

На правах рукописи

БОРЩЕНКО  
ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ

МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНОЕ ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ  
ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОРАЖЕНИЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА  
ПОЗВОНОЧНИКА

3.1.10 – Нейрохирургия

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора медицинских наук

Москва – 2023

Работа выполнена в государственном бюджетном учреждении здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»

**Научный консультант:**

**Гринь Андрей Анатольевич** – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук

**Официальные оппоненты:**

**Гуца Артем Олегович** – доктор медицинских наук, профессор РАН, руководитель отделения нейрохирургии с группой сосудистой и эндоваскулярной хирургии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научный центр неврологии»

**Млявых Сергей Геннадьевич** – доктор медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии им. М. В. Колокольцева федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Приволжский исследовательский медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Мануковский Вадим Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института скорой помощи им. И. И. Джанелидзе, заведующий кафедрой нейрохирургии СЗГМУ им. И. И. Мечникова (Санкт-Петербург)

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 72.1.014.01 при Научно-исследовательском институте скорой помощи им. Н. В. Склифосовского по адресу: 129090, г. Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Научно-исследовательского института скорой помощи им. Н. В. Склифосовского и на сайте <https://sklif.mos.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета 72.1.014.01  
доктор медицинских наук, профессор

А. А. Гуляев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Самыми частыми поражениями поясничного отдела позвоночника являются дегенерация межпозвонкового диска и спинальный стеноз. Ежегодно в популяции 5,5% страдает от поражения дисков и 1,41% от спинального стеноза (Ravindra V. et al., 2018). 75–84% всего населения испытывали эпизод боли в нижней части спины, у 5–10% боль переходит в хроническую (de Girolamo G., 1991; Schochat T., Jäckel W., 1998). Доля вмешательств по поводу грыжи диска превышает 30% в нейрохирургических отделениях (Гринь А.А., 2006; Крылов В.В. и др., 2016; Mostofi K., Khouzani K., 2015). Поясничный спинальный стеноз в возрасте 70–74 лет проявляется у 20,5–28,5%, а постарение населения повышает его значение (Otani K. et al., 2013). По данным исследования всемирного бремени болезней ВОЗ, боль в нижней части спины выходила на первое место по утрате трудоспособности в 1990 и 2010 гг. (Hurwitz E. et al., 2018). В США за период с 1996 по 2016 гг. затраты на лечение болей в спине и шее заняли первое место из всех патологий (Dieleman J. et al., 2020). Распространение дегенеративных поражений позвоночника и социально-экономические издержки на их лечение указывают на необходимость развития стратегических направлений здравоохранения с целью влияния на этот процесс, включая и биологические, и интервенционные методы лечения.

### Степень разработанности темы исследования

Нейрохирурги применяют пункционные, эндоскопические, микрохирургические минимально инвазивные техники для лечения дегенеративных поражений позвоночника. Разнообразные морфологические изменения межпозвонкового диска, суставов и связок позвоночника обуславливают полиморфизм клинических проявлений. Выбор адекватного миниинвазивного метода лечения с учетом всех вариантов представляет трудность и служит причиной врачебных ошибок и неудач лечения. Алгоритмы

принятия решений в этой области связаны с работами Н. А. Коновалова (2010), А. О. Гущи (2017), В. А. Бывальцева, З. В. Кошкаревой (2017), В. В. Щедренка (2011). Однако они применяют эмпирическое обобщение собственного опыта, что затрудняет его воспроизведение, обучение и развитие. Современные достижения искусственного интеллекта дают возможность решить эту проблему (Барсегян А.А. и др., 2009). Подобный подход предпринят в создании Российского вертебрологического регистра (Коновалов А.Н. и др., 2011). Однако по мере его использования выявились недостатки внесения данных, малой активности персонала и т.д. (Шевелёв И.Н. и др., 2013). Безусловно, существующие системы интеллектуального анализа и ассистированного принятия решения нуждаются в дальнейшем развитии и отработке их практического применения. Особенное значение они приобретают в условиях развития телемедицины (Реброва О.Ю., 2020).

Несмотря на мировой прогресс в этой области в отечественной практике миниинвазивной хирургии позвоночника уделяется недостаточно внимания, что выявляется анализом базы данных научных трудов. Кроме того, в каждой из методик существуют нерешенные проблемы. При запросе «дегенеративное поражение поясничного отдела позвоночника» в eLIBRARY.ru/ РИНЦ (Россия) с 2005 по 2020 гг. из 65 журнальных статей лишь 10 посвящены пункционным, микрохирургическим, эндоскопическим методам. Такой перспективный пункционный метод, как гидродискэктомия, представлен лишь собственным исследованием и пятью зарубежными работами (Борщенко И.А. и др., 2009; Han H.J. et al., 2009; Wang W. et al., 2010; Hardenbrook M. et al., 2013; Cristante A. et al., 2016). Чрескожные эндоскопические вмешательства до сих пор изучены недостаточно: в 35 статьях по этой теме трансфораминальные техники исследовали у 866 пациентов, междужковые - у 197, в то время как эндоассистенция анализирована у 1763 пациентов. (Худяев А.Т. и др., 2006; Арестов С.О. и др., 2017; Волков И.В. и др., 2017; Коновалов Н.А. и др., 2017; Мержоев А.М. и др., 2017; Кравцов М.Н. и др., 2018; Габечия Г.В., Древаль О.Н., 2018; Бывальцев В.А. и др., 2019).

Щадящая техника двусторонней микрохирургической декомпрессии из одностороннего доступа, разработанная в конце 1990-х исследована лишь в 19 отечественных работах (Холодов С.А., 2015; Гринь А.А. и др., 2019; Млявых С.Г. и др., 2019; McCulloch J.A., 1991; Poletti C., 1995; diPierro C. et al., 1996; Spetzger U. et al., 1997; Palmer S., Palmer T., 2002). Также не решена проблема лечения дегенеративного спинального стеноза, осложненного спондилолистезом. При этом последние исследования демонстрируют, что результаты «чистой» декомпрессии в таких случаях сопоставимы с декомпрессивно-стабилизирующим подходом (Халепа Р.В. и др., 2018; Климов В. С. и др., 2017; Austevoll I. et al., 2020).

Проблема главного осложнения трансфораминального доступа в виде повреждения выходящего спинномозгового нерва, которое регистрируется в 2,0 – 6,1%, не решена до сих пор (Ahn Y. et al., 2014; Sairyо K. et al., 2014; Li Z. et al., 2017).

Перспективный метод стимуляции регенерации хряща межпозвонкового диска с помощью пункционного облучения низкоинтенсивным лазером, лазерная реконструкция диска, изучен хорошо в эксперименте, но клинические исследования малочисленны: в работе С. В. Желваков (2003) описал 34 пациента, В. А. Басков (2010) – 73, В. С. Жирнов и В. П. Сакович (2011) изучили 42 пациента, представляя единственное исследование в рецензированном научном журнале. До сих пор не получено подтверждение регенераторных изменений в диске человека после подобного лазерного воздействия, кроме единственного случая гистологического исследования. Количественный МРТ-анализ может заполнить этот пробел.

Актуальной остается проблема рецидивов грыжи после микродискэктомии, с частотой от 1,7% до 18% (Бывальцев В.А. и др., 2012; Hirabayashi S. et al., 1993; Eseoğlu M., Akdemir H., 2010; Sedighi M., Haghnegahdar A., 2014). Случаи высокого риска рецидива сопровождаются агрессивным удалением части диска, что ускоряет дегенерацию. С целью уменьшения инвазивности микродискэктомии предлагается использовать ее

сочетание с гидродискэктомией (Hardenbrook M., White S., 2007). Подобный способ уменьшения частоты рецидива малоизучен и представляется перспективным.

Безусловно, внедрение системы лечения дегенеративных поражений позвоночника невозможно без программы обучения, где особую роль играют дистанционные и симуляционные технологии.

### Цель исследования

Создание системы выбора, применения и внедрения методов минимально инвазивного хирургического лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника на основе искусственного интеллекта.

### Задачи исследования

1. Морфометрическое изучение анатомических особенностей трансфораминального доступа как основы для большинства минимально инвазивных техник пункционных и эндоскопических вмешательств на поясничном отделе позвоночника с целью снижения риска осложнений и улучшения результатов лечения.

2. Совершенствование технологии применения и оценка эффективности метода чрескожной эндоскопической трансфораминальной поясничной дискэктомии.

3. Совершенствование технологии применения и оценка эффективности метода чрескожной эндоскопической междужковой поясничной дискэктомии.

4. Совершенствование технологии использования и оценка эффективности метода пункционной поясничной гидродискэктомии.

5. Разработка метода регенераторного лечения дегенеративного поражения поясничных межпозвонковых дисков на основе пункционного неабляционного низкоинтенсивного лазерного облучения хрящевой ткани.

6. Совершенствование технологии применения и оценка эффективности метода микрохирургической декомпрессии содержимого позвоночного канала при дегенеративном поясничном спинальном стенозе с применением одностороннего доступа для моно- и билатеральной декомпрессии.

7. Сравнительный анализ клинических и радиологических результатов лечения пациентов с дегенеративным поясничным спинальным стенозом, осложненным спондилолистезом 1 ст, методами микрохирургической декомпрессии и декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства.

8. Разработка способа повышения эффективности существующей техники микрохирургического удаления поясничных межпозвонковых грыж и снижения риска рецидива грыжи на оперируемом уровне.

9. Создание и внедрение программы дистанционного обучения методам эндоскопической, пункционной минимально инвазивной хирургии поясничного отдела позвоночника в рамках концепции непрерывного медицинского образования.

10. Создание алгоритма выбора методов минимально инвазивной хирургии для лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника с использованием программных средств искусственного интеллекта.

#### Научная новизна исследования

1. Разработан алгоритм выбора эффективного метода минимально инвазивного хирургического вмешательства при дегенеративном поражении поясничного отдела позвоночника с применением новых аналитических программ искусственного интеллекта.

2. Произведено морфометрическое изучение анатомических особенностей межпозвонкового отверстия поясничного отдела позвоночника на основе количественного МРТ анализа как основы для безопасного выполнения пункционных и эндоскопических технологий спинальной хирургии.

3. Впервые в Российской Федерации оценена эффективность и определена область применения пункционной поясничной гидродискэктомии для лечения дегенеративного поражения поясничных межпозвонковых дисков.

4. Впервые в Российской Федерации и в мире с участием автора разработан и внедрен метод тканевой инженерии для лечения дегенеративного поражения хрящевой ткани позвоночника посредством лазерной реконструкции межпозвонковых дисков.

5. Доказана с применением количественного МРТ анализа регенераторная реакция хряща межпозвонкового диска человека после пункционного низкоинтенсивного лазерного неабляционного облучения.

6. Предложен новый способ повышения эффективности микрохирургической поясничной дискэктомии в виде снижения частоты рецидивных межпозвонковых грыж благодаря сочетанию вмешательства с интраоперационной гидродискэктомией.

7. Разработана и внедрена программа дистанционного обучения методам эндоскопической, пункционной минимально инвазивной хирургии поясничного отдела позвоночника с применением современных компьютерных программ анимации хирургической техники.

#### Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость данной научной работы заключается в том, что результаты исследовательской части могут быть использованы в дальнейшем изучении и совершенствовании методов минимально инвазивного хирургического лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника. В частности, в развитии методики регенераторного лечения дегенеративного поражения межпозвонковых дисков; в совершенствовании методов пункционного, эндоскопического и микрохирургического удаления симптоматических грыжевых выпячиваний, микрохирургического лечения дегенеративного спинального стеноза. Детальное изучение анатомических особенностей трансфораминального доступа позволило создать интерактивную



программу обучения данной хирургической технике. Также исследованный процесс получения алгоритма принятия решения о выборе минимально инвазивного вмешательства с применением современных программных средств искусственного интеллекта может быть использован для дальнейшего изучения и создания систем компьютерного ассистированного принятия решения в медицинской практике.

Практическая значимость данной научной работы заключается в том, что в практике работы ГБУЗ НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского ДЗМ и Клиники «Ортоспайн», г. Москва апробированы и внедрены новые методы минимально инвазивного хирургического лечения грыж межпозвонковых дисков с применением эндоскопической техники (чрескожная эндоскопическая поясничная дискэктомия трансфораминальным и междузжковым доступом). Апробирован и широко внедрен новый метод пункционного лечения поясничных межпозвонковых грыж с помощью гидродискэктомии. Разработан и внедрен новый метод лечения хронического дискогенного болевого синдрома методами тканевой инженерии посредством малоинвазивного пункционного доступа в виде пункционной лазерной реконструкции дисков. Апробирован и широко внедрен в практику метод лечения дегенеративного поясничного спинального стеноза с применением одностороннего доступа для моно- и билатеральной декомпрессии. Произведено определение показаний и широкое внедрение в практику сочетанного применения микрохирургической дискэктомии с интраоперационной гидродискэктомией с целью повышения эффективности вмешательства и уменьшения частоты рецидива межпозвонковых грыж. На базе учебно-клинического отдела ГБУЗ НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского ДЗМ и Клиники «Ортоспайн», г. Москва и разработана и апробирована программа дистанционного обучения методам эндоскопической, пункционной минимально инвазивной хирургии поясничного отдела позвоночника с применением современных компьютерных программ анимации хирургической техники и удаленного интернет-доступа, позволяющая осуществлять непрерывное

медицинское образование врача без отрыва от лечебной деятельности. Экономический эффект подобной формы обучения основан на уменьшении издержек, связанных с организацией секционного анатомического театра, личного визита к месту обучения, прерывания трудовой деятельности в лечебном учреждении. Детальное описание практического использования и хирургической техники вышеуказанных методов минимально инвазивной хирургии вместе с предложенным алгоритмом хирургического выбора и программой дистанционного обучения позволяют широко внедрить их в практику других лечебных учреждений.

На основе современных программных средств математического интеллектуального анализа данных создан алгоритм выбора метода минимально инвазивного хирургического вмешательства для лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника, который, в рамках принципов доказательной медицины, включает в себя эндоскопические, пункционные, микрохирургические техники. Данный оптимальный алгоритм учитывает показания и противопоказания к каждому из методов и анализирует выраженность дегенеративного поражения межпозвонкового диска, степень сужения позвоночного канала, морфологическую основу доминирующего болевого синдрома, выраженность функциональных неврологических нарушений, анатомическую локализацию и размер грыжевого дискового выпячивания, хирургическую доступность грыжевого выпячивания, что позволяет выбрать наиболее эффективный метод хирургического воздействия. Созданный алгоритм является открытой самообучающейся программой и способен прогрессивно трансформироваться по мере введения новых данных и результатов лечения.

Предложенный стратегический подход использования минимально инвазивных хирургических технологий с применением возможностей искусственного интеллекта, а также программных решений удаленного обучения врачей, позволяет успешно внедрять его в систему практического здравоохранения, эффективно решая важную социальную и хозяйственную

проблему лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника.

### Методология и методы исследования

Работа основана на ретроспективном и проспективном исследовании пациентов, объединенных общей нозологией наиболее распространенных дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника. Для лечения этой группы больных применены современные пункционные, эндоскопические и микрохирургические методы минимально инвазивной хирургии. В отношении каждого метода выполнен детальный клинический анализ результатов лечения, а также решение существующих медицинских и хирургических проблем, что дает возможность объединить данные методы в цельную систему лечения на основании программного математического интеллектуального анализа с выработкой алгоритма выбора адекватного хирургического вмешательства. Работа представляет собой продольное смешанное исследование с ретроспективной когортной оценкой клинических результатов лечения и проспективным клинико-морфологическим радиологическим исследованием.

Объект исследования – пациенты с дегенеративными поражениями поясничного отдела позвоночника (n=1323).

Предмет исследования – отдаленные клинические, радиологические и морфологические результаты минимально инвазивного хирургического лечения данных пациентов методами пункционных, эндоскопических и микрохирургических вмешательств.

Методология получения информации для исследования включала в себя качественные и количественные оценки. Для формализации полученной информации применяли балльные шкалы и опросники оценки клинического состояния, в частности визуально-аналоговую шкалу боли (ВАШ), опросник качества жизни SF36, опросник оценки трудоспособности Освестри (при исследовании эффективности стабилизирующего вмешательства). Для оценки морфологических изменений производили качественные и количественные

морфометрические МРТ исследования. Статистическая обработка данных выполнялась средствами стандартного статистического анализа, в том числе методом логистического регрессионного анализа. Для объективизации и автоматизации создания алгоритма выбора способа хирургического лечения применили методики программного интеллектуального анализа данных «дерево решений» и «нейросеть». Исследование является первичным; подавляющее число хирургических вмешательств, все измерения и оценки выполнены автором лично.

Данное исследование проведено в соответствии с современными требованиями к научно-исследовательской работе.

#### Положения, выносимые на защиту

1. Учет анатомических морфометрических особенностей межпозвонкового отверстия позволяет модифицировать эндоскопический хирургический доступ и избежать связанных с ним ятрогенных хирургических осложнений. Размер зоны безопасного хирургического вмешательства в межпозвонковом отверстии зависит от анатомического уровня пораженного межпозвонкового диска.

2. Чрескожная эндоскопическая трансфораминальная и междузвонковая поясничная дискэктомия, пункционная поясничная гидродискэктомия являются эффективными методами лечения диско-радикулярного конфликта, связанного с грыжей поясничного межпозвонкового диска.

3. Метод тканевой инженерии хрящевой ткани путем пункционной лазерной реконструкции диска является эффективным способом лечения хронического дискогенного болевого синдрома, демонстрируя высокую эффективность вне зависимости от возраста, пола пациента, анатомического уровня вмешательства и количества облученных межпозвонковых дисков.

4. Существующая традиционная техника микрохирургического удаления поясничных межпозвонковых грыж в случаях сохраненной высоты межпозвонкового диска и высокого риска повторения грыжевого выпячивания

может быть дополнена интраоперационной гидродискэктомией с целью уменьшения частоты рецидивных грыж.

5. Микрохирургическая декомпрессия содержимого позвоночного канала при дегенеративном спинальном поясничном стенозе с применением одностороннего доступа для моно- и билатеральной декомпрессии является эффективным методом минимально инвазивного вмешательства, позволяющая ликвидировать компрессию корешков спинного мозга, быстро восстановить качество жизни как у пациентов молодого, так и пожилого возраста. Микрохирургическое декомпрессивное вмешательство при дегенеративном поясничном спинальном стенозе, осложненном спондилолистезом 1 степени, оказывает высокий положительный клинический эффект, сопоставимый с декомпрессивно-стабилизирующей операцией.

6. Современные дистанционные учебные программы анимации хирургического вмешательства позволяют эффективно обучать врача данным методам лечения и одновременно минимизировать издержки, связанные с организацией секционного анатомического театра, личного визита к месту обучения, прерывания трудовой деятельности в лечебном учреждении.

7. Оптимальный алгоритм выбора хирургического вмешательства (эндоскопического, пункционного, микрохирургического) должен учитывать выраженность дегенеративного поражения межпозвонкового диска, степень сужения позвоночного канала, морфологическую основу доминирующего болевого синдрома, выраженность функциональных неврологических нарушений, анатомическую локализацию, размер и хирургическую доступность грыжевого дискового выпячивания. Указанный алгоритм должен быть составлен с применением современных методов искусственного интеллекта. Подобный алгоритм позволяет выбрать наиболее эффективный метод минимально инвазивного хирургического лечения дегенеративного поражения позвоночника.

Степень достоверности и апробацию результатов

Высокая достоверность данной работы основана на анализе репрезентативного источника данных обширной базы пациентов с применением современных научных методов анализа данных, в том числе с организацией сравнительных контрольных исследований, применением методов доказательной медицины в виде количественной шкальной оценки результатов, количественных морфометрических исследований, современного аппарата статистического анализа, методов программного математического интеллектуального анализа данных.

Апробация результатов данного исследования связана с внедрением ее результатов и практических рекомендаций в клиническую работу нейрохирургического отделения ГБУЗ НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, в практику Клиники «Ортоспайн», г. Москва.

Также результаты представлены на многочисленных устных докладах научных форумов, в том числе на III-м съезде нейрохирургов России в 2002 г., г. С.-Петербург, на IV-м съезде нейрохирургов России в 2006 г., г. Москва, на V-м съезде нейрохирургов России в 2009 г., г. Уфа, на Сибирском международном нейрохирургическом форуме в 2012 г., г. Новосибирск, на V-м съезде хирургов-вертебрологов России в 2014 г., г. Саратов, на VI-м съезде хирургов-вертебрологов России в 2015 г., г. Краснодар, на VIII-м Всероссийском съезде нейрохирургов России в 2018 г., г. С.-Петербург, на X-м съезде Ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS) с участием Ассоциации нейрохирургов России, Всемирной Федерации Нейрохирургических обществ (WFNS), Европейской Ассоциации Нейрохирургических обществ (EANS), Северо-Американского Спинального общества (NASS) и Итальянского Общества Нейрохирургов (SINCH) в 2019 г., г. Москва.

### Публикации

Результаты данного исследования и основные положения диссертации изложены в 21 научной статье реферируемых научных журналов, среди которых 16 изданий, включенных в перечень научных публикаций ВАК, 4 статьи в

журналах, индексируемых международной библиографической базой Скопус (Scopus).

### Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, приложения, списка литературы, включающего 84 отечественных и 386 зарубежных источника. Диссертация изложена на 346 страницах машинописного текста, иллюстрирована 52 таблицами и 149 рисунками. Все рисунки без специального указания являются оригинальными авторскими изображениями.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В Главе 1 настоящего исследования изложены теоретические основы решения и современное состояние проблемы дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника.

Глава 2 посвящена материалам и методам исследования. Клиническое и морфологическое исследование по теме диссертации выполнено на базе ГБУЗ НИИ скорой помощи ИМ. Н.В. Склифосовского ДЗМ и Клиники «Ортоспайн», г. Москва с включением в него 1323 пациентов за период с 2002 по 2020 гг. Они страдали дегенеративным поражением межпозвонковых дисков, осложненным хроническим дискогенным болевым синдромом, симптоматическими дисковыми грыжевыми выпячиваниями, дегенеративным поясничным спинальным стенозом, осложненным болевым синдромом в виде перемежающейся нейрогенной хромоты или ее сочетания с радикулярным синдромом. Минимально инвазивные хирургические вмешательства представляли собой различные варианты пункционных, эндоскопических и микрохирургических операций: пункционная лазерная реконструкция дисков (ЛРД) (n=216), пункционная гидродискэктомия (ГД) (n=38), чрескожная эндоскопическая трансфораминальная поясничная дискэктомия (ЭТПД) (n=130), чрескожная эндоскопическая междузвонковая поясничная дискэктомия (ЭМПД)

(n=163), микрохирургическая дискэктомия (МД) (n=341), микрохирургическая декомпрессия (МДК) содержимого позвоночного канала (n=165). Группа пациентов с дегенеративным спинальным стенозом, осложненным спондилолистезом 1 ст. (n=83). Среди нее выделена подгруппа двусторонней микрохирургической декомпрессии из одностороннего доступа (n=41) и группа декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств (n=42). Две трети всех операций выполнены лично автором. Срок наблюдения за клиническими результатами вышеописанных методов лечения составил в среднем 23,28 мес., 95%-й ДИ (21,75–24,82). Также исследовали сочетание МД с интраоперационной ГД с целью снижения частоты рецидивов грыжевого выпячивания (n=109). Для максимально объективной оценки эффективности пункционной ЛРД выполнили межгрупповое сравнение клинических результатов с опубликованными в 2018 г. показателями группы белого европейского населения, которое имело подтвержденный хронический дискогенный болевой синдром на фоне изолированного дегенеративного поражения поясничных межпозвонковых дисков [Geurts J. и др., 2018].

Морфологические и морфометрические исследования выполнили с применением количественного МРТ анализа в программе RadiAnt DICOM Viewer 2020.2. Измерения положения выходящего нервного корешка в межпозвонковом отверстии по отношению к диску и межпозвонковому суставу выполнили у 50 пациентов на 200 дисках на уровне L2-S1 позвонков стандартными средствами «Длина», «Угол» в T1ВИ и T2ВИ. Количественные морфологические измерения интенсивности сигнала выполняли инструментом «Эллипс» в режиме STIR, как наиболее адекватном для оценки степени гидратации и регенерации хрящевой ткани после ЛРД. Исследовали 51 облученный диск, 73 необлученных дисков (контроль), а также 113 измерений от костной ткани смежных позвонков у 28 пациентов. Срок наблюдения составил 0,93–14,80 месяцев, в среднем – 4,12 +/- 4,26 месяца.



Лазерную реконструкцию дисков выполняли инфракрасным лазером через трансфораминальный пункционный доступ под местной анестезией в сочетании с предварительной провокационной дискографией (Рисунок 1).

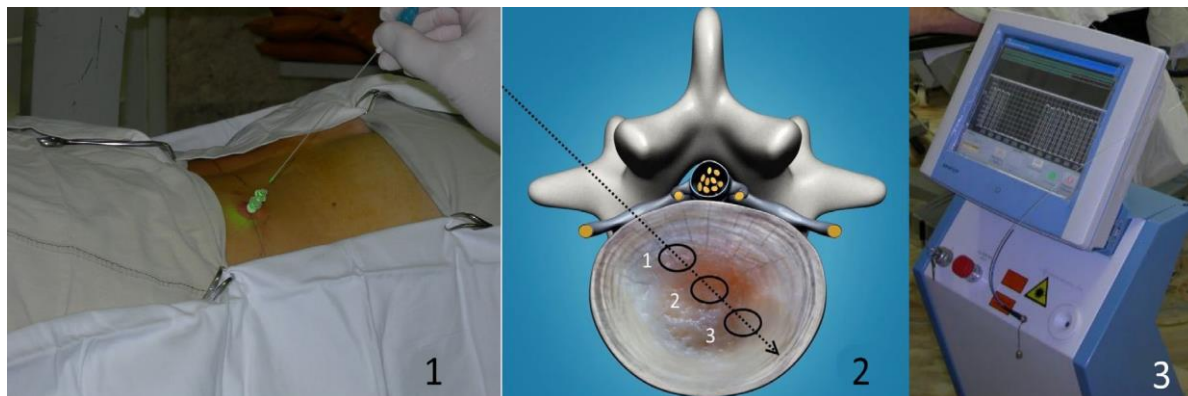


Рисунок 1 – Общая схема выполнения лазерной реконструкции дисков: 1 – общий вид процедуры, 2 – зоны облучения диска, 3 – общий вид аппарата для лазерной реконструкции диска

Облучение выполняли эрбиево-волоконным лазером 1,56 мкм мощностью 120 Вт в течение 90 сек на зону в импульсном режиме. Облучали 1–5 дисков, чаще два. Основным показанием к процедуре являлись хронические дискогенные боли, подтвержденные МРТ и провокационной дискографией. Исследовали влияние на эффективность ЛРД возраста, пола, числа оперированных дисков, анатомического уровня вмешательства, а также ее временную динамику.

Методика пункционной ГД основана на вакуум-эффекте Вентури и заключалась в трансфораминальной механической нуклеотомии и секвестрэктомии зондом-гидрорезектором диаметром 3,8 мм (Hydrocision, Billerica, MA, USA; SpineJet-TM Micro) (Рисунок 2). Процедуру выполняли под потенцированной местной анестезией.

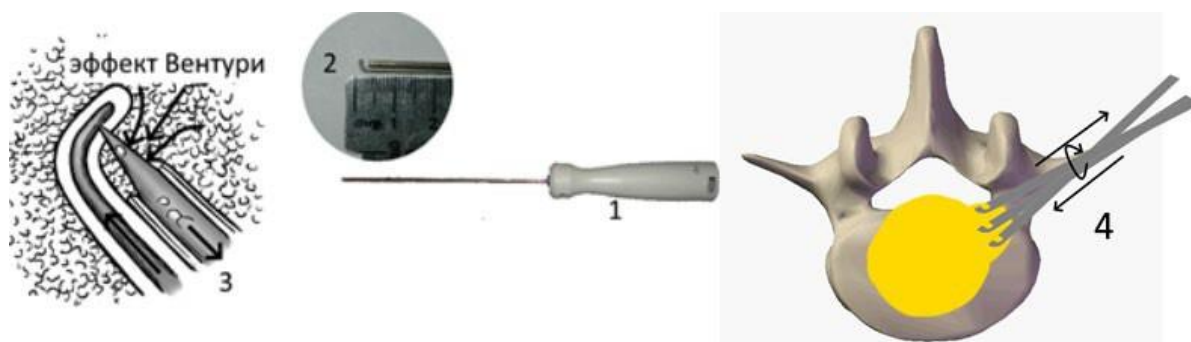


Рисунок 2 – Рабочий зонд-гидрорезектор: 1 – общий вид гидрорезектора, 2 – рабочий конец гидрорезектора, 3 – механизм действия гидрорезекции, 4 – направления движения гидрорезектора

Для процедуры отбирали пациентов с небольшими грыжевыми выпячиваниями – в среднем 5,47 мм, 95% ДИ (5,09 5,85), на широком основании, под задней продольной связкой. Чаще всего вмешивались на уровне L4L5.

Чрескожную эндоскопическую трансфораминальную дискэктомию и междужковую дискэктомию выполняли инструментами Richard Wolf, наборами YESS и Vertebris. Чаще всего вмешивались на уровне L4L5 при трансфораминальном доступе и L5S1 при междужковом. Показанием служили наличие симптоматического дискового грыжевого выпячивания, подтвержденного МРТ. При отборе пациентов исключали случаи грубого неврологического дефицита, оссификации грыжи, миграции секвестра за пределы досягаемости эндоскопа. На Рисунке 3 представлены схемы ЭТПД ЭМПД.

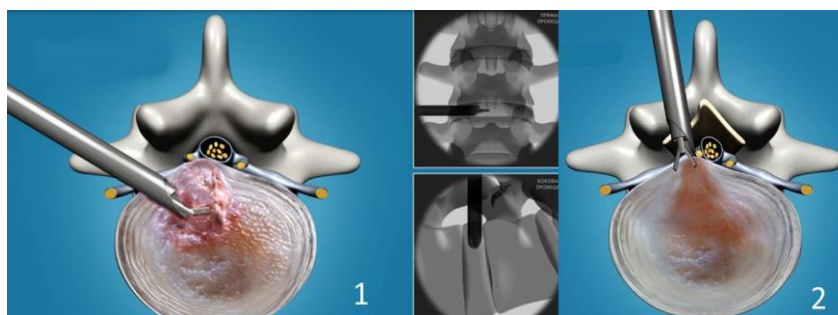


Рисунок 3 – Схема чрескожных эндоскопических вмешательств: 1 – трансфораминальная дискэктомия, 2 – междужковая дискэктомия

Микрохирургическую дискэктомию выполняли во всех случаях, когда имелись противопоказания к пункционным и эндоскопическим вмешательствам по поводу симптоматической дисковой грыжи. Одноуровневое вмешательство являлось превалирующим – 91,90%. Уровни L4L5 и L5S1 составили 95,48% от всех операций. Операцию выполняли по стандартной технике с использованием ранорасширителей по Каспару, которая подробно описана в данной работе.

Часть пациентов имела признаки высокого риска рецидива грыжевого выпячивания (Крутько А.В., Байков Е.С., 2015; Kim K., Kim P., 2009): средний размер грыжевого выпячивания – 6,60 мм с широким его основанием, 95%-й ДИ (5,96 7,23), среднее значение индекса высоты диска – 0,39, 95%-й ДИ (0,31 0,46), средняя высота диска 10,08 мм, 95%-й ДИ (8,18 11,9). В этом случае сочетали МД с интраоперационной ГД.

Микрохирургическую декомпрессию выполняли при наличии признаков дегенеративного спинального стеноза (центрального, латерального, комбинированного), осложненного клиническими проявлениями нейрогенной хромоты или радикулярного синдрома. У части пациентов сочетали декомпрессию с удалением значимого грыжевого выпячивания. Исключали пациентов с признаками сегментарной нестабильности (сагиттальная угловая ротация позвонка превышала  $10^\circ$ , его сагиттальная трансляция превышала 4 мм) [Leone A. и др., 2009]. Выделили подгруппу пациентов двусторонней МДК из одностороннего доступа без вмешательства на диске (n=68), внутри которой оценили влияние возраста на эффект вмешательства. Все пациенты в ней имели признаки латерального стеноза, центральный стеноз по градации К. Шизас распределились следующим образом (проценты): А – 41,18, В – 27,94, С – 20,59, D – 10,29. На Рисунке 4 представлены основные этапы МДК.

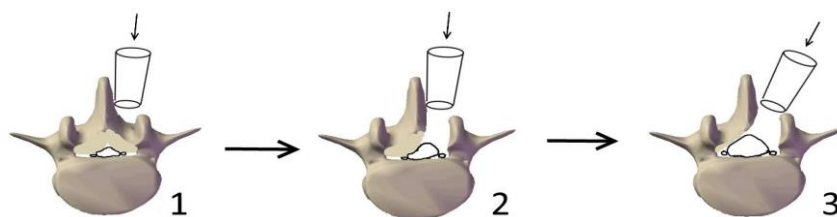


Рисунок 4 – Схема двусторонней поясничной микрохирургической декомпрессии корешков конского хвоста из одностороннего доступа: 1 – начальный этап, расположение воронки ранорасширителя, 2 – гомолатеральная декомпрессия нервных корешков, 3 – контралатеральная декомпрессия нервных корешков

Декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство в подгруппе спинального стеноза, осложненного спондилолистезом выполняли стандартной методикой трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза (ТПМС) и одновременной транспедикулярной фиксации позвонков.

Для обучения программы искусственного интеллекта и составления алгоритма выбора метода лечения применили программный пакет Дедуктор (Deductor Academic 5.3.0.88). Для решения задачи выбора вида хирургического лечения применили метод дерева решений и метод нейросетей. Данные на входе в систему учитывали клиническую картину и морфологические дегенеративные изменения на основании МРТ и КТ. Эти критерии состояли из 14 пунктов: 1) наличие дегенеративного изменения межпозвонкового диска; 2) ширина основания грыжи (узкое или широкое); 3) наличие протрузии диска; 4) наличие экструзии диска; 5) выход экструзии за пределы задней продольной связки; 6) миграция грыжевого фрагмента за пределы досягаемости эндоскопом; 7) оссификация грыжевого фрагмента; 8) сагиттальный размер грыжевого выпячивания (до 6 мм или более); 9) высота межпозвонкового диска (сохранение высоты диска более 50% от смежного здорового диска, высокий индекс высоты диска); 10) наличие корешковых или дискогенных болей; 11) присутствие в клинической картине кауда-синдрома или его элементов; 12) степень пареза

конечности (сила более 3 баллов или менее); 13) присутствие центрального спинального стеноза; 14) присутствие латерального спинального стеноза. Методы лечения явились выходными данными алгоритма, включили следующие техники: 1.) Пункционная ЛРД; 2) Пункционная ГД; 3) ЭТПД; 4) ЭМПД; 5) МД; 6) МДК; 7) сочетание МД или МДК с ГД; 8) сочетание МД и МДК. Для исключения формирования ложного решения выполнили традиционные статистические исследования эффективности лечения в каждой группе ( $p < 0,05$ ).

Для успешного внедрения системы лечения создали и внедрили программу интерактивного обучения нейрохирурга с разработкой модуля освоения техники эндоскопической чрескожной трансфораминальной поясничной дискэктомии, расположенной на соответствующем сайте.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При морфометрическом МРТ анализе выявили наибольшее расстояние от выходящего корешка до диска и до межпозвонкового сустава на уровне L5S1, где также определялся наибольший угол отхождения корешка в отношении диска ( $p < 0,05$ ), корешок на уровне L3L4 прилежал к диску плотнее всего. Рисунок 5 демонстрирует пример измерения и график этой закономерности.

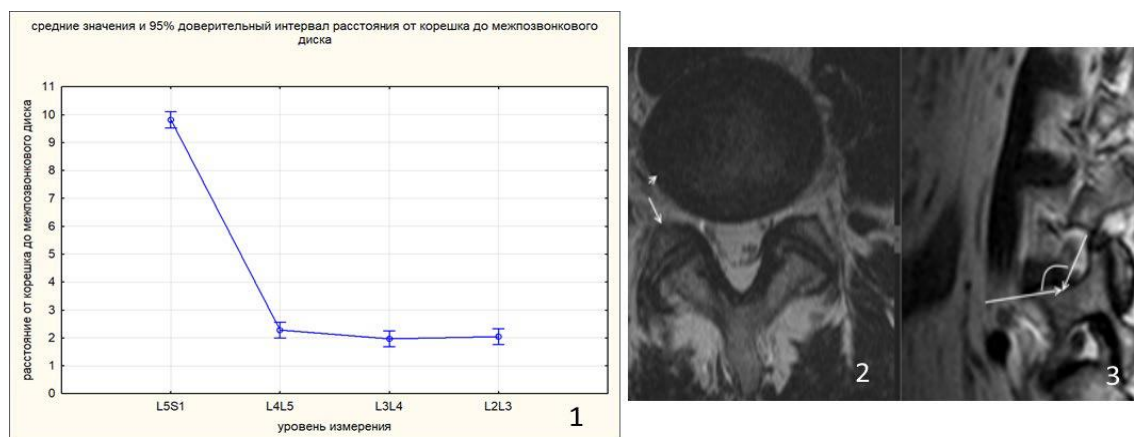


Рисунок 5 – Пример и результаты МРТ-морфометрического исследования треугольника безопасности: 1 – график расстояния от корешка до диска (мм), 2 – МРТ, аксиальный срез, направления измерения расстояния от корешка до

диска и межпозвонкового сустава, 3 – МРТ, сагиттальный срез, измерение угла положения корешка к плоскости диска

Данное морфометрическое исследование выявило наименьший размер безопасной области в межпозвонковом отверстии на уровне L2L3, L3L4, где имеется повышенный риск травмирования корешка.

При анализе эффектов пункционной ЛРД отмечали значимое улучшение качества жизни (рост средних баллов SF36 с 26,13 до 65,91, и уменьшение болевого синдрома (средние значения боли ВАШ с 7,16 до 2,08 баллов) ( $p < 0,05$ ). Важно, что боли в ноге не изменились ( $p > 0,05$ ). При оценке по Макнаб 91,68% пациентов отметили положительные результаты. При логистическом анализе эффектов ЛРД в различных подгруппах выявили ее высокую результативность, несмотря на разделение по полу, возрасту, сроку наблюдения. Например, отношение шансов (ОШ) в подгруппе мужчин оказалось 3,54, женщин – 2,43, в подгруппе ЛРД на одном диске ОШ – 2,42, на двух ОШ – 3,15. Во всех анализируемых подгруппах наблюдались высокие показатели процента конкордантности – 96,2–99,0%, а в подгруппе с признаками регенераторных изменений достиг 100%. Это означает высокую эффективность ЛРД. На Рисунке 6 представлены сравнительные примеры ROC-кривых для эффектов ЛРД в подгруппах разделения по возрасту.

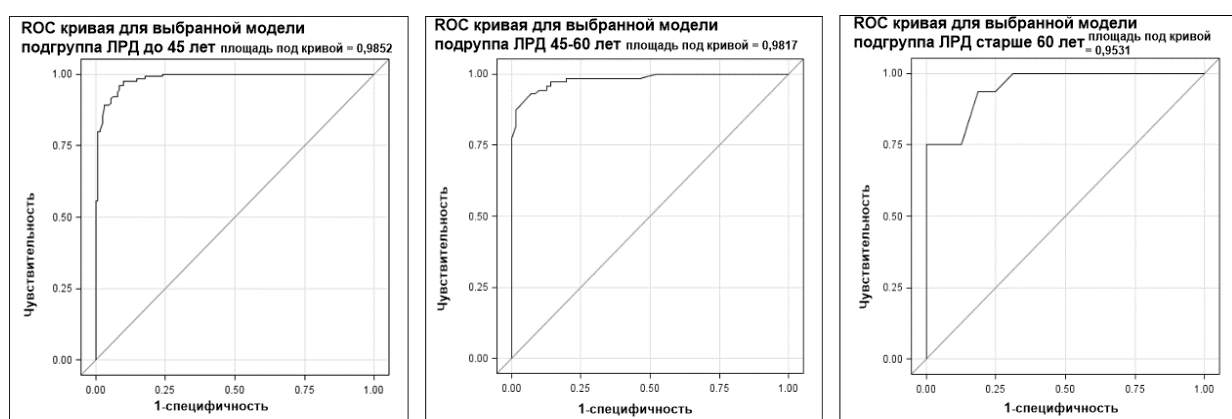


Рисунок 6 – ROC-кривые для эффектов лазерной реконструкции в подгруппах разделения по возрасту

Абсолютная эффективность ЛРД доказана сравнением с независимой

группой белого европейского населения (n=80), страдающего дискогенным болевым синдромом ( $p < 0,05$ ) (Рисунок 7).

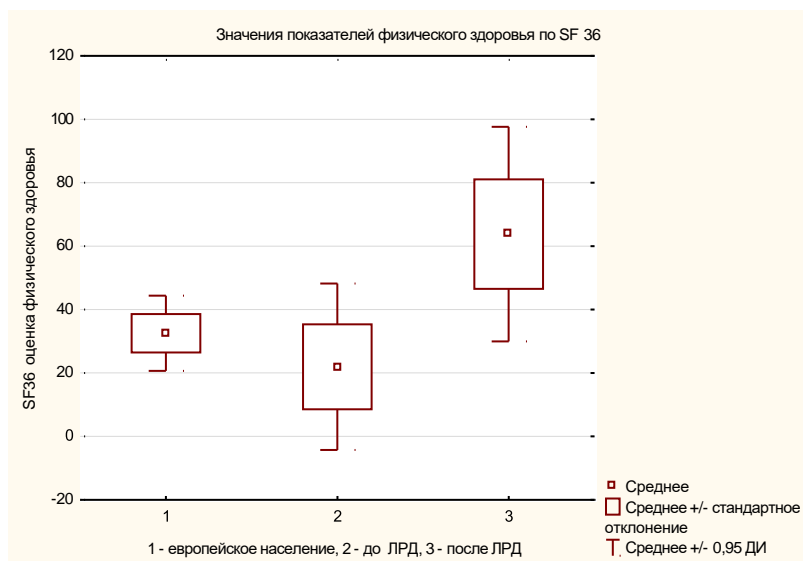


Рисунок 7 – Сравнение показателей физического здоровья по шкале качества жизни SF36 в независимой группе европейского населения

При морфологическом количественном МРТ исследовании выявили достоверное повышение интенсивности сигнала от облученного диска на сроке 4 месяца на 14,0% ( $p < 0,05$ ), при этом контрольные измерения от прилежащей костной ткани не изменились ( $p > 0,05$ ).

На Рисунке 8 представлен пример последовательного улучшения состояния межпозвонкового диска после ЛРД в течение 5,44 лет.



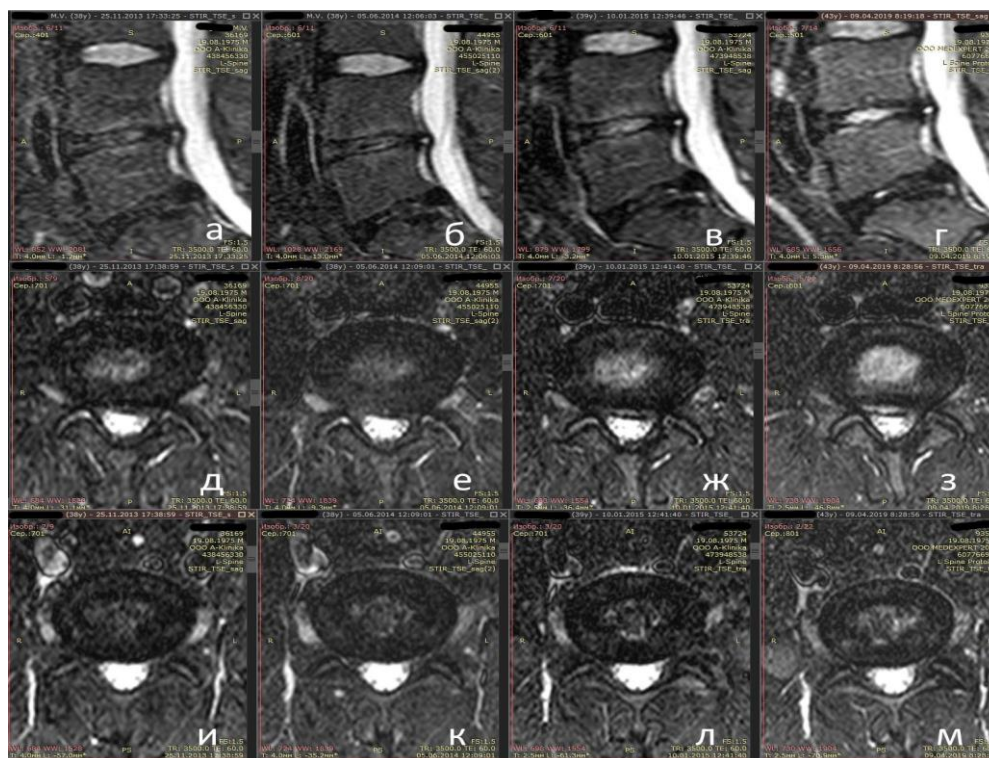


Рисунок 8 – Динамика МРТ морфологической картины в дисках до и после лазерной реконструкции дисков, режим STIR: а, б, в, г – сагиттальные срезы; д, е, ж, з – аксиальные срезы диска L4L5 позвонков; и, к л, м – аксиальные срезы диска L5S1 позвонков; а, д, и – до лечения; б, е, к – через 0,53 года после лечения; в, ж, л – 1,14 года после лечения; г, з, м – через 5,44 года после лечения

В результате применения пункционной гидродискэктомии выявилось достоверное снижение корешковой боли в ноге 5,66 до 0,82, 95%-й ДИ (0,16 1,47), ( $p < 0,05$ ). Также улучшились показатели качества жизни опросника SF36 ( $p < 0,05$ ). Положительные результаты по Макнаб отмечали 78,95% пациентов. Логистический анализ подгрупп ГД с превалированием боли в спине ( $n=10$ ) или превалированием боли в ногах ( $n=31$ ) выявили меньший эффект в первой подгруппе (Рисунок 9). Пример эффективного применения пункционной ГД приведен ниже (Рисунок 10).



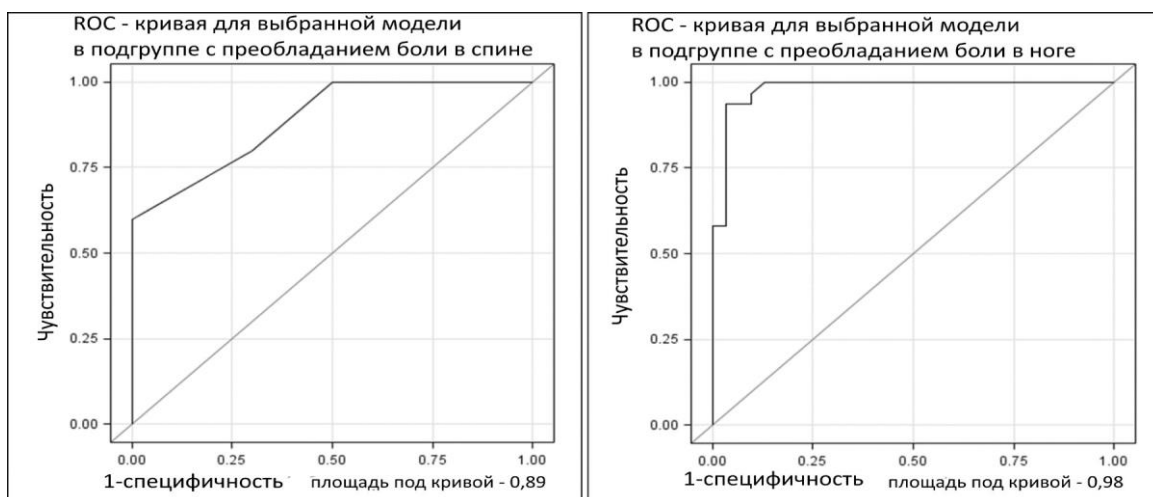


Рисунок 9 – ROC-кривые для подгрупп пункционной гидродискэктомии с преобладанием боли в спине (левое изображение) и преобладанием болей в ноге (правое)

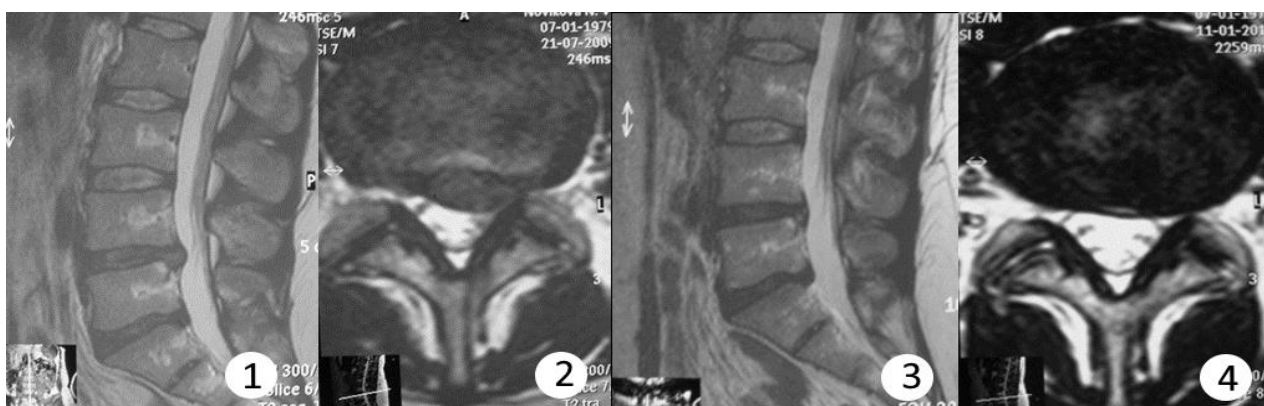


Рисунок 10 – Динамика МРТ, ТВ2 ВИ до и после пункционной гидродискэктомии L4L5, Т2 ВИ: 1, 2 – до операции, 3,4 – через 5,7 месяцев после операции

В группах эндоскопической дискэктомии отмечалось достоверное снижение боли и улучшение качества жизни ( $p \lll 0,05$ ). Эффективность по опроснику Макнаб в группе ЭТПД достигла 92,53%, а ЭМПД 93,4%. На Рисунке 11 представлены МРТ- результаты эндоскопических вмешательств.

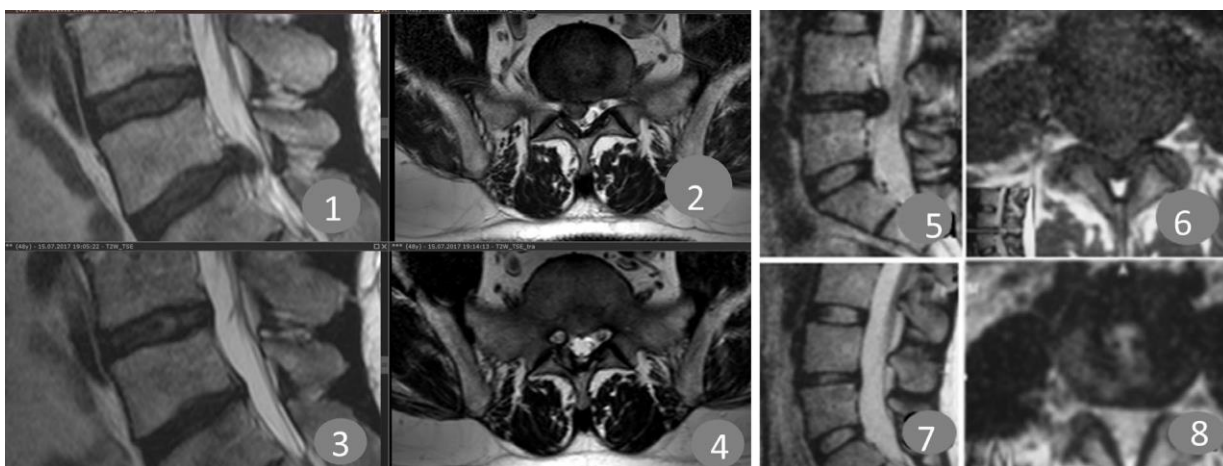


Рисунок 11 – МРТ пациентов до и после чрескожных эндоскопических вмешательств: 1,2, 5, 6 – до операции, 3,4 – после трансфораминальной дискэктомии, 7, 8 – после междужковой дискэктомии

Общее число неврологических осложнений пункционных и эндоскопических вмешательств составило 1,73% (6/346). Все они возникли на фоне анатомических факторов, сужающих треугольник безопасности Камбина. Эти случаи, а также подробный анализ и обсуждение инфекционных и геморрагических осложнений приведен в исследовании.

В группе микродискэктомии пациенты отмечали положительные эффекты вмешательства по Макнаб в 96,77% со значимым снижением болей в спине, ноге и повышением качества жизни ( $p \lll 0,001$ ) с низким процентов осложнений – 1,76%. Процент рецидивов после МД составил 5,57%, все эти пациенты имели высокий риск рецидива грыжи, например, индекс высоты диска – 0,46, 95%-й ДИ (0,40 0,52). При этом в группе сочетания МД и ГД, на фоне также высокой клинической эффективности ( $p \lll 0,001$ ), несмотря на высокий риск рецидивов, что и было основным показанием к сочетанному применению ГД, частота рецидивов снизилась в 2,03 раза, составив 2,75%.

В общей группе микродекомпрессии (МДК) ( $n=165$ ), так и в подгруппе без вмешательстве на диске ( $n=68$ ) отмечалось достоверное улучшение показателей болей в ноге, болей в спине и качества жизни ( $p < 0,001$ ). В общей группе согласно Макнаб после операции отличные результаты отмечали 73,33%, хорошие –

26,06% пациентов. Неудовлетворительных результатов не выявлено. При логистическом регрессионном анализе отношение шансов улучшения было наибольшим в старших возрастных группах: в подгруппа до 45 лет ОШ – 4,72, в подгруппе 45-59 лет ОШ – 16,67, в подгруппе 60 лет и старше ОШ – 19,72. При оценке радиологических результатов вмешательства все пациенты, имеющие степень центрального стеноза В, С и D по градации Шизас, перешли в категорию А, а степень латерального стеноза уменьшилась на одну или две градации. Общее число осложнений, которые подробно обсуждаются, достигло (3,42%).

Сравнивая результаты лечения поясничного спинального стеноза, осложненного спондилолистезом 1 ст, было выявлено отсутствие достоверной разницы в отношении восстановления трудоспособности и регресса болей в ноге между МДК и стабилизирующим вмешательством (ТПМС) ( $p > 0,05$ ), при этом внутригрупповая эффективность лечения оказалась высокой ( $p < 0,05$ ). В то же время боль в спине достоверно была меньше в группе МДК ( $p < 0,05$ ). Рисунок 12 иллюстрирует эти результаты.

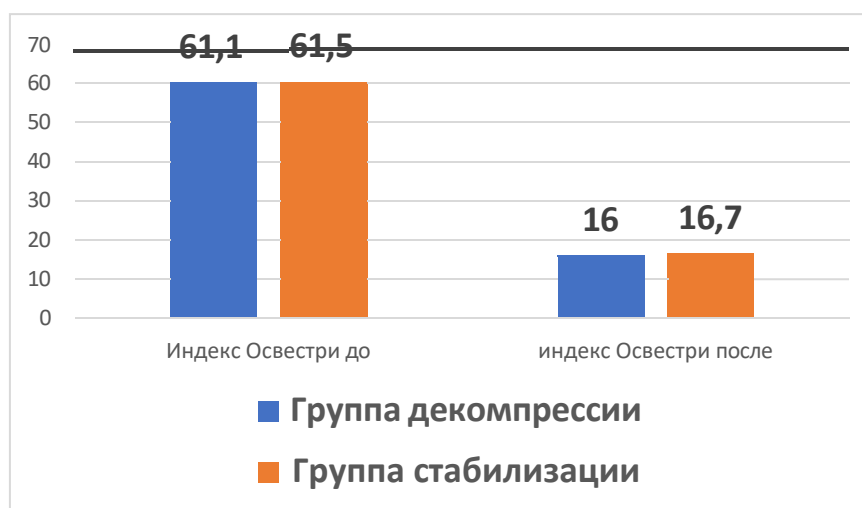


Рисунок 12 – Графики средних значений показателей Освестри до и после операции в группах декомпрессии и стабилизации

Несмотря на отличные клинические результаты микрохирургического вмешательства, было выявлено достоверное снижение стабильности сегмента в виде увеличения объема передне-заднего смещения на  $0,37 \pm 0,12$  мм, угловой

подвижности на  $0,77 \pm 0,22$  градуса ( $p < 0,05$ ). Степень спондилолистеза также увеличилась незначительно, но достоверно значимо в среднем на 1,3% ( $1,29 \pm 0,17\%$ ) ( $p < 0,05$ ). В группе ТПМС состояние смежного сегмента согласно критериям П. Е. Моро (Moreau P. E., 2016) изменилось в 16,7%. При этом чаще всего наблюдалось снижение высоты смежного межпозвонкового диска более 50% (11,9%), развитие переднего спондилолистеза вышележащего позвонка более 3 мм (4,8%).

На Рисунке 13 представлен клинический пример применения МДК из одностороннего доступа, в случае стеноза, осложненного спондилолистезом 1 ст.

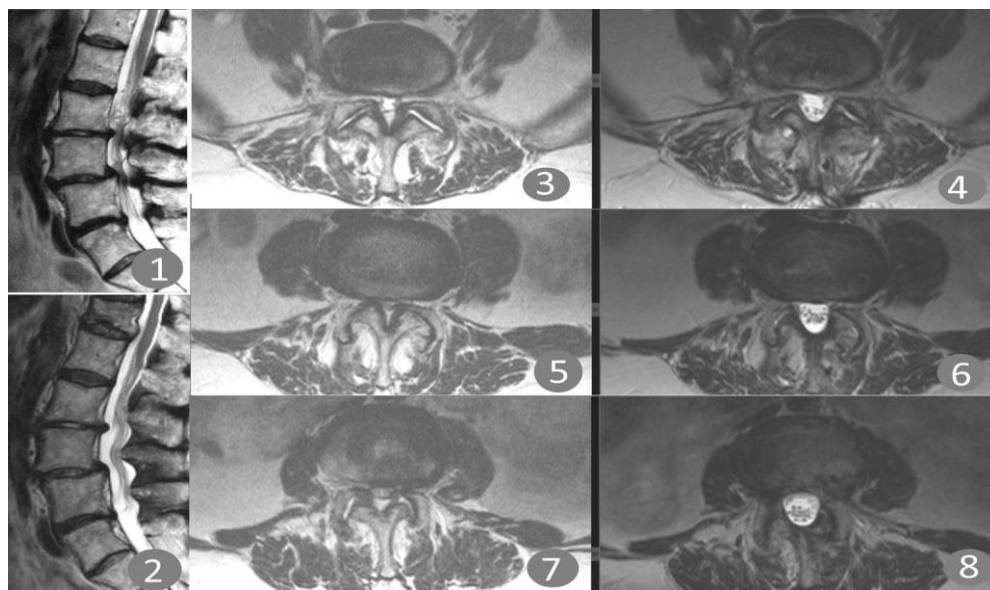


Рисунок 13 – Клинический пример применения двусторонней микродекомпрессии из одностороннего доступа слева, МРТ T2 ВИ: 1, 3, 5, 7 – до операции, 2, 4, 6, 8 – после операции, 3, 4 – уровень L4L5, 5, 6 – уровень L3L4, 7, 8 – уровень L2L3 позвонков

В ходе выработки лечебного алгоритма мы использовали способ дерева решений, представленный в модуле Tree Analyzer программы Дедуктор (Deductor). Было сгенерировано дерево решений. Программа предоставляет решения с цветной маркировкой, что помогает уяснить, какой из предложенных методов лечения предпочтительней (Рисунок 14).

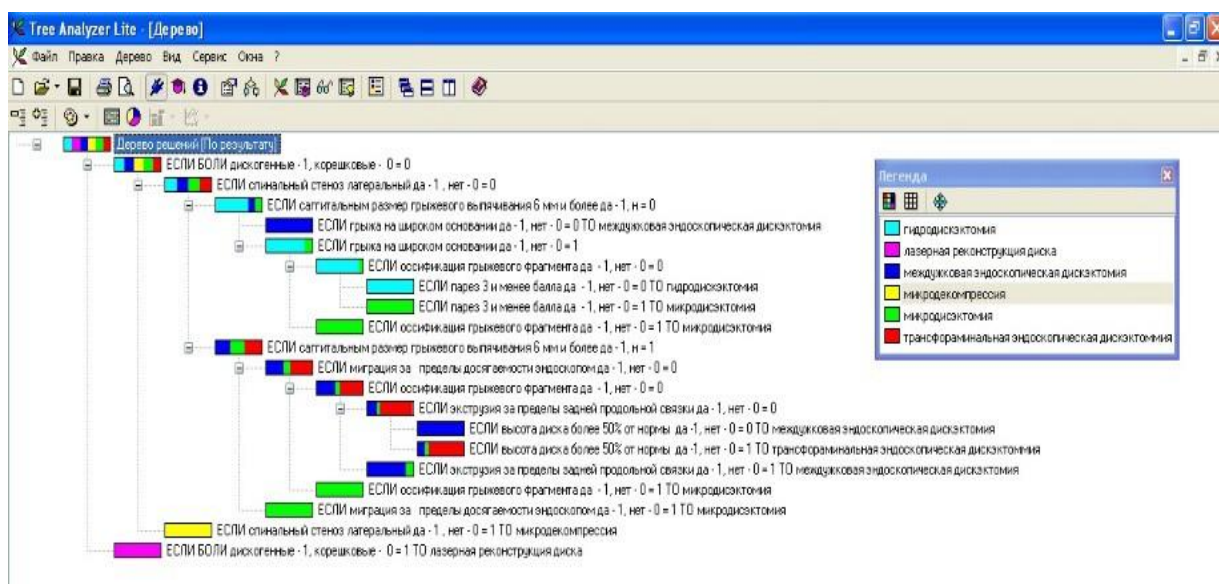


Рисунок 14 – Окно программы «Дедуктор» (Deductor) модуля «Дерево решений», вид иерархического дерева с цветной маркировкой

Построенный график на одной из ветвей решения изображен на Рисунке 15. На нем наглядно видно, что в 76,83% случаев рекомендуется применение эндоскопической трансфораминальной дискэктомии, в 7,69% – микродискэктомии, в 15,38% - межжужковой эндоскопической дискэктомии.

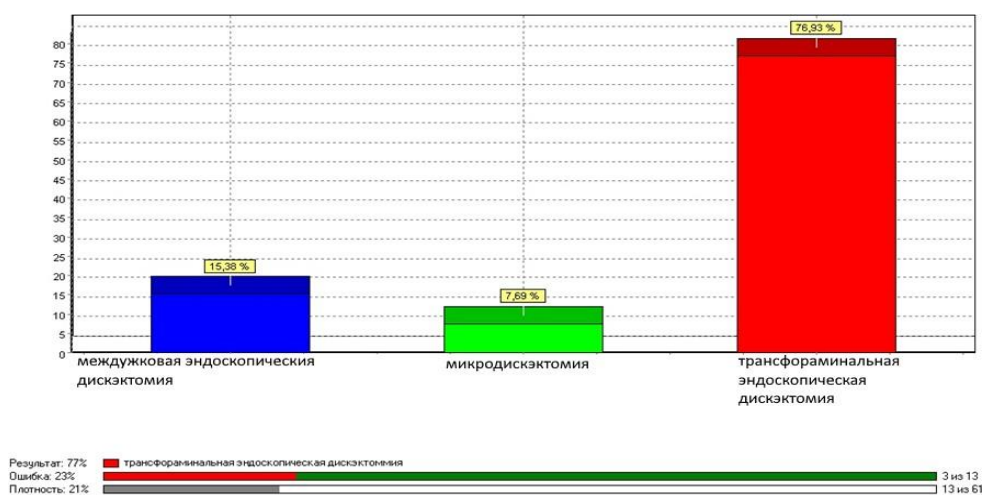


Рисунок 15 – График программного решения выбора метода минимально инвазивного хирургического вмешательства с рекомендованными частотами выбора

На основании полученных выходных данных мы составили алгоритм в виде более привычной блок-схемы, при котором знаком «+» отмечено положительное принятие решения, а знаком «-» соответственно отрицание (Рисунок 16).

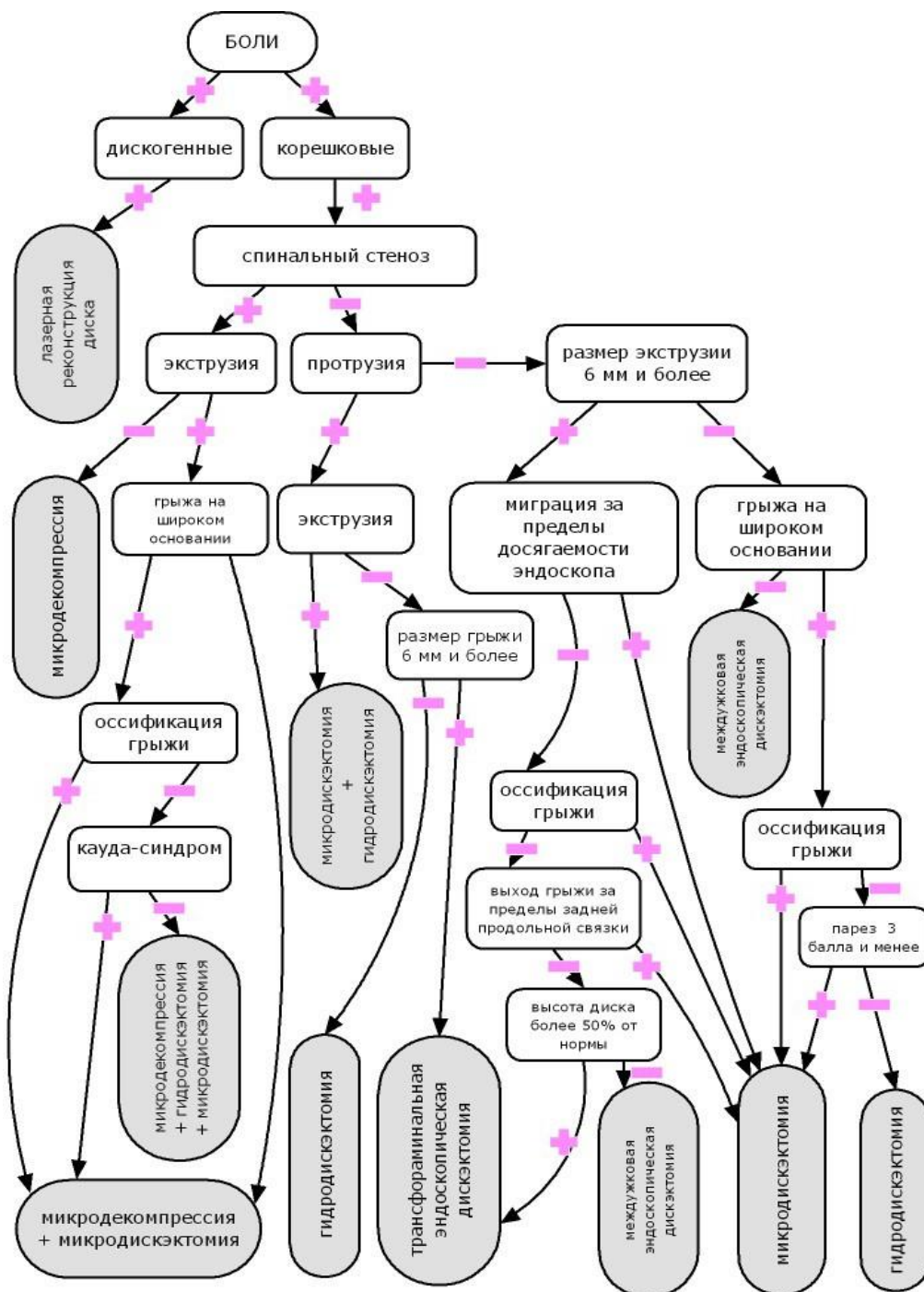
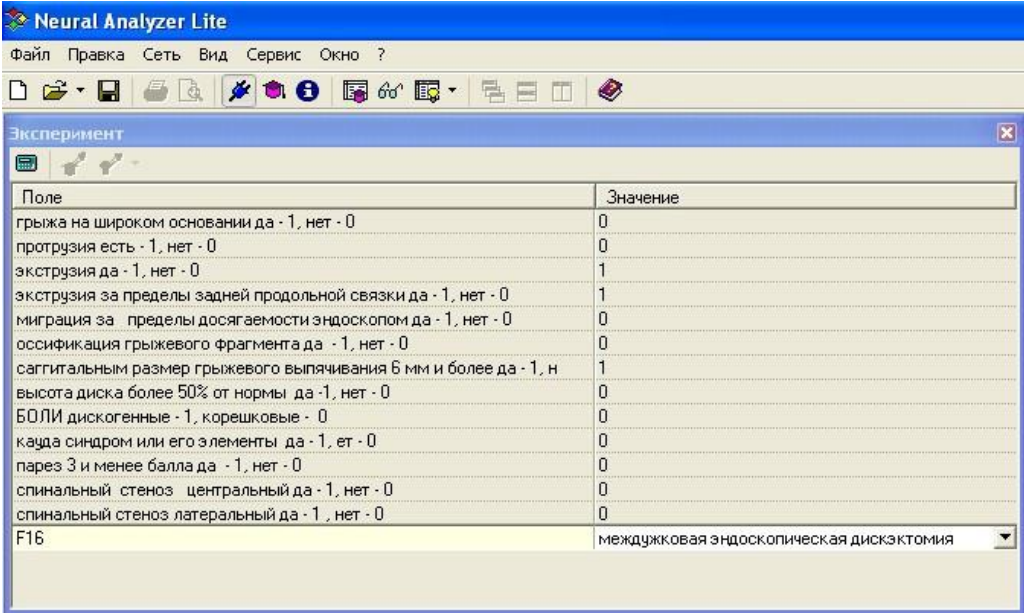


Рисунок 16 – Блок-схема расширенного алгоритма выбора метода минимально инвазивного хирургического вмешательства для лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника, полученная на основе интеллектуального математического анализа данных



Другая методика принятия программного решения заключалась в применении алгоритма нейросетей, который мы исследовали в программе Дедуктор, в модуле «Нейросеть» (Deductor Neural Analyzer). Первый этап заключался в обучении нейросети на основе презентации входных данных. В ходе него было достигнуто распознавание 89,60% примеров. Во второй части исследования выполнили эксперимент, который демонстрировал работоспособность обученной нейросети (Рисунок 17).



Поле	Значение
грыжа на широком основании да - 1, нет - 0	0
протрузия есть - 1, нет - 0	0
экструзия да - 1, нет - 0	1
экструзия за пределы задней продольной связки да - 1, нет - 0	1
миграция за пределы досягаемости эндоскопом да - 1, нет - 0	0
оссификация грыжевого фрагмента да - 1, нет - 0	0
саггитальным размер грыжевого выпячивания 6 мм и более да - 1, н	1
высота диска более 50% от нормы да - 1, нет - 0	0
БОЛИ дискогенные - 1, корешковые - 0	0
кауда синдром или его элементы да - 1, ет - 0	0
парез 3 и менее балла да - 1, нет - 0	0
спинальный стеноз центральный да - 1, нет - 0	0
спинальный стеноз латеральный да - 1, нет - 0	0
F16	междужковая эндоскопическая дискэктомия

Рисунок 17 – Окно программы «Дедуктор» модуля «Нейросеть» этап экспериментального тестирования обученной нейросети

Полученный клинический алгоритм не является застывшим решением. Преимущество исследованного способа получения решения на основании программного интеллектуального анализа данных заключается в способности к дальнейшему обучению и трансформации. Расширение входного объема данных для обучения программы, включение новых признаков и дополнительных градаций дает возможность переобучить программу и создать новый, уточненный, более объективный алгоритм принятия решения. Такой открытый программный вход для переобучения программы дает возможность включать в него опыт других врачей, клинических центров, исследовательских групп.

С участием автора была создана программа интерактивного обучения нейрохирурга техники эндоскопической трансфораминальной чрескожной поясничной дискэктомии. Данная программа основана на видео записях оригинальных операций и привела к созданию анимационных этапов операции. Вход в программу обучения осуществляется удаленно из интернет-портала на странице соответствующего сайта. Система обучения построена на модульном принципе, разбивающем операцию на части. Каждый модуль представляет собой отдельную видеоанимацию с текстовым описанием и совмещенным флюороскопическим изображением. Возможность многократного просмотра каждого этапа помогает лучше усвоить хирургический навык. Также возможно совместить все этапы в одну общую операцию. Важной частью обучения представлены контрольные тесты. В рамках непрерывного последипломного образования на кафедре нейрохирургии РМАНПО и учебно-клиническом отделе НИИ СП им. Н. В. Склифосовского данная система обучения эндоскопической поясничной дискэктомии была опробована и внедрена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника имеет большое социальное и экономическое значение, учитывая широкое их распространение, значительные материальные издержки общества в связи с потерей трудоспособности, а также продолжающееся постарение населения. Минимально инвазивные хирургические технологии, которые применяются в лечении данной патологии, чрезвычайно разнообразны по хирургической технике, показаниям и особенностям применения. В медицинской практике используют пункционные, эндоскопические и микрохирургические техники хирургического лечения для разрешения осложненного течения дегенеративных процессов, при которых формируются различные морфологические субстраты болезни. В частности, связанных с дегенеративным поражением межпозвонкового диска; с грыжеобразованием межпозвонковых дисков, которые могут быть разнообразными по



морфологической структуре и анатомическому расположению; с дегенеративным стенозированием позвоночного канала, который также может иметь разные морфологические варианты. Клиническое проявление дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника также разнообразно, и включает в себя хронический дискогенный болевой синдром, радикулярные синдромы различных вариантов, синдром перемежающейся нейрогенной хромоты, также варьирующий по своим проявлениям. Такое разнообразие хирургических методов, морфологических субстратов болезни и клинических проявлений создает значительные трудности в выборе адекватного метода хирургического лечения, а также осложняет обучение этим методикам. Данные проблемы испытывает не только нейрохирург, использующий эти методы вмешательства, но и врач общей практики, проводящий дифференциальную диагностику и направляющий пациента на определенный вид хирургического лечения. Традиционное решение этих проблем лежит в плоскости эмпирического опыта врача и представляет собой субъективное решение. В результате этого врачебные ошибки и необъективные суждения неизбежны.

Программы ассистенции принятия решений являются наиболее современным подходом для решения этой задачи. Для этого в данной работе была поставлена цель создания алгоритма выбора метода минимально инвазивного хирургического лечения у данной группы пациентов. Цель была достигнута с использованием метода принятия решения на основе работы искусственного интеллекта. Были применены методы машинного обучения нейросетей и составления дерева решений. Проанализирован опыт применения различных пункционных, эндоскопических, микрохирургических методов минимально инвазивного лечения дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. Были поставлены задачи всестороннего изучения и клинической оценки эффективности данных методик, чтобы стало возможным включить их в алгоритм. В ходе исследования выявлены существующие проблемы в рамках конкретных методик, которые требовали разрешения. В

частности, подавляющее число пункционных и эндоскопических вмешательств на поясничном отделе позвоночника использует трансфораминальный доступ. Основная проблема этого доступа заключается в избегании травмирования выходящего через межпозвонковое отверстие нервного корешка. Кажущаяся безопасность доступа отразилась в названии места хирургического внедрения – треугольник безопасности. Однако сохраняющийся относительно высокий процент ятрогенного повреждения выходящего нервного корешка указывает на обратное – на высокую его уязвимость. В ходе нашего исследования мы провели новое по выполнению анатомическое исследование, применив МРТ морфометрию. Такое неинвазивное исследование показало, что определённые по анатомическому уровню межпозвонковые отверстия содержат в себе узкое пространство, которое гораздо меньше по размерам, чем тубус эндоскопа. Это указывает на обязательную необходимость дополнительного расширения отверстия, выполняя частичную костную резекцию. Полученные данные крайне важны для безопасного проведения эндоскопического вмешательства, уменьшения ятрогенных осложнений и собственно повышения его эффективности. Данный метод анатомической оценки на основе МРТ морфометрических исследований является эффективным, точным, неинвазивным и может широко использоваться другими исследователями для оценки хирургической анатомии.

Современной методикой пункционной дискэктомии является гидродискэктомия, преимуществом которой является возможность резецировать грыжевое выпячивание диска вблизи нервных структур. Это обуславливает ее высокую клиническую эффективность, которая была впервые оценена в данной работе с последующим включением ее в алгоритм лечения. Микрохирургическая техника удаления симптоматических дисковых грыж имеет существенный недостаток, связанный с возможностью рецидива грыжевого выпячивания. Причем рецидив тем более вероятен, чем меньше размер оперированной грыжи и чем больше наносится в этом случае ятрогенное повреждение диска в ходе вмешательства. В данной работе впервые был предложен метод снижения

частоты рецидивов после микродискэктомии. Для этого в ходе микрохирургического вмешательства дополнительно применили гидродискэктомию. Последняя позволяет нетравматично удалять грыжевое выпячивание, имеющее небольшой размер, в том числе в виде протрузии или экструзии, сохраняющей значительную связь с межпозвонковым диском. В результате такого сочетания частота рецидивов снизилась в несколько раз. Данный метод может легко применяться на практике и значительно повысить эффективность микрохирургического вмешательства.

Первичной мишенью дегенеративного поражения позвоночника является межпозвонковый диск. Эти изменения в случае осложненного течения болезни проявляются в виде хронического дискогенного болевого синдрома, который является основной причиной хронической боли в нижней части спины. Попытки решения проблемы с участием автора данной работы привели к появлению совершенно нового метода тканевой инженерии, основанного на неабляционном пункционном облучении пораженного межпозвонкового диска низкоинтенсивным лазерным излучением, получившим название лазерной реконструкции диска. Данная работа заполнила пробел в клиническом и морфологическом исследовании эффектов лазерной реконструкции. Впервые была выполнена морфологическая количественная оценка регенераторного ответа облученного межпозвонкового диска человека на основе количественного морфологического МРТ анализа, и показан стойкий репаративный ответ. Также выявлено, что эффективность лазерной реконструкции не зависит от пола, возраста и проявляется уже на ранних сроках после операции в пределах 6 месяцев. Эти данные позволят шире внедрять данный метод в клиническую практику, повышать к нему доверие врачей и пациентов, а также проводить дальнейшее совершенствование методики.

Дегенеративный спинальный стеноз становится все более распространенной и превалирующей патологией среди дегенеративных поясничных поражений. В данной работе выполнили всестороннюю клиническую оценку наиболее эффективного и наименее травматичного метода

двусторонней микрохирургической декомпрессии из одностороннего доступа. Детальное описание техники вмешательства позволит легко освоить ее другим хирургам и обучающимся. Был выполнен сравнительный анализ клинико-радиологических исходов лечения спинального стеноза, осложненного дегенеративным спондилолистезом 1 ст., методами микрохирургической декомпрессии и декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства, определено место каждого из этих методов в лечебном алгоритме.

В ходе данной работы был проведен всесторонний анализ эффективности чрескожного эндоскопического трансфораминального и междужкового вмешательства для удаления симптоматических поясничных грыжевых выпячиваний. Эффективность эндоскопических вмешательств подтверждена статистическими исследованиями и находится на уровне классической микрохирургической дискэктомии. Это позволяет включать их в современный алгоритм лечения. Подробно описанная пошаговая техника вмешательства использована нами для создания программы дистанционного обучения этим методикам, что позволяет широко внедрять эндоскопическую технологию в практику здравоохранения. В частности, данная программа успешно внедрена в практику обучения учебно-методического отдела НИИ СП Склифосовского. Обучение на удалённом доступе к программе показало свою высокую эффективность, в том числе во время вынужденной самоизоляции учащихся во время пандемии новой коронавирусной инфекции. Этот опыт чрезвычайно ценен для дальнейшего развития системы непрерывного медицинского образования, которая основана на самостоятельном обучении и применении средств дистанционного обучения. Кроме того, такой подход экономит временные и материальные ресурсы в ходе обучения.

Изученные методики минимально инвазивной хирургии для лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника были эффективно использованы для машинного обучения и интеллектуального программного анализа. В результате был получен алгоритм выбора наиболее эффективного метода лечения в конкретном клиническом случае. При этом

учитывается клиническое проявление болезни и морфологический характер дегенеративного изменения. Преимущества данного стратегического подхода заключаются в возможности его развития. Введение новых исходных данных позволяет обучить искусственный интеллект на новом уровне. При этом возможно обобщить опыт множества хирургов и клинических центров. Такое развитие алгоритма позволит ему быть современным и учитывать последние достижения медицины. Также применение использованной в данной работе программы анализа данных позволяет внедрить ее в систему телемедицины, которая в данный момент широко развивается. Ассистированное принятие решения о виде операции с помощью искусственного интеллекта может помочь не только нейрохирургу, но и врачу первичного звена при оценке возможности лечения пациента.

Таким образом, данная работа с помощью решения поставленных задач заявленную цель достигла.

## ВЫВОДЫ

1. Морфометрическое изучение морфологических особенностей зоны хирургического вмешательства при трансфораминальном доступе выявило наименьшие размеры треугольника безопасности дисков краниальных уровней L2-L3, L3-L4 в пределах 3,0-4,0 мм, где выходящий корешок наиболее уязвим для ятрогенного повреждения хирургическим инструментом, что требует дополнительной костной резекции границ межпозвонкового отверстия на этих уровнях.

2. Усовершенствованная техника чрескожной эндоскопической трансфораминальной поясничной дискэктомии позволила добиться положительного результата лечения диско-радикулярного конфликта у 92,53% пациентов.

3. Примененная техника чрескожной эндоскопической междузвонковой поясничной дискэктомии позволила добиться положительного результата

лечения симптоматических поясничных межпозвонковых грыж у 93,4% пациентов.

4. Пункционная поясничная гидродискэктомия является эффективным методом минимально инвазивного пункционного лечения несеквестрированных симптоматических дисковых выпячиваний, позволяя в 78,95% случаев добиться положительного клинического результата.

5. Разработан метод регенераторного лечения дегенеративного поражения поясничных межпозвонковых дисков на основе пункционного неабляционного низкоинтенсивного лазерного облучения хрящевой ткани – лазерной реконструкции межпозвонковых дисков. Морфометрический количественный анализ результата пункционной лазерной реконструкции дисков доказал устойчивый регенераторный ответ хрящевой ткани дегенеративно пораженного диска человека на низкоинтенсивное модулированное лазерное облучение с повышением интенсивности МРТ-сигнала от пульпозного ядра диска на 14,0%.

6. Использование метода лазерной реконструкции дисков позвоночника позволило добиться положительных результатов лечения у 91,68% пациентов. При клиническом анализе эффективности пункционной лазерной реконструкции дисков выявлено, что пол, возраст пациента и анатомический уровень вмешательства не являются лимитирующими факторами для достижения клинического эффекта лечения.

7. Совершенствование техники микрохирургической декомпрессии содержимого позвоночного канала при дегенеративном спинальном поясничном стенозе с применением одностороннего доступа для моно- и билатеральной декомпрессии позволило достичь отличного клинического результата лечения в 73,33% случаев. Данная техника вмешательства позволила во всех случаях произвести восстановление просвета позвоночного канала с переходом радиологической характеристики позвоночного канала в 100% случаев в минимальную градацию «А».

8. Сочетанное применение микрохирургического удаления поясничной межпозвонковой грыжи с интраоперационной гидродискэктомией позволило у

пациентов с высоким риском повторения грыжеобразования снизить частоту рецидива грыжевого выпячивания более чем в 2 раза (с 5,57% до 2,75%).

9. Лечение дегенеративного спинального стеноза, осложненного спондилолистезом 1 ст, может быть одинаково эффективно выполнено с применением как двусторонний микрохирургической декомпрессии из одностороннего доступа, так и с использованием декомпрессивного вмешательства в сочетании трансфораминальным спондилодезом ( $p > 0,05$ ). Прогрессия спондилолистеза после декомпрессивного вмешательства достигает  $1,29 \pm 0,17\%$ , не оказывая влияния на клинический результат, а частота радиологических признаков синдрома смежного сегмента после стабилизирующего вмешательства достигает 16,66%.

10. Созданная и внедренная программа обучения эндоскопической минимально инвазивной хирургии позвоночника на основе удаленного интернет-доступа и высококачественной видеоанимации позволила повысить эффективность учебного процесса врачей в рамках непрерывного медицинского образования.

11. Созданный алгоритм выбора метода минимально инвазивного хирургического вмешательства для лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника показал эффективное применение искусственного интеллекта для ассистированного принятия решения в этой сфере с возможностью его дальнейшей трансформации, расширения и переобучения.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Эндоскопическая трансфораминальная поясничная дискэктомия может быть проведена как под общей анестезией, так и под местной потенцированной анестезией. В начальном этапе освоения методики предпочтение следует отдавать местному обезболиванию.

2. Эндоскопическая трансфораминальная поясничная дискэктомия может быть процедурой выбора у пациентов с секвестрированными грыжами диска L4L5 позвонков без значительной краниальной и каудальной миграции.

3. При определении противопоказаний и показаний для эндоскопической трансфораминальной поясничной дискэктомии следует учитывать морфологическую трансформацию грыжевого выпячивания с течением болезни.

4. Трансфораминальный эндоскопический доступ на краниальных уровнях вмешательства (L2L3, L3L4 позвонков) во избежание травмирования выходящего нервного корешка требует дополнительной частичной костной резекции верхнего суставного отростка, ограничивающего межпозвонковое отверстие.

5. На начальном этапе обучения трансфораминальной эндоскопической дискэктомии следует отдавать предпочтение вмешательствам на каудальных дисках (L4L5, L5S1 позвонков).

6. Эндоскопическая междужковая поясничная дискэктомия позволяет эффективно удалить грыжевой секвестр на уровнях с наиболее широким междужковым промежутком (L4L5, L5S1) без применения костной резекции. На прочих поясничных уровнях требуется дополнительная краевая резекция дуги позвонка.

7. Сочетание трансфораминального и междужкового эндоскопического доступа может в большинстве случаев составить альтернативу традиционному открытому хирургическому удалению поясничных дисковых грыжевых выпячиваний.

8. Пункционная гидродискэктомия рекомендована для лечения острых и подострых диско-радикулярных конфликтов. Не следует расширять показания для гидродискэктомии при превалировании болей в пояснице и отсутствии корешковых болей в ногах.

9. При использовании пункционной гидродискэктомии и определении показаний к вмешательству следует отдавать предпочтение молодым пациентам без длительного анамнеза болей и без грубого латерального спинального



стеноза. Пункционная гидродискэктомия дает возможность избежать открытого хирургического вмешательства и имеет преимущества в случае хирургического лечения поясничных грыжевых выпячиваний у пациентов с повышенной физической активностью (подростки, взрослые молодого возраста, спортсмены).

10. Пункционная лазерная реконструкция межпозвонковых дисков должна применяться для лечения хронического дискогенного болевого синдрома при анамнезе болей не менее 6 месяцев и при условии неэффективности консервативного лечения.

11. Обязательной процедурой подтверждения дискогенной природы болей перед пункционной лазерной реконструкцией дисков является провокационная дискография.

12. Микрохирургическую декомпрессию содержимого позвоночного канала при дегенеративном поясничном спинальном стенозе с применением одностороннего доступа для моно- и билатеральной декомпрессии следует выполнять со стороны наиболее выраженного болевого синдрома, или со стороны более выраженного неврологического дефицита, или со стороны более грубого спинального стеноза. Совокупность всех этих факторов окончательно формирует решение о стороне вмешательства.

13. Применение пороговых критериев стабильности сегмента в виде передне-заднего смещения до 4 мм и объема угловой подвижности сегмента позвоночника до  $10^\circ$  позволяет эффективно осуществлять отбор пациентов для стабилизации при развитии дегенеративного поясничного спондилолистеза.

14. В случае микрохирургического вмешательства по поводу несеквестрированной симптоматической грыжи диска, либо при сохранении значительной связи грыжевого секвестра с диском (грыжа на широком основании), а также при высоком риске рецидива грыжи (индекс высоты диска более 0,37-0,40) рекомендовано для нетравматичного удаления свободных внутрдисковых хрящевых фрагментов во время микродискэктомии использовать интраоперационную гидродискэктомию, что позволяет снизить частоту рецидива грыжевого выпячивания в подобных клинических случаях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Целесообразно применить данный подход для выработки лечебного алгоритма с включением в него других методов лечения дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника. Также следует продолжить изучение клинических эффектов лазерной реконструкции межпозвонковых дисков качественным и количественным методом. Необходимо изучать и внедрять методику эндоскопической декомпрессии содержимого позвоночного канала при дегенеративном спинальном стенозе.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Влияние лазерного излучения на процессы регенерации хрящевой ткани межпозвонковых дисков. Предварительное сообщение / А.В. Басков, А.Б. Шехтер, Э.Н. Соболев, Н.Н. Воробьева, А.И. Омельченко, А.В. Гаврильчак, В.А. Басков, О.Л. Захаркина, Ф.И. Фельдштейн, В.А. Каменский, Р.В. Куранов, И.А. Борщенко, С.В. Желваков // **Лазерная медицина.** – 2002. – Т.6, №2. – С. 8–23.
2. Моделирование дегенеративных изменений межпозвонковых дисков (остеохондроза) у кроликов: макроскопическое и гистологическое изучение / А.Б. Шехтер, В.А. Басков, О.Л. Захаркина, А.Е. Гуллер, И.А. Борщенко, И.Ю. Колышев, Г.Д. Капанадзе, А.В. Басков, Э.Н. Соболев // **Биомедицина.** – 2009. – Т. 1, № 2. – С. 41–69.
3. Опыт чрескожной эндоскопической поясничной дискэктомии. Результаты и перспективы / И.А. Борщенко, С.Л. Мигачев, О.Н. Древаль, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2009. – № 4. – С. 25–34.
4. Laser engineering of spine discs / E. Sobol, O. Zakharkina, A. Baskov, A. Shekhter, I. Borschenko, A. Guller, V. Baskov, A. Omelchenko, A. Sviridov // **Laser Physics.** – 2009. – Vol. 19, №. 4. – P. 825–835.
5. Борщенко, И.А. Минимально инвазивная хирургия дегенеративного поражения поясничных межпозвонковых дисков / И.А. Борщенко, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2010. – № 1. – С. 65–71.

6. Борщенко, И.А. Пункционная поясничная гидродискэктомия: первый опыт использования / И.А. Борщенко, С.Л. Мигачев, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2010. – № 3. – С. 45–51.
7. Борщенко, И.А. Спинальный поясничный дегенеративный стеноз: билатеральная декомпрессия из одностороннего доступа / И.А. Борщенко, С.Л. Мигачев, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2011. – № 1. – С. 54–60.
8. Борщенко, И.А. Спинальная хроническая спонтанная эпидуральная гематома / И.А. Борщенко, С.Л. Мигачев, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2011. – № 2. – С. 48–50.
9. Борщенко, И.А. Транспедикулярный-трансфасеточный доступ для удаления межпозвонковых грыж грудного отдела позвоночника / И.А. Борщенко, С.Л. Мигачев, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2011. – № 4. – С. 42–48.
10. Борщенко, И.А. Алгоритм выбора метода минимально-инвазивного хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника на основе современных методов математического интеллектуального анализа данных / И.А. Борщенко, Я.А. Борщенко, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2013. – № 2. – С. 49–58.
11. Борщенко, И.А. Хирургическое лечение больного с идиопатическим поясничным эпидуральным липоматозом / И.А. Борщенко, А.В. Басков // **Нейрохирургия.** – 2013. – № 3. – С. 82–84.
12. Опыт внедрения интерактивной системы обучения чрескожной эндоскопической трансфораминальной поясничной дискэктомии в рамках образования нейрохирурга / И.А. Борщенко, А.В. Басков, А.В. Ярыгин, В.Л. Пучков, А.В. Кузнецов, О.Н. Древаль // **Нейрохирургия.** – 2016. – № 1. – С. 79–84.
13. Хирургическое лечение дегенеративных спондилолистезов низкой степени градации, осложненных поясничным спинальным стенозом / Р.А. Картавых, И.А. Борщенко, Г.Е. Чмутин, А.В. Басков // **Вестник Неврологии, Психиатрии и Нейрохирургии.** – 2018. – №10. – С.69–76.

14. Сравнительный анализ минимально инвазивной хирургической декомпрессии и открытого декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства для лечения стабильного дегенеративного поясничного спондилолистеза I степени, сочетающегося со спинальным стенозом / Р.А. Картавых, И.А. Борщенко, Г.Е. Чмутин, А.В. Басков, В.А. Басков // **Вестник Неврологии, Психиатрии и Нейрохирургии.** – 2020. – №6. – С.25-37.

15. Хирургическое лечение пациентов с дегенеративным спондилолистезом I степени и спинальным стенозом методом мини-инвазивной двусторонней декомпрессии / Р.А. Картавых, И.А. Борщенко, Г.Е. Чмутин, А.В. Басков // **Хирургия позвоночника.** – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 33–42.

16. Борщенко, И.А. Морфометрический МРТ-анализ межпозвонковых отверстий поясничного отдела позвоночника / И.А. Борщенко, А.В. Басков // **Вестник Неврологии, Психиатрии и Нейрохирургии.** – 2023. – №2. – С.129–136.

17. Long Term Clinical Results in Laser Reconstruction of Spine Discs [Электронный ресурс] / AV. Baskov, IA. Borshchenko, AB. Shekhter, VA. Baskov, AEy Guller, E.N. Sobo // *J Spine.* – 2015. – 4. – Режим доступа <https://doi.org/10.4172/21657939.1000210>

18. How I do it: bilateral lumbar spinal canal microsurgical decompression via unilateral approach / I. Borshchenko, A. Gulzatyan, R. Kartavykh, A. Grin // *Acta Neurochir (Wien).* – 2019. – 161 (11). – P. 2375–2380.

19. Low back pain as an equivalent of neurogenic claudication in elderly patient: Case report / I. Borshchenko, R. Kartavykh, A. Baskov, A. Grin', M. Borshchenko // *Archive of Gerontology and Geriatrics Research.* – 2020. – 5 (1). – P. 26–28.

20. Biological non-ablative repair of lumbar discs by transforaminal intradiscal laser irradiation: MRI quantitative analysis of the effects—preliminary report [Электронный ресурс] / I. Borshchenko, E. Sobol', A. Shekhter, A. Baskov, A. Grin', M. Borshchenko // *Lasers Med Sci.* – 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03191-z>.

21. Laser reconstruction of spinal discs experiments and clinic [Электронный ресурс] / A. Baskov, I. Borshchenko, V. Baskov, A. Shekhter, E. Sobol' // Appl. Sci. – 2022. – 12 (2). – P. 675. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/app12020675>
22. Способ формирования биосовместимой структуры: Пат. РФ **2438623** / Е.Н. Антонов, В.Н. Баграташвили, И.А. Борщенко, В.К. Попов; опубл. **10.01.2012**; **Бюл. Изобретения. Полезные модели.** – 2012. – №1. – 6 с.
23. Поясничный корсет-корректор осанки: Пат. РФ **2493799** / И.А. Борщенко; опубл. **27.09.2013**; **Бюл. Изобретения. Полезные модели.** – 2013. – № **27.** – 10с.
24. Борщенко, И.А. Лазерная инженерия хрящей / Под ред. В.Н. Баграташвили, Э.Н. Соболя, А.Б. Шехтера. – М.: Физматлит, 2006. – Гл. VI. – С. 423–480.
25. Борщенко, И.А. Техника и принципы хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночника / А.В. Басков, И.А. Борщенко – М.: ГЕОТАР Медиа, 2007. – 136 с.
26. Борщенко, И.А. Эндоскопические вмешательства на позвоночнике. Нейрохирургия: руководство для врачей. Лекции, семинары, клинические разборы / под ред. проф. О.Н. Древалю. – М.: Литтера, 2013. – Т.2, Гл.7. – С.288–297.
27. Борщенко, И.А. Практика спинальной хирургии в условиях частной клиники / И.А. Борщенко, В.В. Лялина – М.: "Практика", 2014. – 172 с.
28. Борщенко, И.А. Эндоскопическая чрескожная поясничная дискэктомия: учебно-методическое пособие / И.А. Борщенко, М.П. Лисицын. под ред. проф. Емельянова С.И. – М.: МГГЭУ, 2021. – 48 с.
29. Борщенко, И.А. Лазерная реконструкция межпозвонкового диска. Экспериментальные и клинико-морфологические аспекты / А.В. Басков, Э.Н. Соболев, А.Б. Шехтер, И.А. Борщенко, В.А. Басков – Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2022. - 144 с.: цв. ил.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВАШ – визуально аналоговая шкала

ГД – гидродискэктомия

ДИ – доверительный интервал

КТ – компьютерная томография

ЛРД – лазерная реконструкция диска

МД – микродискэктомия

МДК – микродекомпрессия

МРТ – магниторезонансная томография

ОШ – отношение шансов

T1 ВИ – T1 взвешенное изображение

T2 ВИ – T2 взвешенное изображение

ТПМС – трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез

ЭМПД – эндоскопическая междузвонковая поясничная дискэктомия

ЭТПД – эндоскопическая трансфораминальная поясничная дискэктомия

SF36 – Short Form-36, (англ.) – шкала качества жизни

STIR – short-tau inversion recovery, (англ.) – режим жироподавления