

*На правах рукописи*

Иванов Сергей Валерьевич

Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового  
отдела позвоночника

3.1.10. Нейрохирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва - 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

академик РАН,

доктор медицинских наук

Коновалов Николай Александрович

Официальные оппоненты:

Крутько Александр Владимирович

доктор медицинских наук,

ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, 12-е травматолого-ортопедическое отделение, заведующий отделением

Аганесов Александр Георгиевич

доктор медицинских наук,

профессор, ФГБНУ «РНИЦ им. акад. Б.В. Петровского», травматолого-ортопедическое отделение (хирургии позвоночника), заведующий отделением

Ведущая организация: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 21.1.031.01, созданного на базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, по адресу: 125047, Москва, 4-я Тверская-Ямская, д.16.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России и на сайте Центра <http://www.nsi.ru>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ года

Ученый секретарь

диссертационного совета 21.1.031.01

доктор медицинских наук

Яковлев Сергей Борисович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Спондилолистез пояснично-крестцового отдела позвоночника является одной из наиболее распространенных патологий позвоночника, сопровождающейся нарушением стабильности сегментов и выраженным болевым синдромом, что значительно ухудшает качество жизни пациентов [Коновалов Н.А., 2025; Chan A.K., 2019].

Большинство зарубежных и отечественных хирургов придерживаются «золотого» стандарта при лечении спондилолистезов. Это традиционный срединный доступ с широкой ламинэктомией и стабилизацией сегмента. Традиционные хирургические методы лечения часто ассоциируются с высокой травматичностью, значительной кровопотерей и длительным восстановлением [Ali E.M., 2024; Silva P.S., 2023; Kim M.C., 2012]. Учитывая факт того, что большая часть пациентов со спондилолистезом в силу возраста имеют тяжелую сопутствующую патологию, вопрос минимизации риска оперативного лечения у данной категории больных стоит достаточно остро.

В последние годы активно развиваются минимально инвазивные хирургические техники, которые позволяют достичь аналогичных результатов при меньшей травматизации мягких тканей, сокращении времени операции и снижении послеоперационных осложнений [Аганесов А.Г., 2024]. Современные подходы включают использование интраоперационной навигации и компьютерной томографии, что повышает точность установки транспедикулярных винтов и снижает риски повреждения нервных структур [Silva P.S., 2023]. Тем не менее, несмотря на доказанные преимущества минимально инвазивных методов, их эффективность в сравнении с традиционными техниками лечения спондилолистеза остается предметом активных научных дискуссий [Коновалов Н.А., 2024; Lu Z., 2024; Munazzam S.W., 2025].

Настоящее исследование направлено на сравнительный анализ исходов традиционного и минимально инвазивного метода хирургического лечения

спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью минимизации хирургических рисков у пациентов с тяжелыми сопутствующими заболеваниями и поиска более безопасных и эффективных подходов к лечению спондилолистезов, что соответствует современным требованиям к улучшению качества оказания медицинской помощи [Ahmed A.K., 2024].

#### Степень разработанности темы

Среди спинальных хирургов наиболее популярным методом лечения спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника остается межтеловая стабилизация с использованием трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза из традиционного заднего срединного доступа. Тем не менее, даже при успешном выполнении спондилодеза хирурги сталкиваются с возможностью получения неудовлетворительных результатов лечения. Это связано с высокой травматичностью мягких тканей и паравертебральных мышц и, как следствие, стойкими послеоперационными болями из-за длительной мышечной тракции.

В хирургическом лечении спондилолистезов в последнее время стали активно применяться различные минимально инвазивные методики, результаты которых все более и более привлекают спинальных нейрохирургов. Нами была разработана собственная минимально инвазивная методика хирургического лечения спондилолистезов, которая была внедрена в практику ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

При проведении анализа литературы, посвященной изучению хирургического лечения пациентов со спондилолистезом пояснично-крестцового отдела позвоночника, удалось сделать вывод о том, что данная тема остается дискуссионной и продолжает активно обсуждаться в современной мировой литературе [Ali E.M., 2024; Ahmed A.K., 2024; Lu Z., 2024]. Единого подхода в хирургическом лечении спондилолистезов пояснично-крестцового отдела нет. В различных клиниках используют передние и задние методики

стабилизации позвоночно-двигательного сегмента. Также окончательно не определена роль минимально инвазивной микрохирургической техники в лечении спондилолистезов I-II степени. Все изложенное выше и послужило основанием для выполнения нашего исследования.

### Цель работы

Провести сравнительный анализ исходов хирургического лечения пациентов со спондилолистезом пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением традиционного и минимально инвазивного метода лечения.

### Задачи исследования

1. Разработать и обосновать оптимальную технику минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза в сочетании с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы из двух парамедианных доступов.

2. Провести сравнительный анализ интенсивности болевого синдрома по визуальной аналоговой шкале и степени нетрудоспособности по индексу Освестри у пациентов, прошедших минимально инвазивное и традиционное лечение спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника, выявить статистически значимые различия и сравнить количество пациентов, достигших MCID, между группами пациентов.

3. На основании шкалы достижения целей рассчитать минимальную клинически значимую разницу для визуальной аналоговой шкалы и индекса Освестри на сроке 12 месяцев для пациентов, оперированных по поводу нестабильного спондилолистеза пояснично-крестцового отдела позвоночника.

4. Сравнить длительность хирургического вмешательства, объем интраоперационной кровопотери и койко-день при традиционном и минимально инвазивном методе лечения.

5. Сравнить динамику формирования спондилодеза при традиционном

и минимально инвазивном методе лечения.

6. Провести анализ осложнений при применении традиционного и минимально инвазивного метода лечения спондилолистезов.

#### Новизна исследования

1. Впервые разработан и внедрен в клиническую практику минимально инвазивный трансфораминальный межтеловой спондилодез в сочетании с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы из двух парамедианных доступов. Получен патент РФ на изобретение (№2832968) – в официальном Бюллетене Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ).

2. Впервые выполнен расчет минимального кожного разреза и межмышечного доступа, позволяющих минимизировать длину разреза и уменьшить травму параспинальных мышц.

3. Впервые с использованием интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы было определено оптимальное положение межтелового импланта, которое обеспечивает максимальное соприкосновение с телом смежного позвонка, что способствует быстрому формированию костного блока.

4. Проведен сравнительный анализ и дана оценка исходов хирургического лечения пациентов со спондилолистезом пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением традиционного и минимально инвазивного метода лечения.

5. Впервые на основании шкалы достижения целей рассчитана минимальная клинически значимая разница (MCID) для визуальной аналоговой шкалы и индекса Освестри на сроке 12 месяцев для пациентов, перенесших трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез.

6. Доказана эффективность использования предложенной методики в лечении пациентов со спондилолистезом пояснично-крестцового отдела

позвоночника.

### Теоретическая и практическая значимость работы

Разработан и внедрен в клиническую практику минимально инвазивный трансфораминальный межтеловой спондилодез в сочетании с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы из двух парамедианных доступов.

Оценены исходы хирургического лечения пациентов со спондилолистезом пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением традиционного и минимально инвазивного метода лечения, что позволило дифференцированно подойти к вопросу выбора метода хирургического лечения спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника.

Использование интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы позволило точно планировать хирургический доступ, обеспечило точность установки имплантов, а также интраоперационно определять и контролировать объем выполненной декомпрессии.

Разработана последовательность этапов применения интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов.

### Методология и методы исследования

Исследование основано на современных принципах диагностики и лечения спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника, принятых в отечественной и зарубежной нейрохирургии. В ходе работы проводилось динамическое наблюдение пациентов, которым было проведено хирургическое лечение по поводу спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника. В исследование включены 224 пациента, которые находились на лечении в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н. Н. Бурденко» Минздрава России с апреля 2018 по март 2024 гг. включительно. В ретроспективную часть

исследования были включены 131 пациент, прошедший операцию в период с апреля 2018 по январь 2023 года. В проспективную группу вошли 93 пациента, прооперированных с февраля 2023 по март 2024 года.

Этическая экспертиза научного исследования проведена в Локальном этическом комитете ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России (протокол № 2023-12 от 23.01.2023).

В ходе исследования нами были сформированы две группы пациентов:

I группа – пациенты, которым выполнялась операция с использованием традиционного метода лечения – 104 (46 %) пациента,

II группа – пациенты, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения – 120 (54 %) пациентов.

В ходе работы были использованы общенаучные методы статистического и сравнительного анализов, табличные и графические приемы визуализации данных. Работа выполнена в соответствии с современными требованиями к научно-исследовательской работе.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение методики минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза в сочетании с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы из двух парамедианных доступов позволяет улучшить функциональный исход и качество жизни пациентов, снизить риски интраоперационных осложнений, а также сократить время операции, объем кровопотери и сроки госпитализации.

2. Минимально инвазивный метод лечения спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника позволяет осуществить первично стабильную фиксацию позвоночно-двигательного сегмента 360° и минимизировать время формирования межтелового костного блока (спондилодеза).

3. Применение интраоперационного компьютерного томографа и

навигационной системы повышает безопасность, обеспечивает точное планирование хирургического доступа с минимизацией травмы параспинальных мышц, снижает кровопотерю, уменьшает время операции, повышает точность установки имплантов и позволяют своевременно оценить объем выполненной декомпрессии при хирургическом лечении спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника.

#### Степень достоверности исследования

Исследование обладает высокой степенью достоверности благодаря использованию репрезентативной выборки пациентов, которая была осуществлена в соответствии с целями и задачами исследования, а также применению статистических методов обработки данных. Результаты и выводы диссертации являются обоснованными и соответствуют принципам доказательной медицины. Авторские данные были сопоставлены с литературными исследованиями, проведенными в прошлом по данной тематике.

#### Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на отечественных и зарубежных конференциях: Всероссийский Форум молодых учёных «Медицинская наука: вчера, сегодня, завтра», посвященный 300-летию Российской академии наук и 80-летию отделения медицинских наук РАН (Москва, 18-19 апреля 2024 г.); Минимально инвазивная и эндоскопическая нейрохирургия (Санкт-Петербург, 23 мая 2024 г.); X съезд нейрохирургов России (Нижний Новгород, 10-13 сентября 2024 г.); Medical Global Forum vertebrology (Москва, 14 сентября 2024 г.); EANS 2024 (София, Болгария, 13-17 октября 2024 г.); 10th SNSS Annual Meeting with international participation Pediatric Neurosurgery in the 21st century: Challenges and opportunities (Белград, Сербия, 30 октября – 3 ноября 2024 г.); XI Всероссийский Приоровский Форум, посвященный 100-летию профессора К.М. Сиваша (Москва, 13-14 декабря 2024 г.); The 14th Asian Congress of Neurological Surgeons (ACNS) (Каир,

Египет, 18-20 декабря 2024 г.); IV Межрегиональная конференция «Непростые решения в нейрохирургии», приуроченная к 90-летию кафедры нейрохирургии РМАНПО (Москва, 15-16 мая 2025 г.); Минимально инвазивная и эндоскопическая нейрохирургия (Москва, 19 мая 2025 г.); XIII съезд Российской Ассоциации хирургов-вертебрологов (Санкт-Петербург, 4-6 июня 2025 г.); Пятый Евразийский Ортопедический Форум (Москва, 19-21 июня 2025 г.); Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в ортопедии и травматологии. Нейрохирургия позвоночника. Новые методики и разработки» (Москва, 27 июня 2025 г.); IX съезд Ревматологов с международным участием (Москва, 3-5 июля 2025 г.); EANS 2025 (Вена, Австрия, 5-9 октября 2025 г.); расширенном заседании проблемной комиссии «Спинальная нейрохирургия и хирургия периферических нервов» ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России 11.07.2025 (протокол №02/25).

#### Публикации по теме диссертации

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в которых отражены основные результаты диссертационного исследования. Из них 4 статьи в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России; 4 – в виде тезисов в материалах отечественных съездов и конференций; 1 статья - в медицинском журнале; 1 патент РФ на изобретение (№2832968) – в официальном Бюллетене Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ).

#### Внедрение в практику

Результаты диссертационной работы внедрены в практику 10 нейрохирургического отделения (спинальная нейрохирургия) ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

### Личный вклад автора

Материал получен, обобщен и проанализирован лично автором: определены цель, задачи исследования, изучены данные литературы, выполнен сбор материала, осуществлено хирургическое лечение пациентов в качестве ассистента, проанализированы полученные результаты и сформулированы выводы, подготовлены при непосредственном участии автора публикации по теме диссертационной работы. Самостоятельно написан текст диссертации и автореферата.

### Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 163 страницах машинописного текста, иллюстрирована 18 таблицами и 79 рисунками. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы и 4 приложений. Библиографический указатель содержит 157 источника (37 отечественных и 120 зарубежных).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Материалы и методы исследования

Настоящее исследование проводилось на базе 10 нейрохирургического отделения (спинальная нейрохирургия) ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Данная научная работа по дизайну является ретроспективно-проспективным когортным исследованием. Нами проанализирован период с апреля 2018 по март 2024 гг. включительно.

Ретроспективно проведен анализ 428 историй болезни пациентов с диагнозом МКБ М43.1 Спондилолистез, оперированных в 10-ом нейрохирургическом отделении с апреля 2018 по январь 2023 года.

Критерии включения в ретроспективное исследование:

- пациенты с диагнозом МКБ М43.1 Спондилолистез;
- спондилолистез I-II степени с нестабильностью позвоночно-

двигательного сегмента (смещения позвонков относительно друг друга более 4 мм по данным функциональных спондилограмм);

- уровень поражения в промежутке L3-S1 позвонков;
- наличие дооперационных снимков МРТ, КТ и функциональных спондилограмм в электронном виде в базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н. Н. Бурденко» Минздрава России;
- наличие послеоперационных снимков (через 3, 6, 12 месяцев после операции) МРТ и КТ в электронном виде в базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н. Н. Бурденко» Минздрава России;
- наличие в электронной истории болезни следующих данных (болевого синдром по ВАШ до операции, через 2 часа после операции, на 3-и сутки, через 3, 6 и 12 месяцев; значения индекса Освестри до операции, через 3, 6 и 12 месяцев; данные по шкале достижения целей через 12 месяцев; длительность хирургического вмешательства; объем интраоперационной кровопотери; сроки госпитализации);
- значения Т-критерия по данным рентгеноденситометрии в пределах  $+2,5$  SD и не ниже  $-1$  SD;
- значения минеральной плотности кости позвонков в единицах Хаунсфилда более 120.

Критерии невключения в ретроспективное исследование:

- возраст младше 18 лет;
- полисегментарное поражение;
- ранее оперированный сегмент;
- наличие сколиотической деформации любой этиологии более  $10^\circ$  во фронтальной плоскости.

Таким образом, после применения критериев, описанных ранее, в ретроспективную часть исследования были включены 131 пациент, прошедший операцию в период с апреля 2018 по январь 2023 года.

В проспективную группу вошли 93 пациента, прооперированных с февраля

2023 по март 2024 года.

Критерии включения в проспективное исследование:

- возраст 18 лет и старше;
- неэффективность консервативной терапии в течение 3-4 месяцев;
- болевой синдром в спине и в нижних конечностях;
- спондилолистез I-II степени с нестабильностью позвоночно-двигательного сегмента (смещения позвонков относительно друг друга более 4 мм по данным функциональных спондилограмм);
- уровень поражения в промежутке L3-S1 позвонков;
- моносегментарное поражение;
- отсутствие остеопороза (значения минеральной плотности кости позвонков в единицах Хаунсфилда более 120 и значения Т-критерия в пределах  $+2,5$  SD и не ниже  $-1$  SD);
- пациент подписал письменное информированное согласие на участие в данном исследовании;
- пациент согласен придерживаться графика и требований последующего наблюдения (выполнение послеоперационных снимков МРТ и КТ через 3, 6 и 12 месяцев; заполнение шкал через 3, 6 и 12 месяцев).

Критерии невключения в проспективное исследование:

- отсутствие признаков нестабильности позвоночно-двигательного сегмента;
- наличие сколиотической деформации любой этиологии более  $10^\circ$  во фронтальной плоскости;
- ранее оперированный сегмент.

Таким образом, в исследование вошли 224 пациента, которым было проведено хирургическое лечение по поводу спондилолистеза пояснично-крестцового отдела позвоночника в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России с апреля 2018 по март 2024 гг. включительно.

В ходе исследования нами были сформированы две группы пациентов:

I группа – пациенты, которым выполнялась операция с использованием традиционного метода лечения – 104 (46 %) пациента,

II группа – пациенты, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения – 120 (54 %) пациентов.

Показаниями для хирургического вмешательства были следующие критерии: продолжительность симптомов до операции и отсутствие положительного результата от консервативного лечения в течение 3-4 месяцев [Коновалов Н.А., 2010]. Все пациенты прошли комплексное предоперационное диагностическое обследование, которое включало сбор анамнеза, общеклиническое и неврологическое обследование, рентгенографию пояснично-крестцового отдела позвоночника с функциональными пробами стоя (сгибание/разгибание), а также МРТ, компьютерную томографию (КТ) и рентгеноденситометрию. Клиническое обследование проводилось с участием нейрохирурга, невролога, терапевта и других специалистов по мере необходимости. Рентгенография является обязательным методом для выявления спондилолистеза и должна включать обзорные снимки позвоночника в прямой и боковой проекциях в статическом положении пациента, стоя, а также с функциональными пробами: спондилограммой в боковой проекции на сгибание и разгибание. Эти рентгенологические исследования необходимы для определения стабильности или нестабильности ПДС. Спиральная компьютерная томография используется не только для оценки степени смещения, но и для выявления костных аномалий, а также изменений в анатомии костных структур пояснично-крестцового отдела (оссификация задних и передних продольных связок, степень возможного спондилодеза ПДС из-за остеофитов, деформация дугоотростчатых суставов, степень сужения позвоночного канала из-за костных разрастаний и т.д.). Магнитно-резонансная томография помогает определить степень смещения тел позвонков, анатомические изменения мягкотканного связочного аппарата ПДС, степень и класс стеноза, а также компрессию дурального мешка и нервных корешков. Рентгенологическими критериями включения пациентов в исследование стало наличие смещения позвонков

относительно друг друга более 4 мм по данным функциональных спондилограмм. Рентгеноденситометрия позволяет оценить минеральную плотность кости (МПК). Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), диагностика остеопороза проводится на основании Т-критерия: в пределах нормы находятся значения от +2,5 SD до -1 SD, значения от -1 SD до -2,5 SD считаются остеопенией, значения от -2,5 SD и ниже классифицируются как остеопороз, и значения от -2,5 SD и ниже с наличием хотя бы одного перелома позвонка или шейки бедра, а также других переломов, не соответствующих тяжести травмы, — как тяжелый остеопороз [Клинические рекомендации. Остеопороз 2021]. Дополнительно у всех пациентов была определена МПК позвонков в единицах Хаунсфилда (HU – Hounsfield units). Измерение HU производилась в теле позвонка L3 на уровне средне-аксиального среза [Leonova O., 2025]. В исследование включены пациенты с значениями HU более 120 и значениями Т-критерия в пределах +2,5 SD и не ниже -1 SD.

Основной и доминирующей жалобой пациентов обеих групп был болевой синдром в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, а также боли в одной или обеих нижних конечностях. Кроме того, у большинства пациентов наблюдался синдром нейрогенной перемежающейся хромоты.

В нашем исследовании использовались контрольные точки для оценки состояния пациентов: до операции, через 2 часа после операции, на 3-и сутки после операции, через 3 месяца после операции, через 6 месяцев после операции, через 12 месяцев после операции. Оценка исходов проводилась с помощью следующих стандартных шкал:

- визуальная аналоговая шкала (ВАШ),
- индекс определения нетрудоспособности Освестри (Oswestry Disability Index – ODI),
- шкала достижения целей (Goal Attainment Scaling – GAS),
- балльная шкала оценки сращения трансплантата/имплантата с ложем опорного позвонка (Баулин И.А. с соавт., 2015).

В НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко с сентября 2017 года

применяется интраоперационный 128-срезовый спиральный компьютерный томограф «Siemens SOMATOM Definition Edge», который совмещался с системой навигации «StealthStation S7» до августа 2022 года, а с сентября 2022 года используется совместно с «StealthStation S8» (Medtronic).

При проведении хирургического вмешательства пациентам I группы выполнялась декомпрессия и использовалась методика трансфораминального межтелового спондилодеза с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа (иКТ) и навигационной системы из традиционного срединного доступа.

При проведении хирургического вмешательства пациентам II группы выполнялась декомпрессия и использовалась методика минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза с транспедикулярной фиксацией с применением интраоперационного компьютерного томографа (иКТ) и навигационной системы из двух парамедианных доступов. Данная методика внедрена в практику ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России. По данной методике получен патент РФ на изобретение (№2832968) - в официальном Бюллетене Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ).

Последовательность этапов применения иКТ и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Последовательность этапов применения интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов

Вмешательство осуществляется под общим наркозом (внутривенно-эндотрахеальный). Положение лежа на животе на рентгенпрозрачной раме Wilson (Рисунок 2). Пораженный уровень позвонков определяется с помощью интраоперационной КТ в режиме флюороскопии. На коже располагаются самоклеящиеся рентгенконтрастные навигационные маркеры (Feducial Markers) вокруг зон предполагаемых разрезов. Достаточно 8 – 10 маркеров.



Рисунок 2 – Положение пациента

После антисептической обработки кожи в стерильных условиях устанавливается референсная рамка навигационной системы за остистый отросток нижележащего позвонка или за гребень подвздошной кости.

Далее выполняется интраоперационная компьютерная томография пояснично-крестцового отдела позвоночника (Рисунок 3), и полученные томографические изображения загружаются в навигационную систему. В данной навигационной системе регистрируются рентгенконтрастные маркеры с целью выстраивания трехмерной модели зоны оперативного вмешательства и хирургические инструменты.



Рисунок 3 – Выполнение интраоперационной компьютерной томографии

С помощью навигационной системы определяется оптимальное направление введения транспедикулярных винтов таким образом, чтобы: каждый винт проходил через ножку дуги позвонка; в аксиальной плоскости угол между осью винта и средней линией позвонка составлял от 18 до 35 градусов; дистальный конец винта располагался на треть от вентрального края тела позвонка; в сагиттальной плоскости винт располагался на отдалении от лежащего со стороны межпозвонкового диска края тела позвонка не менее чем на диаметр винта.

Благодаря рассчитанной траектории введения транспедикулярных винтов и учитывая индивидуальное расположение параспинальных мышц (доступ выполнялся через интервал между длиннейшей и многораздельной мышцами) на проекции кожи определяются точки ввода транспедикулярных винтов в нижний (Рисунок 4) и верхний (Рисунок 5) позвонок, затем между двумя спланированными точками размечается разрез кожи (Рисунок 6). Аналогично размечается разрез кожи на противоположной стороне.



Рисунок 4 – Расчет траектории введения транспедикулярного винта в L5 позвонок, на проекции кожи синей меткой отмечена точка ввода транспедикулярного винта

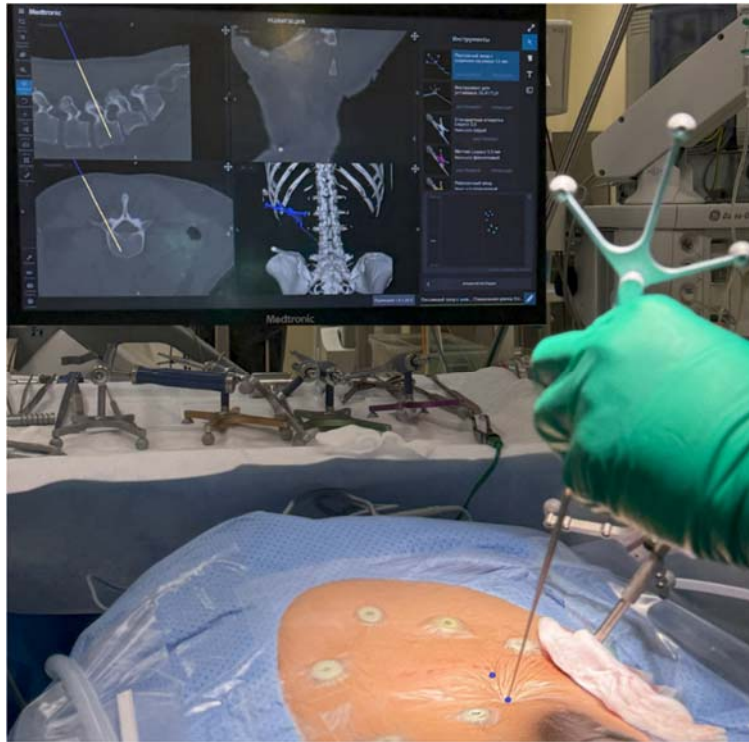


Рисунок 5 – Расчет траектории введения транспедикулярного винта в L4 позвонок, на проекции кожи синей меткой отмечены точки ввода транспедикулярных винтов



Рисунок 6 – Между двумя спланированными точками ввода транспедикулярных винтов в L4 и L5 позвонок красной линией размечен разрез кожи

Далее выполняются два парамедианных разреза кожи 2,5 - 3 см каждый (Рисунок 7). Длина разреза зависит от угла расположения ножек позвонков.

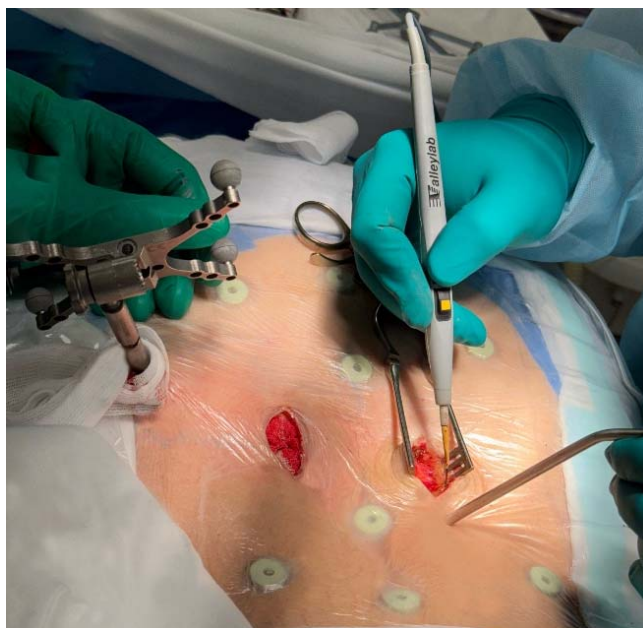


Рисунок 7 – Два парамедианных разреза мягких тканей с учетом выполненных расчетов

На стороне, противоположной радикулопатии, выполняется линейный разрез фасции и далее выполняется доступ через интервал между длиннейшей и многораздельной мышцами путем тупой мобилизации, затем производится скелетирование точек ввода транспедикулярных винтов оперируемого позвоночно-двигательного сегмента и устанавливается ранорасширитель (Рисунок 8). Мы использовали ранорасширитель Caspar (Aescular, Германия).



Рисунок 8 – Установка ранорасширителя

Далее под контролем навигационной системы устанавливаются винты системы «CD HORIZON Legacy» фирмы Medtronic через ножки дужек позвонков по заданной траектории и глубине (Рисунок 9).

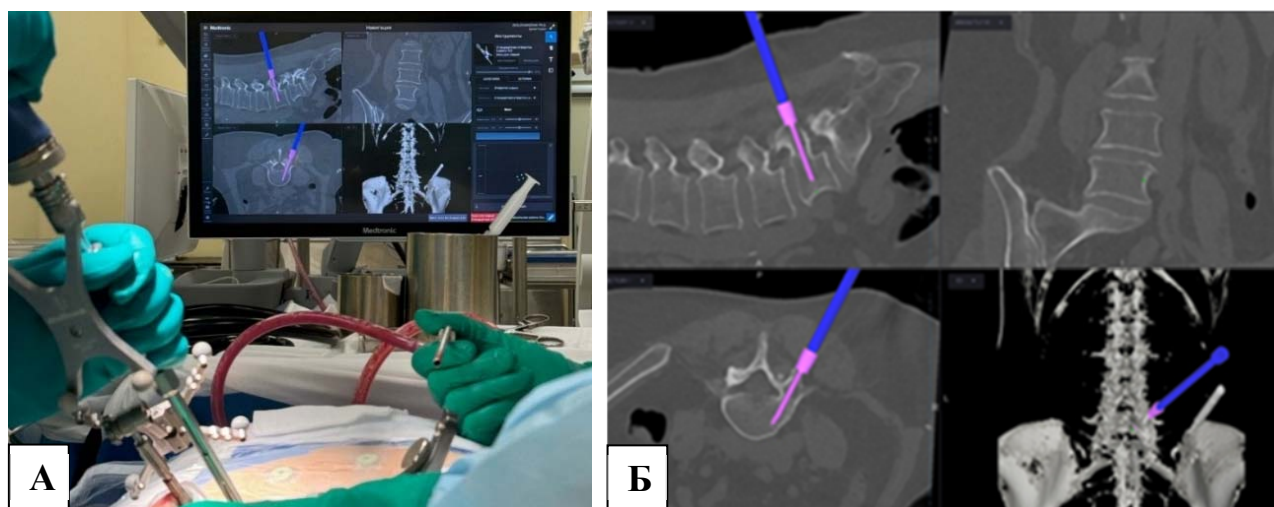


Рисунок 9 – Установка транспедикулярных винтов: А – вид на действия хирурга; Б – интраоперационный контроль положения и правильности подбора размера транспедикулярных винтов с помощью навигационной системы

Следующим этапом на стороне радикулопатии выполняется разрез мягких тканей, скелетирование задних структур (дужки позвонков пораженного уровня, междужковый промежуток, фасеточные суставы и точки ввода транспедикулярных винтов) и устанавливается тубулярный ретрактор. Затем с применением интраоперационного микроскопа OPMI Pentero 900 (Carl Zeiss, Германия) выполняется фасетэктомия, флавэктомия, декомпрессия выходящего и проходящего нервного корешка с помощью высокоскоростного бора и костных кусачек Смита-Керрисона.

Если спондилолистез сочетается с циркулярным стенозом, то выполняется двусторонняя декомпрессия через односторонний «over-the-top» доступ.

Затем вскрывается межпозвонковый диск микрохирургическим скальпелем, при помощи конхотома и кюретек выполняется дискэктомия, далее проводится полный кюретаж пульпозного ядра и хрящевых краевых пластин.

Далее с помощью навигационной системы определяется оптимальное

положение и размер межтелового импланта таким образом, чтобы: в аксиальной плоскости имплант был выровнен по средней линии позвонка; в сагиттальной плоскости имплант не выходил за передний и задний края тела позвонка.

Затем полость межпозвонкового диска заполняется до 2 мл остеостимулирующим материалом («ReproBone novo»), который способствует скорейшему образованию спондилодеза. Также сам межтеловой имплант заполняется остеостимулирующим материалом до 1 мл.

Далее под контролем навигационной системы устанавливается межтеловой имплант (из материала PEEK «Capstone» фирмы Medtronic) и транспедикулярные винты по заданной траектории и глубине. Собирается система путем соединения транспедикулярных винтов отмоделированными стержнями.

Редукция спондилолистеза осуществляется за счет расширения межпозвонкового промежутка путем установки межтелового импланта высотой на 2 мм больше высоты межпозвонкового диска и подтягивания смещённого позвонка вверх с помощью транспедикулярных винтов, которые устанавливались на смещенный позвонок. Дополнительно выполняется сильное сближение по задним отделам транспедикулярных винтов для создания лордотического угла на уровне операции.

Затем выполняется интраоперационная компьютерная томография с 3D-реконструкцией для контроля положения межтелового импланта и транспедикулярных винтов, а также для оценки объема выполненной декомпрессии (Рисунок 10).



Рисунок 10 – Интраоперационный КТ-контроль с 3D-реконструкцией правильности установки межтелового импланта и транспедикулярных винтов: А – сагиттальная проекция; Б, В – аксиальная проекция транспедикулярных винтов в телах L4 и L5 позвонков

В случае корректного положения имплантов выполняется окончательный гемостаз с помощью биполярной электрокоагуляции, костным воском и гемостатической матрицей «Surgiflo». Затем удаляются головки гаек на транспедикулярных винтах и стержнях, удаляется референсная рамка, послойно герметично ушивается рана с накладыванием внутрикожных швов и удаляются навигационные маркеры. Вид послеоперационной раны представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Вид послеоперационной раны

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Средний возраст наблюдаемых пациентов составил 59 лет – от 18 до 89 лет. В исследование вошли 74 (33 %) мужчины и 150 (67 %) женщин.

При анализе интенсивности болевого синдрома до операции по шкале ВАШ у пациентов обеих групп мы получили следующие данные. В I группе (104 пациента) интенсивность болевого синдрома в пояснично-крестцовом отделе позвоночника составила 8,00 [6,00; 10,00], в нижних конечностях – 9,00 [8,00; 10,00]. Во II группе (120 пациентов) интенсивность болевого синдрома в пояснично-крестцовом отделе позвоночника составила 8,00 [7,00; 10,00], в нижних конечностях – 9,00 [7,00; 10,00].

На момент выписки в обеих группах пациентов отмечено статистически значимое уменьшение интенсивности болевого синдрома по ВАШ в пояснично-крестцовом отделе позвоночника и в нижних конечностях, сохраняющегося в отдаленном периоде. В раннем послеоперационном периоде (через 2 часа после операции) у большинства пациентов отмечен полный или частичный регресс корешкового болевого синдрома, однако выраженность болевого синдрома в пояснично-крестцовом отделе позвоночника значительно ниже у больных, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения (ВАШ через 2 часа после операции в I группе – 9,00 [6,00; 10,00] и во II группе – 5,00 [4,00; 6,00] ( $p < 0,001$ )). Оценка послеоперационной динамики болевого синдрома в контрольных точках через 2 часа, на 3-и сутки, через 3, 6 и 12 месяцев после операции показала стойкое снижение интенсивности боли в нижних конечностях в обеих группах пациентов. Преодоление порогового значения MCID на сроке 12 месяцев для ВАШ в 2 балла в I группе отмечено в 89 (85,6 %) случаях, во II группе – в 116 (96,7 %) случаях.

При анализе оценки дееспособности пациентов по индексу Освестри до операции у пациентов обеих групп мы получили следующие данные. В I группе (104 пациента) индекс Освестри составил 74,00 % [68,00 %; 80,00 %]; во II группе (120 пациентов) индекс Освестри составил 76,00 % [66,00 %; 82,00 %] ( $p < 0,001$ ). Полученные и приведённые выше данные говорят о высоком нарушении

дееспособности пациентов до операции.

В отдаленном периоде в контрольных точках наблюдения мы получили постепенное уменьшение индекса Освестри в обеих группах. Тем не менее индекс функциональной дееспособности (ODI) статистически значимо ниже во II группе пациентов, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения ( $p < 0,001$ ). Преодоление порогового значения MCID на сроке 12 месяцев для индекса Освестри в 18 % (9 баллов) в I группе отмечено в 89 (85,6 %) случаях, во II группе – в 116 (96,7 %) случаях.

Анализ отдаленных исходов уровня достижения целей лечения пациентов через 12 месяцев после операции в обеих группах показал следующие результаты, представленные в таблице 5. Во II группе пациентов, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения, был получен лучший результат (достижение цели лечения составило 96,7 %, при 85,6 % в I группе). Цель лечения не была достигнута: в I группе – у 15 (14,4 %) пациентов, во II группе – у 4 (3,3 %).

На основании шкалы достижения целей рассчитана минимальная клинически значимая разница (MCID) для ВАШ и индекса Освестри. Выполнено сопоставления данных ВАШ, индекса Освестри и данных шкалы достижения целей у 19 пациентов (15 пациентов – I группы и 4 пациента – II группы), которые не достигли цели лечения. У данных пациентов значение индекса Освестри составило 20 % (10 баллов) и более, значение интенсивность болевого синдрома по ВАШ составило 3 балла и более. У 205 пациентов, которые достигли цели лечения по шкале достижения целей, значение индекса Освестри составило 18 % (9 баллов) и менее, интенсивность болевого синдрома по ВАШ составило 2 балла и менее.

Таким образом впервые на основании шкалы достижения целей рассчитана MCID для пациентов, оперированных по поводу нестабильного спондилолистеза пояснично-крестцового отдела позвоночника на сроке 12 месяцев, и она составляет: для индекса Освестри – 18 % (9 баллов), для ВАШ – 2 балла.

При анализе длительности хирургического вмешательства выявлено, что

продолжительность хирургических вмешательств с применением минимально инвазивного метода лечения была значительно ниже (в 1,4 раза), чем при традиционном методе лечения ( $p < 0,001$ ). Для I группы составила в среднем 200 мин, для II группы – 145 мин ( $p < 0,001$ ).

Основная интраоперационная кровопотеря наблюдается на этапе доступа (при традиционном методе лечения – это обширное скелетирование мышц, большой объем костной резекции (ламинэктомия или гемиламинэктомия) при котором происходит повреждение эпидуральных вен. В результате внедрения минимально инвазивного метода лечения удалось существенно снизить уровень интраоперационной кровопотери. В среднем объем кровопотери во II группе составил 140,0 мл. В I группе, при традиционном методе лечения, интраоперационная кровопотеря составила 400,0 мл ( $p < 0,001$ ).

Сроки госпитализации в обеих группах пациентов также имели статистически значимые различия. В I группе средняя длительность госпитализации составила 9 дней, во II группе – 4 дня ( $p < 0,001$ ). Выписка пациентов осуществлялась при достижении следующих критериев: уровень болевого синдрома в пояснично-крестцовом отделе позвоночника и в нижних конечностях по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) составляет 5 баллов и менее; удовлетворительное состояние послеоперационной раны, отсутствие признаков воспаления и выделений; отсутствие признаков инфекционных осложнений; отсутствие нарастания неврологического дефицита; готовность пациента к выписке.

Положительная динамика формирования спондилодеза статистически значимо отмечена в обеих группах ( $p < 0,01$ ). Тем не менее при минимально инвазивном методе лечения наблюдается раннее формирование костного блока на всех сроках наблюдения ( $p < 0,01$ ).

По нашему мнению, более раннее формирование костного блока при минимально инвазивном методе лечения связано с положением межтелового импланта относительно ложа блокируемых позвонков: при традиционном методе лечения спондилолистеза – межтеловой имплант располагался латерально, а при

минимально инвазивном методе – межтеловой имплант имел медиальное расположение с конвергенцией к центру. При втором варианте расположения достигается максимальное соприкосновение межтелового импланта с телом смежного позвонка, что и способствует скорейшему формированию костного блока.

На рисунке 12 показаны контрольные снимки КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника через 3, 6 и 12 месяцев после оперативного вмешательства.

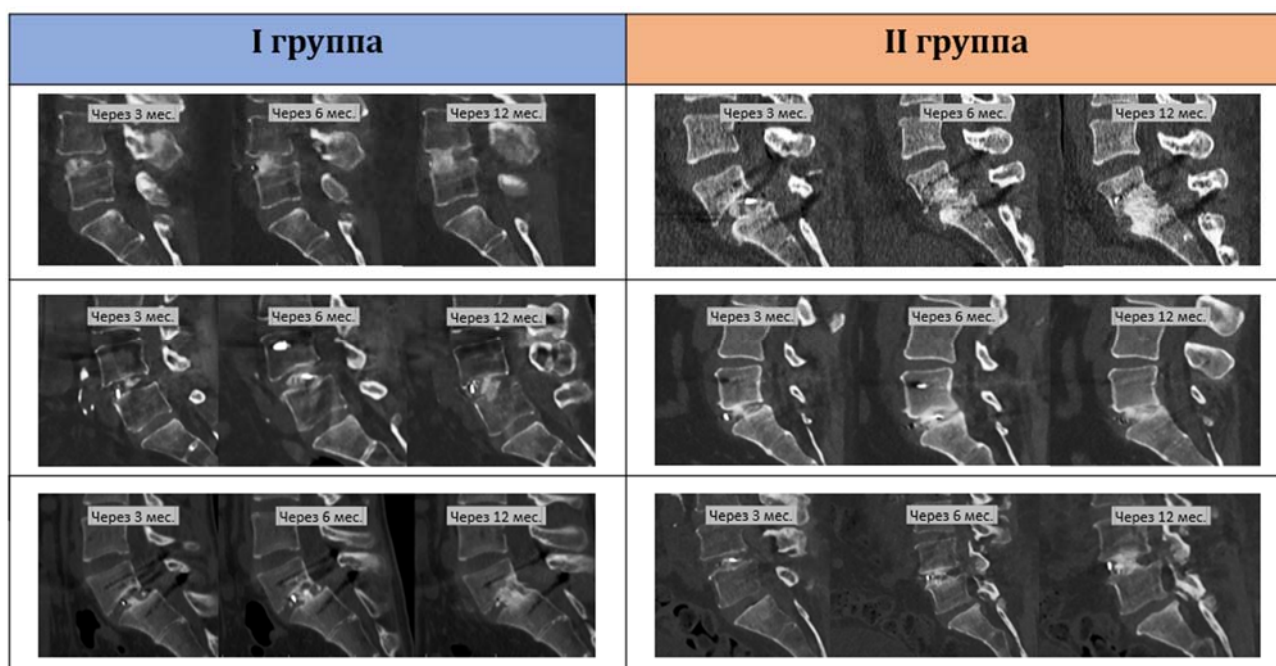


Рисунок 12 – Контрольные снимки КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника через 3, 6 и 12 месяцев после оперативного вмешательства

Осложнений, связанных с установкой транспедикулярных винтов и межтеловых имплантов (некорректная установка, миграция, мальпозиция), не было, что мы связываем тщательным анализом данных КТ и рентгеноденситометрии позвоночника до операции, а также использованием интраоперационных средств нейровизуализации (иКТ и навигационной системы).

В одном случае во II группе имела место миграция биосинтетической костной пасты «ReproBone novo» в позвоночный канал, который проявился болью в правой нижней конечности. Пациент был взят на ревизию, в ходе операции подтвердилась миграция костной пасты, которая при помощи

аспиратора была удалена. Пациент на 4-ые сутки выписан домой с регрессом болевого синдрома. С целью дальнейшего предотвращения подобного осложнения мы разработали оптимальное количество остеостимулирующего биосинтетического костного материала «ReproBone novo» – это до 2 мл заполняется полость межпозвонкового диска и до 1 мл сам межтеловой имплант. Используя подобное количество биосинтетической костной пасты, было прооперировано более 130 пациентов, подобного осложнения больше не наблюдалось.

У 1 (1 %) пациента в I группе на 2 сутки после операции сформировалась гематома послеоперационной раны, которая успешно была спунктирована в условиях перевязочной. Данное осложнение мы связываем с нерабочим активным дренажем в послеоперационном периоде.

Интраоперационное повреждение ТМО имело место у 8 (7,7 %) пациентов I группы и у 2 (1,7 %) пациентов II группы. Интраоперационно выполнено тщательное ушивание и герметизация твердой мозговой оболочки вышеописанными методами на заключительном этапе операции.

У 2 (1,9 %) пациентов I группы отмечалось нарастание неврологического дефицита в виде углубления пареза на 1 балл, в связи с чем потребовалась более длительная госпитализация для проведения консервативной терапии. Неврологический дефицит у этих пациентов постепенно регрессировал к моменту выписки до дооперационного уровня.

Заживление послеоперационной раны вторичным натяжением отмечено у 6 (5,8 %) пациентов I группы и у 2 (1,7 %) пациентов II группы. Это потребовало в раннем послеоперационном периоде, на 2 – 4-е сутки после операции, наложения отсроченных швов на кожу, которые были сняты после формирования состоятельного рубца (на 10 – 12-е сутки после операции).

## **ВЫВОДЫ**

1. Разработанный способ минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза в сочетании с транспедикулярной фиксацией с

применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы из двух парамедианных доступов позволяет планировать доступ к позвоночнику через минимальный кожный разрез в межмышечном промежутке, имплантировать транспедикулярные винты в соответствии с индивидуальной анатомией, располагать межтеловой имплант в межтеловом промежутке с максимальной опорой на тела смежных позвонков для скорейшего формирования костного блока.

2. Стойкое снижение интенсивности болевого синдрома по ВАШ в пояснично-крестцовом отделе позвоночника и в нижних конечностях, уменьшение степени нетрудоспособности по индексу Освестри отмечается как после традиционного, так и после минимально инвазивного методов лечения спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника. В раннем послеоперационном периоде выраженность болевого синдрома в пояснично-крестцовом отделе позвоночника значительно ниже у пациентов, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения (ВАШ через 2 часа после операции в I группе – 9,00 [6,00; 10,00], во II группе – 5,00 [4,00; 6,00] ( $p < 0,001$ )). В отдаленном послеоперационном периоде индекс функциональной дееспособности Освестри статистически значимо ниже также среди пациентов после минимально инвазивного метода лечения (ODI через 12 месяцев после операции в I группе – 16,00 % [10,00 %; 22,00 %], во II группе – 8,00 % [6,00 %; 20,00 %] ( $p < 0,001$ )). Преодоление порогового значения MCID на сроке 12 месяцев для ВАШ и индекса Освестри в I группе отмечено в 89 (85,6 %) случаях, во II группе – в 116 (96,7 %) случаях.

3. Через 12 месяцев после операции достижение цели лечения во II группе пациентов, которым выполнялась операция с использованием минимально инвазивного метода лечения, составило 96,7 %, против 85,6 % в I группе. Цель лечения не была достигнута: в I группе – у 15 (14,4 %) пациентов, во II группе – у 4 (3,3 %). Рассчитанная минимальная клинически значимая разница (MCID) для пациентов, оперированных по поводу нестабильного спондилолистеза пояснично-крестцового отдела позвоночника на сроке 12 месяцев, составляет:

для индекса Освестри – 18 % (9 баллов), для ВАШ – 2 балла.

4. При оценке длительности хирургического вмешательства выявлено, что продолжительность хирургических вмешательств с применением минимально инвазивного метода лечения была в 1,4 раза ниже, чем при традиционном методе лечения ( $p < 0,001$ ). При выполнении операции с применением минимально инвазивного метода лечения достоверно меньше объем интраоперационной кровопотери (в среднем – 140,0 мл, не превышает 400 мл), по сравнению с традиционным методом лечения (в среднем – 400,0 мл) ( $p < 0,001$ ). Койко-день в группе пациентов, перенесших операцию с использованием традиционного метода лечения, был выше, чем при минимально инвазивном методе лечения ( $p < 0,001$ ), составив в среднем 9,0 и 4,0 суток соответственно.

5. Положительная динамика формирования спондилодеза статистически значимо отмечена в обеих группах ( $p < 0,01$ ). Тем не менее при минимально инвазивном методе лечения наблюдается раннее формирование костного блока ( $p < 0,01$ ).

6. Минимально инвазивный метод лечения спондилолистезов минимизирует риски интраоперационного повреждения твердой мозговой оболочки и невралжных структур. Частота интраоперационных осложнений при минимально инвазивном методе лечения достоверно ниже (1,7 %), чем при традиционном методе лечения (7,7 %) ( $p < 0,048$ ).

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Применение минимально инвазивной трансфораминальной межтеловой и транспедикулярной стабилизации межпозвоночного сегмента их двух парамедианных доступов рекомендовано у пациентов с моносегментарным спондилолистезом I-II степени пояснично-крестцового отдела позвоночника, так как данная методика имеет ряд преимуществ перед традиционным методом лечения: позволяет улучшить функциональный исход и качество жизни пациентов, снизить риски интраоперационных осложнений, минимизировать травматичность мягких тканей, а также сократить время операции, объем

кровопотери и сроки госпитализации.

2. Целесообразно использование в структуре одной операционной интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы, применение которых обеспечивает точное планирование хирургического доступа с минимизацией травмы параспинальных мышц, позволяет снизить кровопотерю и уменьшить время операции, способствует значительно повысить точность установки имплантов и устранить лучевую нагрузку на оперирующую бригаду, дает возможность оценить объем выполненной декомпрессии, минимизировать риски развития интраоперационных осложнений и улучшить качество хирургического лечения.

3. Рекомендовано использовать разработанную последовательность этапов применения интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов.

4. Рекомендовано при планировании доступа при минимально инвазивном методе хирургического лечения пациентов со спондилолистезом в первую очередь рассчитать траекторию введения транспедикулярных винтов, учитывая индивидуальное расположение параспинальных мышц. Затем на проекции кожи следует определить точки ввода данных винтов в нижний и верхний позвонок, и после этого между двумя спланированными точками необходимо разметить разрез кожи и выполнить доступ.

### **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. Коновалов Н.А., Усачев Д.Ю., Ильинский Н.О., Бринюк Е.С., Закиров Б.А., Иванов С.В. Сравнительный анализ результатов минимально инвазивного и традиционного хирургического лечения пациентов с пояснично-крестцовым спондилолистезом // Вестник российской академии медицинских наук. – 2025. – № 3. – 219 – 226. – DOI: 10.15690/vramn18073.

2. Коновалов Н.А., Иванов С.В., Ильинский Н.О., Бринюк Е.С., Оноприенко Р.А., Закиров Б.А., Капровой С.В. Сравнительный анализ результатов хирургического лечения пациентов с спондилолистезом пояснично-

крестцового отдела позвоночника с применением традиционного и минимально инвазивного метода лечения // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2025. – № 2. – С. 208 – 215. – DOI: 10.33920/med-01-2502-09.

3. Коновалов Н.А., Иванов С.В., Ильинский Н.О., Бринюк Е.С., Оноприенко Р.А., Закиров Б.А., Капровой С.В. Опыт применения интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2024. – № 9. – С. 1145 – 1158. – DOI: 10.33920/med-01-2409-08.

4. Коновалов Н.А., Иванов С.В., Бринюк Е.С., Закиров Б.А. Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника: систематический обзор // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2024. – № 7. – С. 854 – 860. – DOI: 10.33920/med-01-2407-06.

5. Коновалов Н.А., Иванов С.В., Закиров Б.А., Бринюк Е.С. Способ хирургического лечения спондилолистеза на пояснично-крестцовом уровне // Патент №2832968. Заявка №202414077 от 23.05.2024. Опубликовано 13.01.2025 Бюл. № 2 – 22.

6. Коновалов Н.А., Иванов С.В., Ильинский Н.О., Оноприенко Р.А., Бринюк Е.С., Капровой С.В., Закиров Б.А. Опыт применения интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в минимально инвазивной хирургии спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника // Opinion Leader. – 2025. – № 76. – С. 66 – 74.

7. Коновалов Н.А., Иванов С.В. Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы // XIII съезд Российской Ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS): сборник тезисов. Под редакцией проф. Мануковского В.А. – Санкт-Петербург: 2025. – С. 76.

8. Коновалов Н.А., Иванов С.В. Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы //

X съезд нейрохирургов России: сборник тезисов. Под редакцией акад. РАН Усачева Д.Ю., акад. РАН Крылова В.В., проф. Кравца Л.Я. – Нижний Новгород: 2024. – С. 189.

9. Коновалов Н.А., Иванов С.В. Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника // Сборник статей и тезисов. Медицинская наука: вчера, сегодня, завтра» – М.: Издательство «Тритон», 2024. – С. 1309.

10. Коновалов Н.А., Иванов С.В. Минимально инвазивная хирургия спондилолистезов пояснично-крестцового отдела позвоночника с применением интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы // Сборник работ XI Всероссийского Приоровского форума, посвященного 100-летию профессора К.М. Сиваша. Под редакцией профессора Очкуренко А.А., Москва, 13-14 декабря 2024 года. – М., 2024. – С. 89.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВАШ – визуальная аналоговая шкала

иКТ – интраоперационный компьютерный томограф

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

МПК – минеральная плотность кости

ПДС – позвоночно-двигательный сегмент

ТМО – твердая мозговая оболочка

GAS – шкала достижения целей (англ. Goal Attainment Scale)

HU – значения единицы Хаунсфилда (англ. Hounsfield units)

MCID – минимальная клинически значимая разница (англ. Minimal Clinically Important Difference)

ODI – индекс определения нетрудоспособности Освестри (англ. Oswestry Disability Index)

SD – стандартное отклонение