациенты с повреждениями переходного шейногрудного (C7-Th1), грудопоясничного (Th11-L2) и поясничнокрестцового (L5-S1) переходных отделов позвоночника, оперированных с 2010 по 2021 гг. В каждой главе 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. Также в каждой главе на базе данных КТ типичных пациентов каждой из групп проведено биомеханическое моделирование для оценки напряжений и перемещений в норме, при травме и при применении различных методик стабилизации позвоночника. Дизайн проведенных исследований представлен на Рисунках 1–3. В 3 главу также вошло исследование нового рентгенологического показателя (грудинно-шейный угол) для предоперационного планирования оптимального хирургического доступа к C7-Th2 позвонкам без манубриотомии и стернотомии (Рисунок 1). В 4 главу вошло дополнительное исследование эффективности применения нового алгоритма лечения (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Дизайн исследования пациентов с повреждениями шейногрудного отдела позвоночника



Рисунок 2 – Дизайн исследования пациентов с повреждениями переходного грудного отдела позвоночника.



Рисунок 3 – Дизайн исследования пациентов с повреждениями переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника.

### Характеристика пациентов

Общая характеристика включенных в исследование пациентов приведена в Таблице 1. В основную клиническую часть исследования были включены 365 больных с повреждениями переходных отделов позвоночника. Медиана возраста пациентов составила 36 лет (28–46, 25-й и 75-й перцентили). Лиц мужского пола было 251 (68%), женского – 114 (32%). *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 отделов позвоночника. Соматический статус включенных в исследование пациентов соответствовал ASA I–III. *Критерии не включения* были следующие: стабильные (A0, A1 переломы позвонков), тяжелые соматические заболевания, требующие интенсивной корректирующей терапии; многоуровневые повреждения; остеопороз; выраженный дегенеративный лордоз, кифоз или сколиоз; патологический перелом; активный инфекционный процесс; сросшийся перелом (срок травмы более 40 дней); оперированный в анамнезе позвоночник. Изучали клиническую картину заболевания, данные рентгенографии, КТ и МРТ позвоночника до и после хирургического лечения, оценивали параметры операций, факторы риска и характер послеоперационных осложнений.

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 груднопоясничного отдела (n=273) нестабильность металлофиксации выявлена у 49 (18%) пациентов, посттравматический остеронекроз – у 9 пациентов (3%). При изолированной травме L5 позвонка с 2010 по 2020 гг. мы наблюдали 58 пациентов, 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 1).

Таблица 1 – Общая характеристика всех больных, включенных в исследование

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

Помимо перечисленных выше исследований в работу вошло анатомическое исследование параметров сагиттального баланса и параметров входа в грудную клетку по данным базы КТ исследований случайных пациентов (n=84). 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.

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 металлоконструкции и анатомических особенностей входа в грудную клетку. Мы провели дополнительное ретроспективное сравнительное исследование результатов применения нового алгоритма (n=60) и стандартного алгоритма (n=100) у пациентов с травмой грудопоясничного перехода.

### **Методы обследования**

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. Одним из критериев невключения было наличие неврологического дефицита. Для однотипной интерпретации данных неврологического обследования использовали градацию классификационной системы AOSpine. Состояние пациентов в контексте общесоматического статуса оценивали при поступлении по шкале ASA (I–V). Учитывая особенности стационара (плановая госпитализация пациентов), все вошедшие в исследование пациенты принадлежали к первым трем классам. Использовались методы интраскопической визуализации (рентгенография в 2 проекциях, компьютерная томография, денситометрия (подтверждение отсутствия дефицита минеральной плотности костной ткани). Помимо стандартных рентгенологических параметров мы предложили способ определения высоты тела L5 позвонка при изолированных оскольчатых переломах, защищенный патентом на изобретение RU2772644C1. Также нами предложен способ новый рентгенологический показатель – грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle) для оценки возможности осуществления доступа к C7, Th1 и Th2 позвонкам без манубриотомии.

Для определения морфологического типа повреждения применяли разработанный справочник-переходник по классификациям переломов AO/ASIF и AOSpine (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, Номер свидетельства: RU 2019665103). 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 (Рисунок 4.). Применение справочника-переходника позволило уменьшить количество расхождения диагноза с 25% (68 случаев из 273) до 5% (8 случаев из 160).

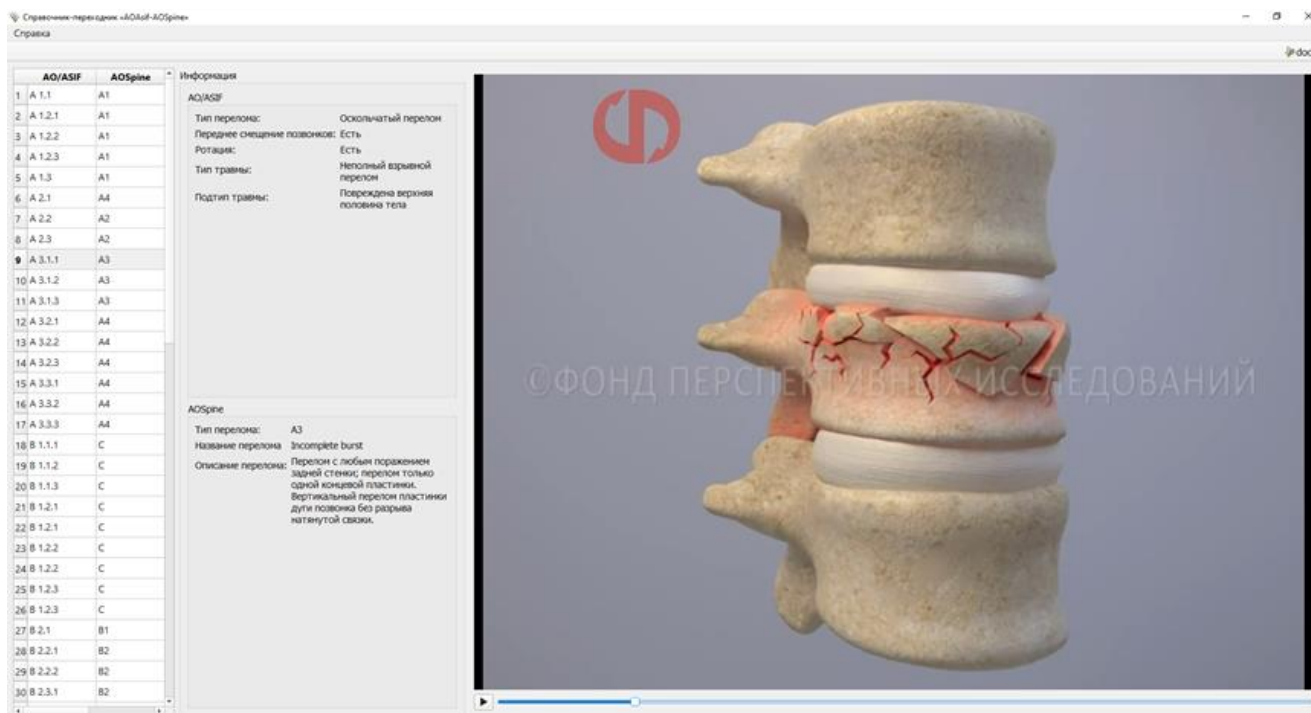


Рисунок 4 – КТ поврежденного L1 позвонка. Тип A3 по классификации AOSpine. Справочник-переходник с трехмерным изображением данного типа повреждения

### Биомеханическое моделирование

Как метод оценки биомеханики интактного, поврежденного и инструментированного позвоночника применялось компьютерное биомеханическое моделирование, основанное на методе конечных элементов. Исследование проводилось 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 данные КТ 20 добровольцев с интактными позвоночно-двигательными сегментами C1-Th10, Th10-L4 и L4-L5-S1 и пациентов с повреждениями шейногрудного (n=10), грудопоясничного (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. 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, межпозвоночные диски, фасеточные суставы и связки. Проведены расчеты биомеханических моделей в системе Ansys Workbench под действием осевой нагрузки, а также изгибающих и скручивающих моментов. С использованием построенных твердотельных трехмерных моделей переходных сегментов позвоночника и имплантатами созданы биомеханические модели. Оценена эффективность



различных методик в отношении механической стабильности систем различной компоновки. На Рисунке 5 представлены этапы биомеханического моделирования инструментированного позвоночника.

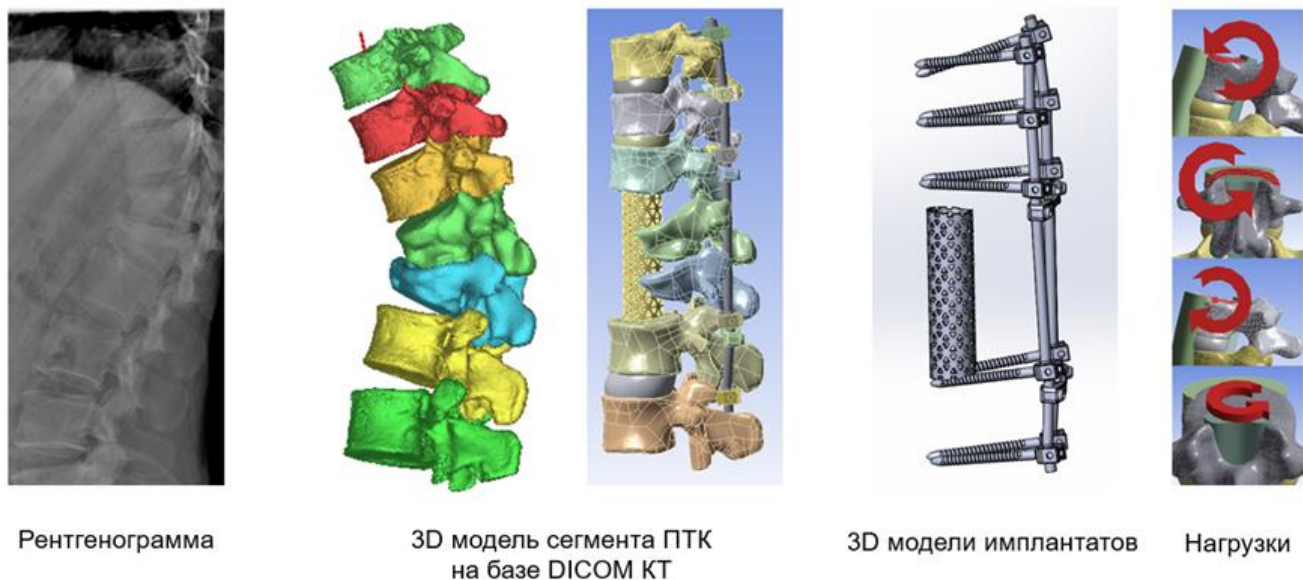


Рисунок 5 – Этапы биомеханического моделирования инструментированного позвоночника

Схематично пример результатов биомеханического моделирования представлен на Рисунке 6. Заведомо «не оптимальная» компоновка фиксирующей системы. Присутствует цветовая индикация перегруженных участков фиксирующей системы.

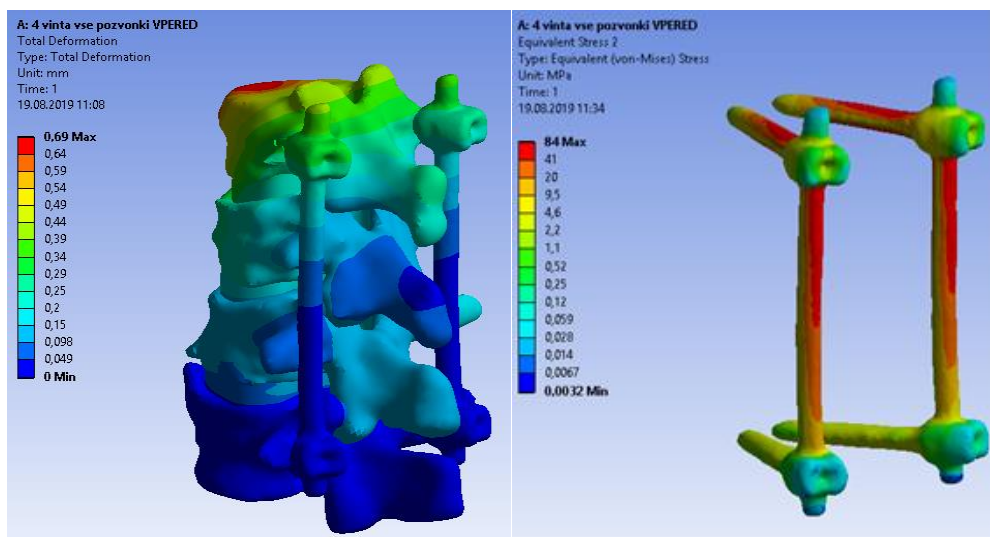


Рисунок 6 – Пример результатов биомеханического моделирования инструментированного позвоночника

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 регистрации базы данных RU 2019622195, 27.11.2019. Заявка № 2019622072 от 13.11.2019) для упрощения моделирования металлоконструкций.

### Характер выполненных хирургических вмешательств

Во всех случаях использованы имплантаты производителей Ulrich, Prospan, Medtronic, все операции выполнены двумя бригадами хирургов. Диаметр стержней 5,5 мм, диаметр и длина винтов соответствовали морфологии инструментируемых позвонков. Для переднего опорного спондилодеза использовали титановые имплантаты типа MESH и имплантаты для ALIF. Для костно-пластических целей использовали аутокость и синтетические остеозамещающие материалы одного производителя. Вмешательства проводили под комбинированной (ТВА+ИВЛ) анестезией. Интраоперационный контроль проводился стандартным ЭОП (С-дуга). Распределение пациентов включенных в ретроспективное исследование факторов риска по типам вмешательств при повреждениях переходных отделов позвоночника представлено в Таблице 2.

Таблица 2 – Проведенное лечение при повреждениях шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового отделов позвоночника

Отдел	Тип операции	n (%)
Шейногрудной, n=34	Передняя шейная корпорэктомия и фиксация пластиной	26 (76%)
	Передняя шейная дискэктомия и фиксация пластиной	4 (12%)
	Комбинированное симульатное вмешательство (вентральный спондилодез+задняя винтовая фиксация в боковые массы позв.)	4 (12%)
Грудопоясничной, n=273	ТПФ 4 винта	132 (48%)
	ТПФ 8 винтов	50 (18%)
	ТПФ 6 винтов	19 (7%)
	Комбинированное симульатное вмешательство (ТПФ+вентральный спондилодез)	34 (12%)

## Продолжение Таблицы 2

Отдел	Тип операции	n (%)
Груднопоясничный, n=273	Комбинированное отсроченное вмешательство (ТПФ+вертебропластика и вентральный спондилодез)	11 (4%)
	Изолированный вентральный спондилодез	27 (10%)
Поясничнокрестцовый, n=58	Без операции, ортезирование	12 (21%)
	ТПФ 4 винта	27 (46%)
	Циркулярный спондилосинтез (ТПФ+передний опорный корпородез)	19 (33%)

Из 365 пациентов разработанные нами авторские методики операций были применены в 147 наблюдениях (40,2% случаев) (Таблица 3).

Таблица 3 – 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 ( <b>патент RU2436534C1, RU 99316 U1</b> ) (n = 4)	Способ выбора тактики лечения при изолированных оскольчатых переломах тела L5 позвонка ( <b>патент RU2779995</b> ) (n=9)
Определение грудинношейного угла (SCA) (n = 19)	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная одним промежуточным винтом ( <b>патент RU 2717922C1</b> ) (n = 47)	Способ индивидуального определения должной высоты тела L5 позвонка ( <b>патент RU2772644C1</b> ) (n = 22)
	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная промежуточными винтами (при переломах типа А2 с сагиттальным раскалыванием) ( <b>патент RU2478342C1</b> ) (n = 3)	
	6-и винтовая полисегментарная транспедикулярная фиксация (n=19)	
	Бисегментарная транспедикулярная фиксация, дополненная провизирной вертебропластикой ( <b>патент RU 2717921C1</b> ) (n = 19)	
<b>33 пациента</b>	<b>73 пациента</b>	<b>41 пациент</b>

Помимо перечисленных в таблице операций, включенных в ретроспективный анализ, выполнено исследование с проспективно набранной группой пациентов для оценки эффективности применения нового алгоритма лечения травмы груднопоясничного отдела (n=60).

В группе применения алгоритма с большей частотой применяли комбинированное симультанное дорсально-вентральное вмешательство и вентральный спондилодез, учитывая выявленные предикторы остеонекроза. Также чаще применяли промежуточную фиксацию у пациентов с выявленными предикторами несостоятельности металлоконструкции, однако различия не были статистически значимыми.

### **Методы статистического анализа**

Статистический анализ данных проведен с применением SPSS 21.0 (USA) и Microsoft Excel 2010. Для оценки нормальности распределения количественных признаков использовали методы Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. 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. 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. Для выявления порога значимых значений количественных признаков строили ROC-кривые с оценкой индекса Юдена. Для создания бальной шкалы факторов риска применяли анализ с получением нормированных коэффициентов канонической дискриминантной функции. Статистически значимым считали результаты при  $p < 0,05$ , для всех критериев оценивали двустороннюю значимость. Применяли поправка Бонферрони ( $\alpha = 0,05/3$ ,  $p < 0,017$ ).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ 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.

В Главе 1 представлен систематический анализ данных литературы по проблеме хирургического лечения повреждений переходных отделов позвоночника. Подробно описаны

современные представления о терминологических особенностях вопроса, анатомии, эпидемиологии, этиологии и патогенезе повреждений переходных шейногрудного, грудопоясничного и поясничнокрестцового отделов, приведены основные классификации их повреждений. Анализ литературных данных позволил определить количество позвонков, включенных в переходные отделы. Обозначены известные методики хирургической реконструкции переходных зон позвоночника. Рассмотрены клинические и биомеханические преимущества и недостатки методик. Обращает на себя внимание отсутствие общепринятого алгоритма хирургической реконструкции переходных отделов позвоночника. Изучены описанные в доступной литературе способы оценки биомеханики инструментированного позвоночника. Перспективным видится использование компьютерного биомеханического моделирования, основанного на методе конечных элементов. Все точки над «і» в вопросе применения данной технологии в практическом предоперационном планировании еще не расставлены. На сегодняшний день биомеханическое моделирование не может полностью заменить клинические исследования. Ввиду значимых противоречий при соотнесении результатов биомеханического моделирования с клиническими данными – одна из приоритетных задач современной медицинской науки.

Третья глава исследования посвящена биомеханическому моделированию ШГП, планированию оптимального доступа к данной зоне, определению факторов риска несостоятельности фиксации и оптимизации на базе полученных данных алгоритма хирургической реконструкции при повреждениях ШГП.

Для решения поставленных в работе задач созданы трехмерные геометрические твердотельные модели переходного шейногрудного отдела позвоночника в норме и при патологии. При анализе модели шейногрудного отдела 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 металлоконструкции при остеосинтезе переломов ШГП. И, соответственно, необходимость хорошей визуализации нижнего позвонка, что зачастую затруднительно в этой области.

Проведено биомеханическое моделирование различных вариантов инструментирования: переднего спондилодеза при переломе С7 позвонка типа А с фиксацией пластиной с различными вариантами расположения винтов и установленным межтеловым заменителем MESH. Проведено 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. При обоих вариантах травм ШГП (тип А и С по классификации AOSpine) 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).

Выполнено биомеханическое моделирование переднего спондилодеза при переломе С7 позвонка с применением различных диаметров MESH. Выявлено, что применение MESH максимального диаметра (13 мм) дает наименьшие перемещения и эквивалентные напряжения в зафиксированном участке позвоночника, что говорит о более высокой стабильности данного варианта.

Выполнено биомеханическое моделирование комбинированного переднего спондилодеза, дополненного дорсальной фиксацией при переломе С7 позвонка типа А, а также моделирование комбинированного переднего спондилодеза и ТПФ при повреждении С7-Th1 типа С после спондилосинтеза. При анализе напряженно-деформированного состояния моделей переломов типа А и типа 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. По результатам моделирования выявлено, что дополнительная установка дорсальной конструкции в позвонки С6-Th1 вместе 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.

Нами был предложен новый рентгенологический показатель – грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle) для оценки возможности выполнения доступа к ШГП без манубриотомии (Рисунок 7). 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 С7, Th1 и Th2 позвонков, соответственно. Определили, что доступ к С7 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.

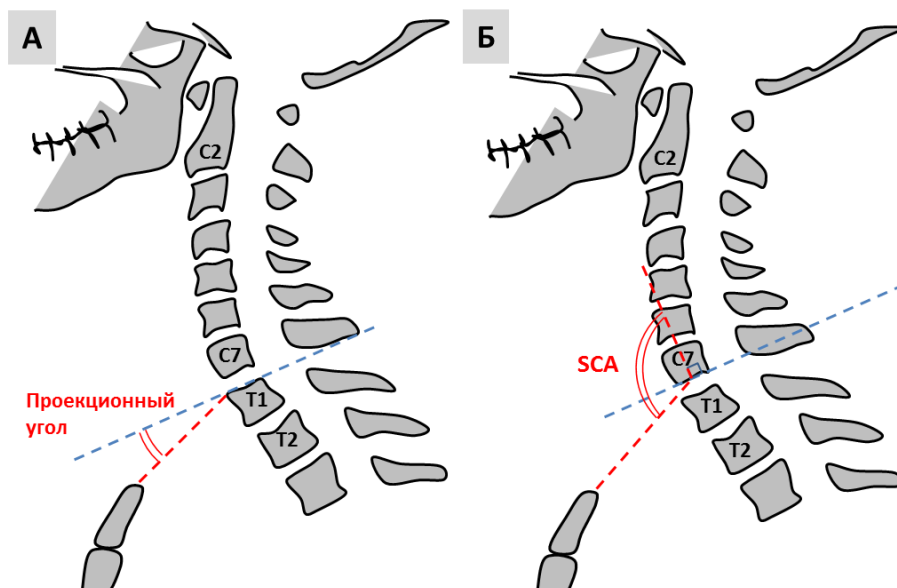


Рисунок 7 – А. Проекционный угол – угол, образуемый линией, проходящей вдоль верхней замыкательной пластинки тела позвонка (C7-Th2), и линией, проходящей от передневерхнего угла тела позвонка к рукоятке грудины. Б. Грудинно-шейный угол (SCA – sternocervical angle) – угол, образуемый линией перпендикулярной нижней замыкательной пластинки C7 позвонка и линией, проходящей от середины нижней замыкательной пластины C7 позвонка к рукоятке грудины

В нашем исследовании выявлена зависимость грудинно-шейного 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 металлоконструкции. 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°).

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. Кроме того, мы обратили внимание на особенности выполнения переднего доступа к ШГП при анатомических вариациях 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.

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. Частота нестабильности при хирургии шейногрудного перехода варьирует от 2,3% до 9,1%. В 4 случаях несостоятельность металлоконструкции 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 (Ластевский А.Д. и соавт., 2020; Ramieri A. et al., 2011; Steinmetz M.P. et al., 2020).

Клиническое исследование подтвердило преимущество разнонаправленного введения фиксирующих винтов. Данную методику мы применили у 14 (50%) пациентов (Рисунок 8). 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).



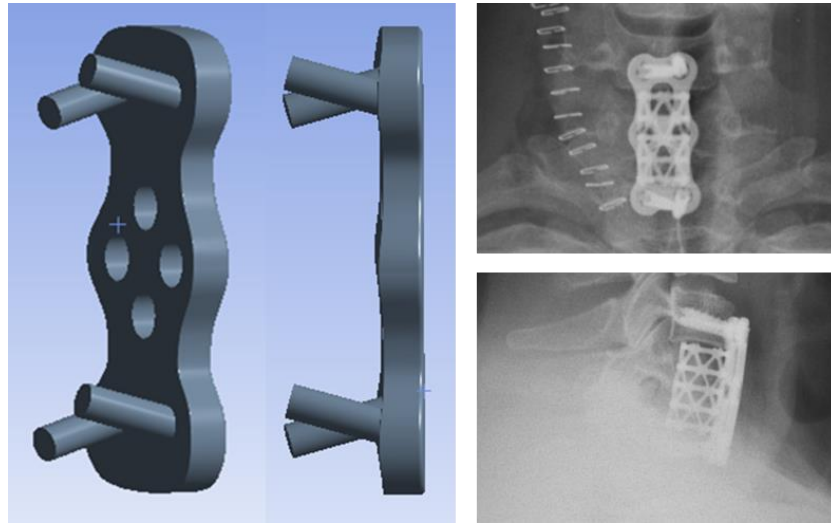
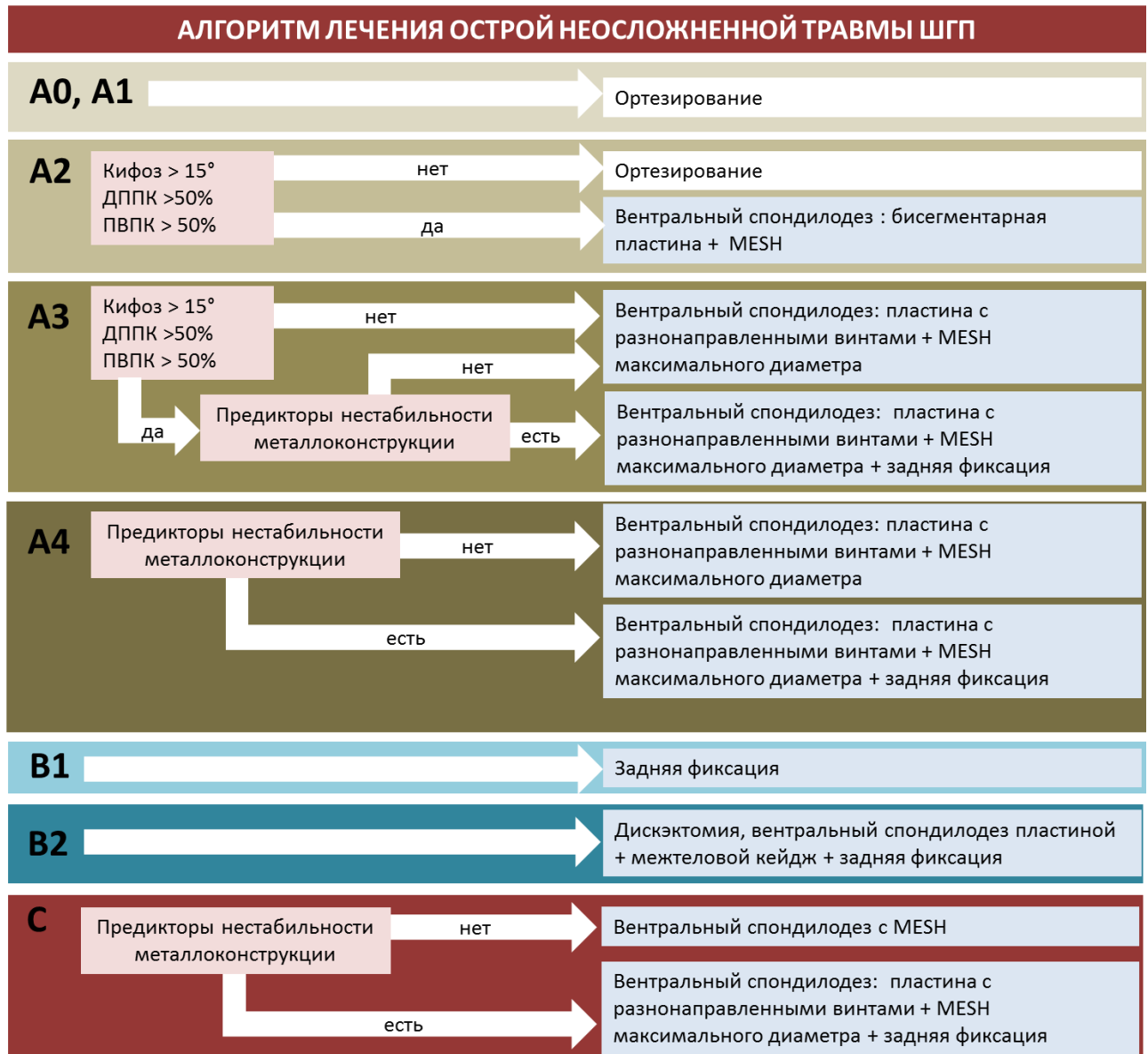


Рисунок 8 – Модель и пример разнонаправленного введения винтов для фиксации пластины

В нашем исследовании при однофакторном анализе значимыми предикторами несостоятельности металлоконструкции 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  $< -20^\circ$  (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 металлоконструкции. При многомерной логистической регрессии только наличие дислокации (сочетания перелома типа A4 с дислокацией, или с повреждением типа C) повышало риск развития нестабильности металлоконструкции. Пограничное значение дислокации позвонка при проведении ROC-анализа и применении индекса Юдена оказалось 3 мм с чувствительностью 100% и специфичностью 82%. Как и в других, основным ограничением нашего исследования 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.

Анализ результатов лечения и биомеханического моделирования позволил разработать новый алгоритм хирургического лечения повреждений шейногрудного перехода в зависимости от типа повреждения (AOSpine), наличия признаков нестабильности (выраженный сегментарный кифоз  $> 15$  град., дефицит просвета позвоночного канала  $> 50\%$ , потеря высоты передней колонны  $> 50\%$ ) и предикторов нестабильности металлоконструкции (дислокация до операции,

возраст > 46 лет, билатеральное повреждение суставного отростка, кифоз до операции > 11 град., грудинно-шейный угол < 70 град., проекционный угол < -20°) (Рисунок 9).



**Предикторы нестабильности металлоконструкции:** Дислокация до операции, Возраст > 46 лет, Билатеральное повреждение суставного отростка, Кифоз до операции > 11 град., Грудинно-шейный угол < 70 град., проекционный угол < -20°

Рисунок 9 – Алгоритм хирургического лечения при острых повреждениях шейногрудного отдела позвоночника с учетом типа повреждения

Глава 4 посвящена биомеханическому моделированию и изучению хирургического лечения повреждений переходного груднопоясничного отдела позвоночника. Данные, полученные нами при биомеханическом моделировании, демонстрируют повышенные в среднем на 26% значения эквивалентных напряжений в кортикальном слое и губчатой кости Th11-L2

позвонок. При экстремальных нагрузках наибольшие эквивалентные напряжения возникают в губчатом слое позвонка L1.

Было выполнено биомеханическое моделирование при повреждениях типа А3 и А4 трех вариантов транспедикулярной фиксации (ТПФ 4 винта, 6 винтов и 8 винтов). Предпочтительнее оказалось применение полисегментарной фиксации (6 или 8 винтов) с позиции распределения напряжений в фиксирующих системах и позвоночнике при различных нагрузках 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.

При моделировании стандартной короткосегментарной ТПФ и ТПФ с промежуточным винтом было выявлено, что установка промежуточного винта в поврежденный позвонок (Рисунок 10А) более предпочтителен по сравнению с 4-х 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.

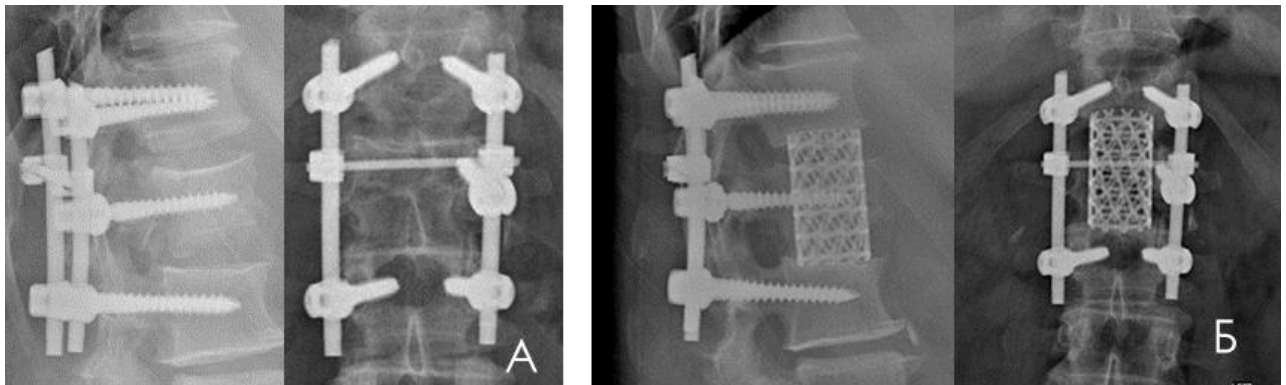


Рисунок 10 – А. Короткосегментарная транспедикулярная система, дополненная одним промежуточным винтом. Б. Состояние после переднего опорного корпородеза в условиях унилатеральной промежуточной транспедикулярной фиксации

Также показано, что для обеспечения положительного эффекта промежуточной транспедикулярной фиксации достаточно унилатерального введения винта в поврежденный позвонок. Стабильность систем с одним промежуточным винтом не отличается от систем с двумя. При этом появляется возможность резекции тела поврежденного позвонка и выполнения опорного корпородеза без перемонтажа транспедикулярной системы (Рисунок 10Б).

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. Показано, что эксцентрическое расположение имплантата MESH не сказывается на стабильности системы

позвоночник-металлоконструкция. 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, и позволяет применять методику ТПФ с промежуточными винтами.

Биомеханическое моделирование различных диаметров имплантатов типа MESH при дорсально-вентральном вмешательстве выявило, что наиболее рациональным является вариант вентральной фиксации с установкой кейджа типа MESH диаметром 25 мм по сравнению с двумя другими вариантами (19 и 22 мм).

При сравнении биомеханических свойств вентральных и дорсальных систем фиксации показано, что более предпочтительным является вариант с установкой транспедикулярных винтов. Вентральная конструкция сильнее нагружает костные ткани позвонков, что может свидетельствовать о более вероятном их повреждении и расшатывании винтов.

В 4 главе описано клиническое ретроспективное исследование (273 пациента) с однофакторным и регрессионным анализом для выявления предикторов несостоятельности фиксации и остеонекроза. Нестабильность фиксации определяли при наличии перелома/миграции элементов металлоконструкции 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%). 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-х – 57% (13/23). Перелом стержня наблюдался во всех случаях в средней части в области максимального грудопоясничного изгиба. В 30 (61%) случаях несостоятельность металлоконструкции сочеталась с увеличением кифотической деформации. 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%). В большинстве случаев при выявлении нестабильности металлоконструкции (88%, 43/49) и остеонекроза (100%, 9/9) выполнена реоперация: удаление нестабильной металлоконструкции, коррекция и фиксация переходного грудопоясничного отдела позвоночника полисегментарной системой, резекция тела некротизированного поврежденного позвонка, корпородез MESH.

Значимыми предикторами развития несостоятельности фиксации (перелом и/или миграция металлоконструкции) при многофакторном анализе оказались: ИМТ более 28 кг/м<sup>2</sup> (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 транспедикулярной фиксации (ОШ 22,2 [5,0–97,0]); и 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 (Таблица 4). Это позволило в дальнейшем включить предикторы нестабильности в алгоритм лечения пациентов с острой травмой грудопоясничного отдела позвоночника.

Таблица 4 – Прогностическая шкала риска развития нестабильности фиксации

Параметр	Функция	Количество баллов
<b>Тип перелома А4 по AOSpine</b>	,197	1
<b>Уровень повреждения L1</b>	,270	1
<b>Срок после травмы &gt; 21 дней</b>	,297	2
<b>Кифоз до операции &gt; 18 град.</b>	,527	3
<b>ИМТ &gt; 28 кг/м<sup>2</sup></b>	,622	3
<i>Примечание: Лямбда Уилкса – 0,671; Хи-квадрат – 107,1; p&lt;0,001</i>		

Таким образом, полученная прогностическая шкала позволяет выставить минимум 0 и максимум 10 баллов. При проведении ROC-анализа, выявлено, что пороговое значение 4 балла с чувствительностью 90% и специфичностью 76% предсказывает несостоятельность металлоконструкции (AUC - площадь под кривой составила 0,868).

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. Прогностическая балльная шкала факторов риска посттравматического остеонекроза представлена в Таблице 5.

Таблица 5 – Прогностическая шкала риска развития посттравматического остеонекроза позвонка

Параметр	Функция	Количество баллов
<b>Тип перелома А4 по AOSpine</b>	,339	1
<b>ДППК есть</b>	,374	1
<b>Расширение позвонка &gt; 63%</b>	,588	2
<b>Возраст &gt; 47 лет</b>	,754	2
<i>Примечание: Лямбда Уилкса – 0,671; Хи-квадрат – 107,1; p&lt;0,001</i>		

Полученная прогностическая шкала позволяет выставить минимум 0 и максимум 6 баллов, а пороговое значение 4 балла с чувствительностью 78% и специфичностью 90% предсказывает посттравматический остеонекроз позвонка (AUC – площадь под кривой составила 0,950).

Выявленные предикторы и биомеханическое моделирование позволили оптимизировать алгоритм хирургического лечения при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника с учетом типа повреждения и шкалы риска развития нестабильности фиксации и остеонекроза травмированного позвонка (Рисунок 11).

Для обоснования алгоритма проведено дополнительное сравнительное ретроспективное исследование. Всего 160 пациентов вошло в исследование. Группа контроля (100 пациентов, оперированных в 2015–2017 гг.) и группа с применением нового алгоритма (60 человек, оперированных в 2018–2019 гг.). Группы были сопоставимы по основным предоперационным и интраоперационным параметрам.

При анализе результатов лечения 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, которые купировались на фоне консервативного лечения. Ревизия с санацией гематомы после дорсального доступа выполнена у 6 пациентов в группе контроля и у 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 металлоконструкции и реоперации по поводу нестабильности и остеонекроза поврежденного позвонка (Рисунок 12).

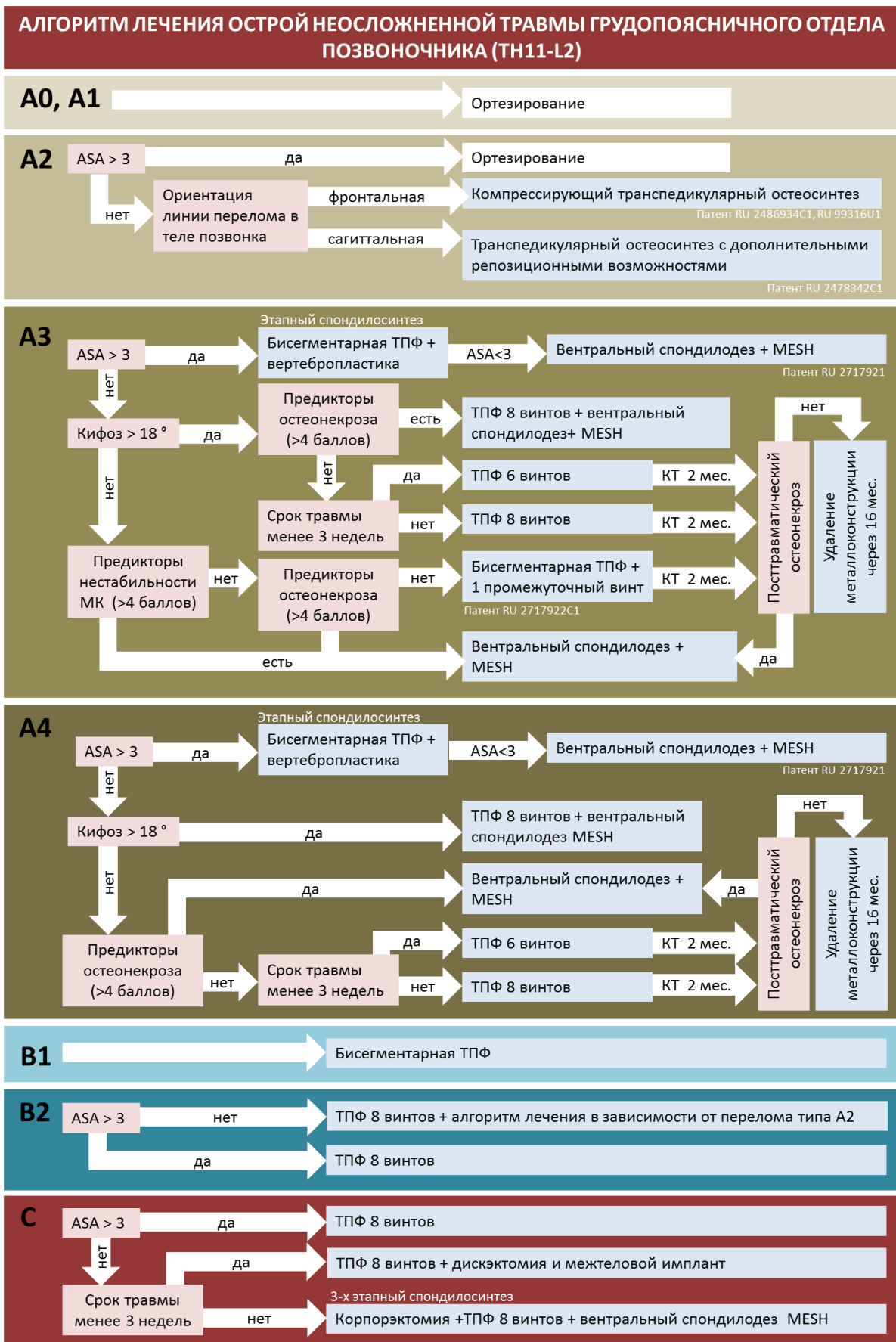


Рисунок 11 – Алгоритм хирургического лечения при острых травмах грудного отдела позвоночника с учетом типа повреждения

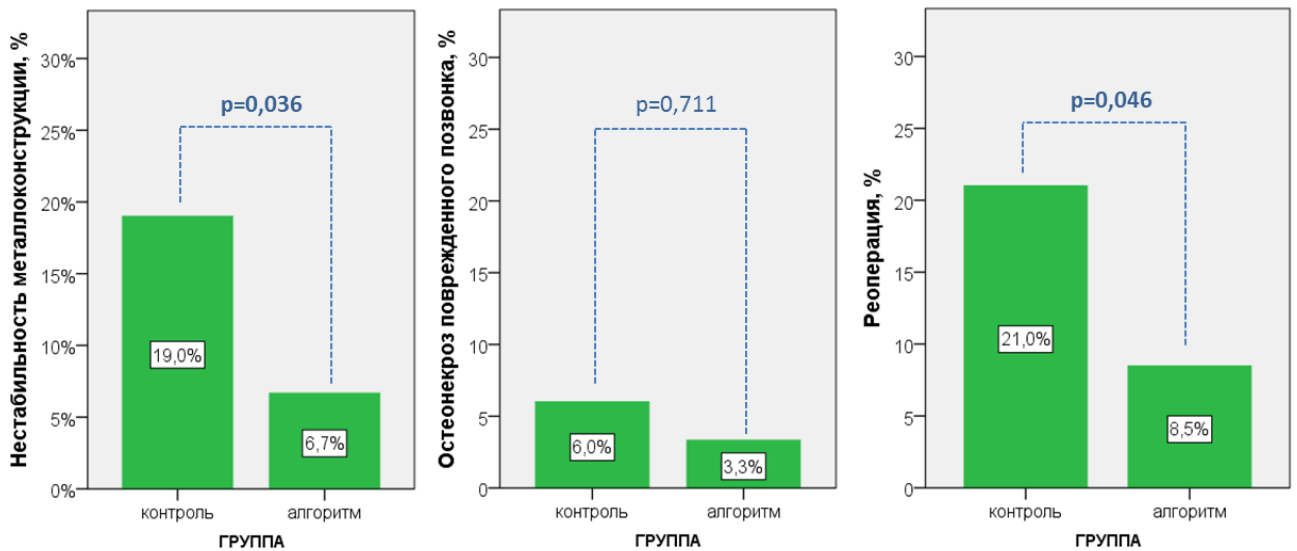


Рисунок 12 – Сравнение групп контроля и применения алгоритма по частоте развития нестабильности металлоконструкции, остеонекроза поврежденного позвонка и реоперации

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).

5 глава диссертации посвящена биомеханическому моделированию и анализу результатов хирургического лечения пациентов с травмой переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника. В ходе биомеханического моделирования создана трехмерная модель сегмента позвоночника L4-Sacrum. Исходный угол между верхними замыкательными пластинками позвонка L4 и крестца составлял 28 градусов. Далее для моделирования сегментарного кифоза этот угол уменьшался с шагом в 10 градусов с помощью корректировки геометрии позвонка L5, у которого моделировался клиновидный перелом. Показано, что направление смещения позвонков L4 и L5 и прочность системы существенно меняется при переходе от угла  $-10^{\circ}$  к углу  $-20^{\circ}$ . Таким образом, математическое моделирование, подтвердило клинические данные о повышении риска дальнейшей компрессии поврежденного L5 позвонка при сегментарном кифозе более 15 град.

Мы провели биомеханический математический анализ 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 костных тканях, 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.

При анализе результатов лечения повреждений переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника мы разделили пациентов на 3 группы: 1 группа – в 12 случаях пациенты отказались от проведения операции и получали амбулаторное консервативное лечение (ортезирование, физиотерапевтическое лечение); 2 группа – бисегментарная транспедикулярная фиксация (ТПФ) выполнена 27 больным; 3 группа – циркулярный спондилосинтез (ТПФ + передний опорный корпорорез MESH) выполнен 19 больным. 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  $A$  – теоретическая высота тела L5 позвонка в мм,  $B$  – переднезадний размер нижней замыкательной пластинки L4 позвонка в мм (Патент на изобретение RU2772644C1). Из особенностей хирургического вмешательства отметим, что при вентральных доступах (19 пациентов) по данным КТ перед операцией оценивали расположение бифуркации аорты и НПВ для выбора оптимального доступа к телу L5 позвонку. Среди пациентов у 4 с высоким расположением бифуркации аорты (выше середины тела позвонка L4) выполнено выделение подвздошных артерий и вен, доступ к L5 позвонку осуществлен в пространстве между подвздошными сосудами. При низкой бифуркации аорты у 15 пациентов выполнено выделение левых подвздошных артерии и вены, терминального отдела аорты и НПВ с перевязкой сегментарных сосудов. Магистральные сосуды были отведены медиально, выполнен боковой доступ к телу L5 позвонка. 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.

При сравнении клинических результатов лечения 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 (Рисунок 13).

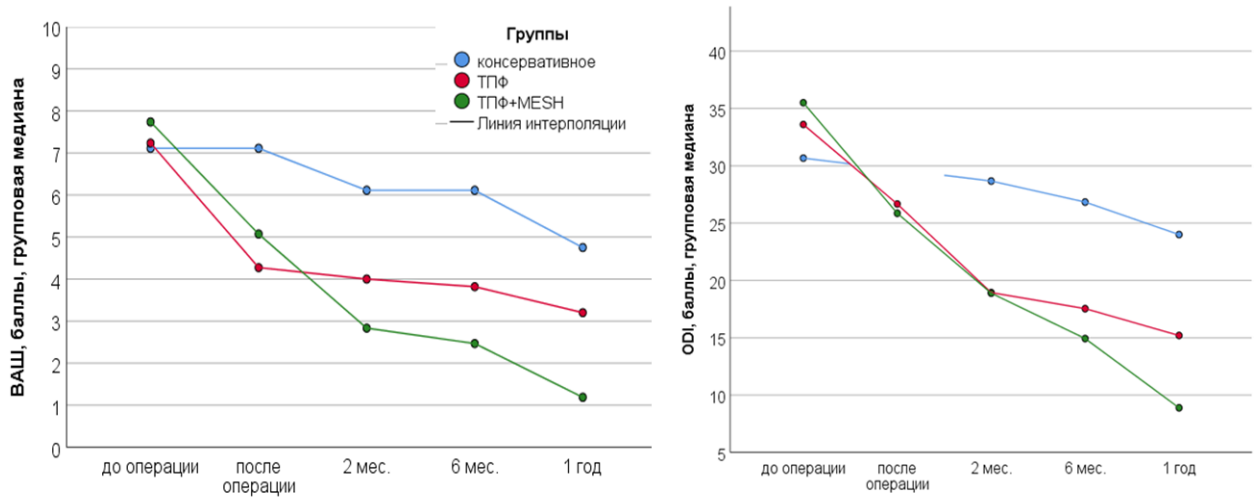


Рисунок 13 – Динамика изменений болевого синдрома (ВАШ) и функционального статуса (ODI)

Графически динамика изменений регионарного угла L4-S1 по Cobb и высоты передней опорной колонны L5 позвонка после лечения в разных группах представлены на Рисунке 14.

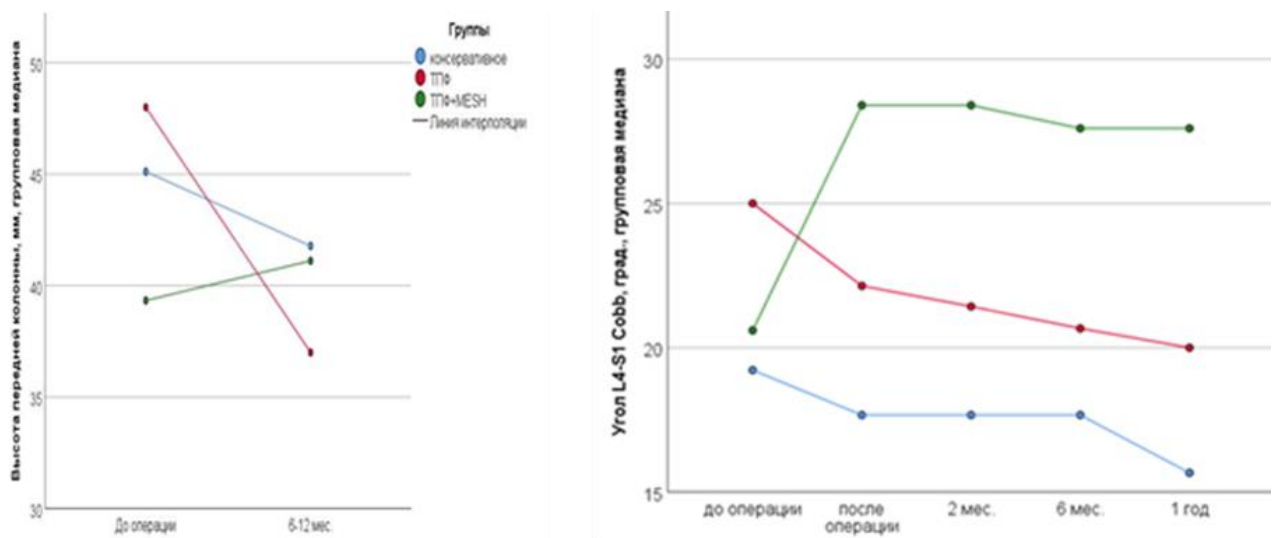


Рисунок 14 – Динамика изменений высоты передней колонны L5 позвонка и регионарного угла L4-S1 по Cobb

Применение циркулярной фиксации (ТПФ + расклинивающий корпорорез MESH) (Рисунок 15) при анализе результатов исследования демонстрирует преимущества в отношении реконструкции сагиттального профиля переходного поясничнокрестцового отдела позвоночника по сравнению с изолированным использованием транспедикулярной фиксации, что отражает динамику 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.

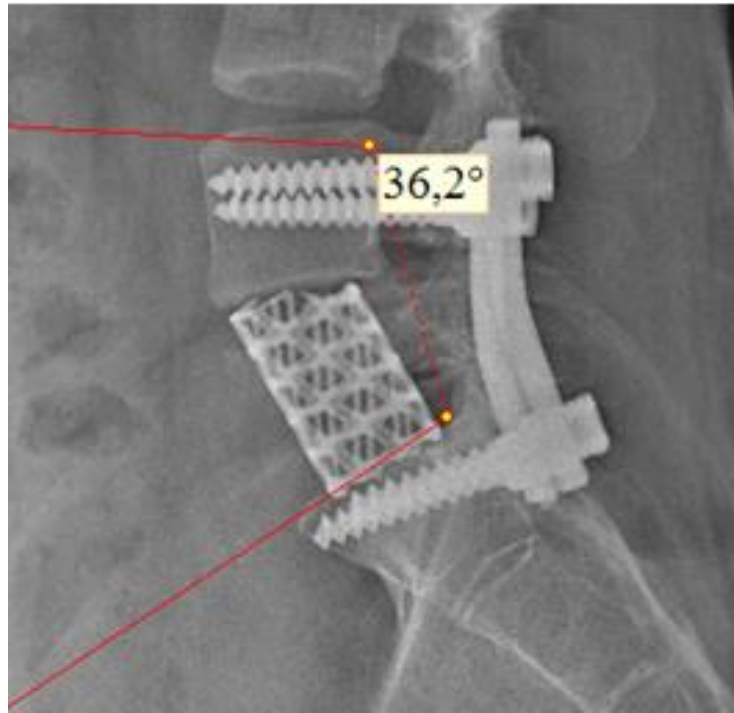


Рисунок 15 – ТПФ + расклинивающий корпородез MESH при оскольчатом переломе L5 позвонка

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 два 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-х 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. Среди наших пациентов данное осложнение наблюдалось у 1 женщины. Осложнение купировалось самостоятельно в течение 1 мес. Однако, необходимо учесть, что не проводился прицельный расспрос пациентов на наличие данного осложнения. 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 оболочки и ликворея. Повреждение было успешно ушито во всех 3-х случаях, ликвореи в послеоперационном периоде не было.

Нестабильность металлоконструкции 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-х случаях (43%) выполнена ревизия с перемонтажом конструкции. При однофакторном анализе выявлены следующие значимые предикторы нестабильности МК: ИМТ  $> 26$  кг/м<sup>2</sup> (ОШ – 9,4 [1,7–53]), ODI до операции  $> 32$  баллов (ОШ – 1,4 [1,1–1,8]), L4-S1 угол Cobb после операции  $< 20$  град. (ОШ – 5,9 [1,3–25]), ДППК (ОШ – 5,7 [1,1–32]), неполная коррекция ДППК (ОШ – 2,0 [1,2–3,4]), высота передней колонны до операции  $< 30$  мм (ОШ – 5,1 [1,7–15]), высота передней колонны после операции  $< 30$  мм (ОШ – 11,1 [3,6–34]), бисегментарная ТПФ (ОШ – 5,6 [1,7–41]). При многофакторном анализе (логистическая регрессия) выявлено, что только параметр «высота передней колонны после операции  $< 30$  мм» (ОШ – 3,4 [1,6–10,5]) повышает риск развития нестабильности МК.

Анализ результатов лечения изолированных повреждений L5 позвонка и биомеханическое моделирование позволило предложить новый алгоритм хирургического лечения (Рисунок 16). Алгоритм основан на принятии во внимание признаков нестабильности повреждения и предикторов развития нестабильности металлоконструкции (ИМТ  $> 26$  кг/м<sup>2</sup>, ODI до операции  $> 32$  баллов, ДППК, высота передней колонны до операции  $< 30$  мм).

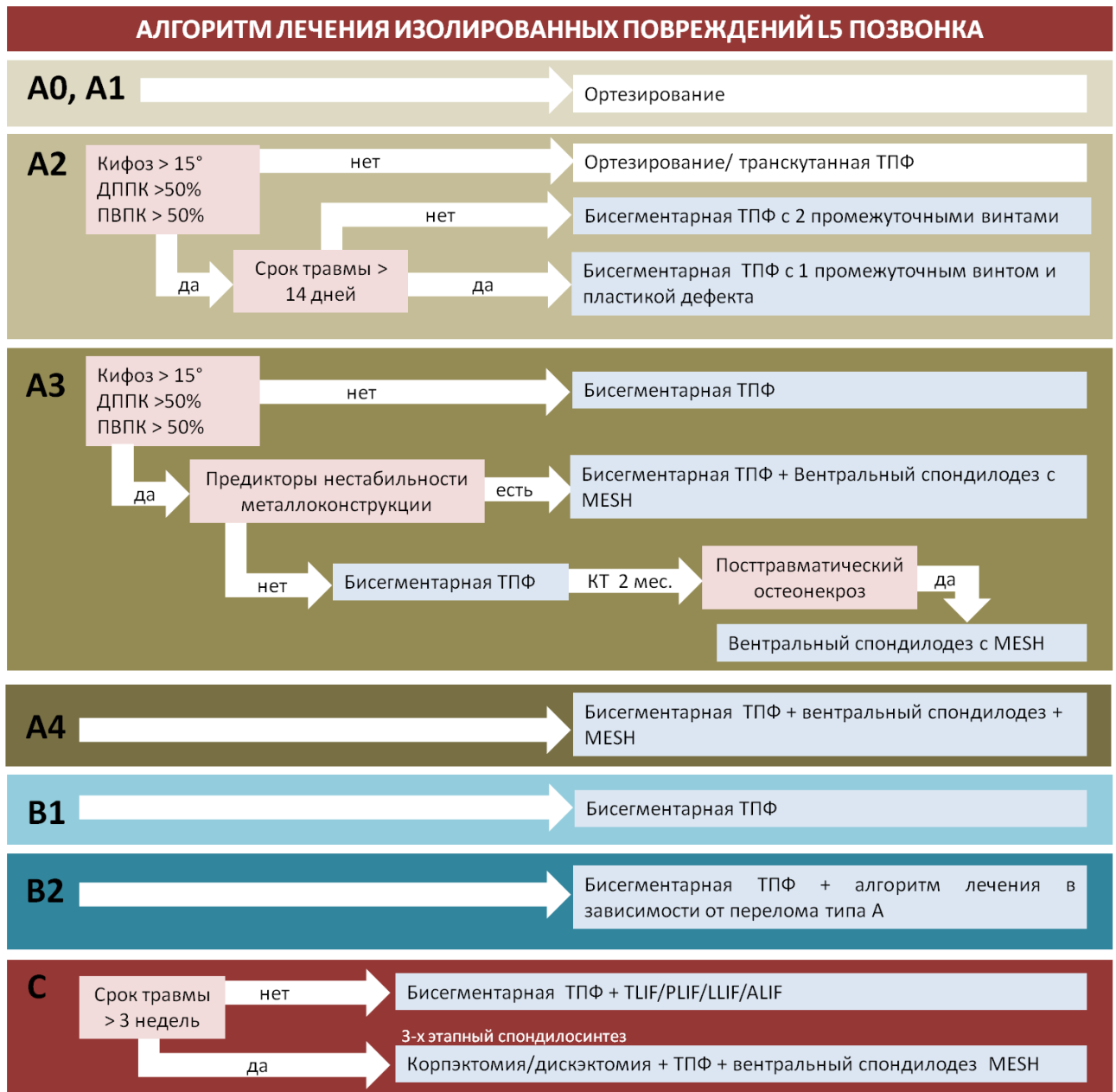


Рисунок 16 – Алгоритм хирургического лечения при острых изолированных повреждениях L5 позвонка с учетом типа повреждения

## 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° 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 ШПП необходимо дополнять дорзальной фиксацией.
4. При планировании переднего доступа к ШПП 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  $28 \text{ кг/м}^2$ , срок после травмы более 21 дня; уровень поражения L1; перелом типа A4 по AOSpine; кифоз до операции более 18 град.; 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 (A3) и полных (A4) 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 корпордез симультанно 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 корпороза MESH.

10. При изолированной травме ПКП наличие оскольчатого перелома (A4 по классификации AOSpine) и предикторов нестабильности (ИМТ > 26 кг/м<sup>2</sup>, 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Арсениевич, В.Б. 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.
2. **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**.
3. Зарецков, В.В. 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.
4. **Патент на изобретение № 2477624**, Российская Федерация, C1, МПК A61B 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.**

5. **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.**
6. Зарецков, В.В. 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.
7. **Лихачев, С.В.** Хирургическая реконструкция пояснично-крестцового переходного отдела позвоночника при оскольчатых переломах тел позвонков / **С.В. Лихачев**, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, С.В. Степухович, И.А. Норкин // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. Сборник материалов. – Саратов, 26–28 апреля 2017 года. – С. 213–216.
8. Норкин, И.А. Использование трехстержневых полисегментарных систем при коррекции сколиотических деформаций / И.А. Норкин, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, **С.В. Лихачев**, С.В. Степухович // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. Сборник материалов. – Саратов, 26–28 апреля 2017 года. – С. 255–258.
9. **Лихачев, С.В.** Планирование инструментации переходных отделов позвоночника у больных со сколиотическими деформациями / **С.В. Лихачев** // **Фундаментальные и прикладные аспекты поражений и повреждений позвоночника. VIII съезд межрегиональной ассоциации хирургов-вертебрологов России с международным участием.** – Иркутск, 25–26 мая 2017 года. – С. 109–111.
10. Донник, А.М. Биомеханическое моделирование фиксации груднопоясничного отдела позвоночника транспедикулярной системой / А.М. Донник, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, **С.В. Лихачев**, И.А. Норкин // **Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине - 2017.** Материалы Всероссийской школы-семинара. – Саратов, 01 октября 2017 года. – С. 91–92.
11. **Лихачев, С.В.** Хирургическое лечение повреждений переходных отделов позвоночника / **С.В. Лихачев**, В.Б. Арсениевич, С.В. Степухович, А.Е. Шульга, В.В. Зарецков // **Сборник научных трудов НИИТОН СГМУ.** – Саратов, 2017. – С. 150–153.
12. Бажанов, С.П. 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.

13. **Лихачев, С.В.** Биомеханические аспекты циркулярного спондилосинтеза переходного груднопоясничного 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.
14. Шульга, А.Е. Дорзальная коррекция грубых посттравматических деформаций грудного отдела позвоночника при позвоночно-спинномозговой травме / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, **С.В. Лихачев, А.А. Смолькин** // **Саратовский научно-медицинский журнал.** – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 611–617.
15. Норкин, И.А. 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.
- [Scopus]
16. **Лихачев, С.В.** Повреждения переходного груднопоясничного 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. [Scopus]
17. **Лихачев, С.В.** Возможности современных информационных технологий в прогнозировании последствий травмы груднопоясничного переходного отдела позвоночника / **С.В. Лихачев, А.М. Донник, К.Т. Битокова** // **Инновационные технологии в фундаментальной, клинической и профилактической медицине. Сборник научных трудов ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.** – Саратов, 2018. – С. 65–67.
18. Донник, А.М. Биомеханическое моделирование реконструктивного вмешательства на переходном груднопоясничном отделе позвоночника / А.М. Донник, В.В. Зарецков, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, **С.В. Лихачев, И.А. Норкин** // **Восьмые Поляховские чтения: тезисы докладов международной научной конференции по механике.** – Санкт-Петербург, 30 января – 2 февраля 2018 г. – С. 285–286.
19. **Лихачев, С.В.** Биомеханическое моделирование хирургической реконструкции переходных зон грудного и поясничного отделов позвоночника / **С.В. Лихачев, В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, И.А. Норкин, А.Е. Шульга, А.М. Донник, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович** // **Достижения российской травматологии и ортопедии. Материалы XI Всероссийского съезда травматологов-ортопедов. В 3-х томах.** – Санкт-Петербург, 11–13 апреля 2018 года. – Том 1. – С. 216–220.

20. **Лихачев, С.В.** Биомеханическое моделирование как этап предоперационного планирования реконструктивных вмешательств при нестабильных повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника / **С.В. Лихачев**, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга, С.В. Степухович // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Саратов, 28–29 июня 2018 года. – С. 149–152.
21. Шульга, А.Е. Вентральная хирургическая коррекция ригидных посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, **С.В. Лихачев**, А.А. Смолькин // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Саратов, 28–29 июня 2018 года. – С. 248–251.
22. 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.
23. Донник, А.М. 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.
24. Донник, А.М. 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.
25. **Лихачев, С.В.** Оптимизация использования транспедикулярного спондилосинтеза при повреждениях типа А3 переходного грудопоясничного отдела позвоночника: клинико-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.
26. **Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019665103**, Российская Федерация. Справочник-переходник по классификациям переломов АО/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; **опубл. 19.11.2019, Бюл. № 11.**

27. **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.**

28. **Лихачев, С.В.** Сравнительный анализ использования различных вариантов транспедикулярной фиксации при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника типа А / **С.В. Лихачев**, В.Б. Арсениевич, С.В. Степухович, Д.В. Иванов // Травматология, ортопедия и нейрохирургия: междисциплинарные аспекты. Сборник научных трудов. – Саратов, 2019. – С. 75–80.

29. Донник, А.М. Применение метода биомеханического моделирования при планировании хирургического вмешательства в случае компрессионного перелома тела Th12 позвонка / А.М. Донник, Л.Ю. Коссович, А.С. Фалькович, Д.В. Иванов, **С.В. Лихачев**, В.Ю. Ульянов // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. – Саратов, 25–26 апреля 2019 года. – С. 68–69.

30. **Лихачев, С.В.** Транспедикулярный спондилосинтез переходного грудопоясничного отдела позвоночника. к вопросу об инструментировании поврежденного позвонка. экспериментальное исследование / **С.В. Лихачев**, В.Б. Арсениевич, А.Е. Шульга, Д.В. Иванов // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. – Саратов, 25–26 апреля 2019 года. – С. 166–170.

31. Шульга, А.Е. Оптимизация тактики хирургического лечения больных с застарелыми посттравматическими деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. – Саратов, 25–26 апреля 2019 года. – С. 301–304.

32. Островский, В.В. 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.

33. **Лихачев, С.В.** Оптимизация спондилосинтеза при некоторых оскольчатых повреждениях позвонков груднопоясничной 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. [**Scopus**]
34. **Лихачев, С.В.** Результаты применения промежуточных транспедикулярных винтов при повреждениях переходного груднопоясничного 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. [**Scopus**]
35. **Лихачев, С.В.** Хирургическое лечение переломовывиха в переходном груднопоясничном 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.
36. **Патент на изобретение № 2717921**, Российская Федерация, С1, МПК А61В 17/70. Способ этапного хирургического лечения оскольчатых переломов переходного груднопоясничного 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.**
37. **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.**
38. **Лихачев, С.В.** Промежуточная транспедикулярная фиксация в лечении осложненных оскольчатых переломов переходного груднопоясничного отдела позвоночника / **С.В. Лихачев** // Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. К 75-летию Саратовского научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии. – Саратов, 2020. – С. 36–38.
39. Донник, А.М. Биомеханическое моделирование хирургического вмешательства с использованием промежуточных винтов при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника / А.М. Донник, Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, **С.В. Лихачев**, А.Е. Шульга // Современные проблемы механики сплошной среды. Тезисы докладов XX Международной конференции. – Ростов-на-Дону, 18–21 июня 2020 года. – С. 56.
40. Иванов, Д.И. Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «Спинометр» с системой Surgimar: 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. [Scopus]
41. Шульга, А.Е. 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. [Scopus]
42. **Лихачев, С.В.** 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. [Scopus]
43. **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**.
44. **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**.
45. Островский, В.В. 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.
46. **Лихачев, С.В.** 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.
47. Шульга, А.Е. 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. [Scopus]

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ВАШ – визуальная аналоговая шкала

ДИ – доверительный интервал

ДППК – дефицит просвета позвоночного канала

ИМТ – индекс массы тела

КТ – компьютерная томография

МК – металлоконструкция

МРТ – магнитно-резонансная томография

НПВ – нижняя полая вена

ОШ – отношение шансов

ТПФ – транспедикулярная фиксация

ШГП – шейногрудной переход

АО/ASIF – Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation

AUC – площадь под кривой

MESH – сетчатый имплантат для межтелового спондилодеза

NDI – Neck Disability Index

ODI – Oswestry Disability Index

ROC – receiver operating characteristic (кривая ошибок)

SCA – sternocervical angle (грудинно-шейный угол)