ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ В.А. АЛМАЗОВА» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ТУРАНОВ
СЕМЁН АЛЕКСАНДРОВИЧ

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЭКСТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ ОПУХОЛЕЙ С ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ

3.1.10. Нейрохирургия

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук
Иваненко Андрей Валентинович

Санкт-Петербург
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 12
1.1 Эпидемиология, определение и классификация экстрамедуллярных опухолей 12
1.2 Клиническая картина и дифференциальная диагностика 19
1.3 Эволюция хирургического лечения: от ламинэктомии к минимально инвазивным подходам 22
1.4 Современные методы лечения опухолей с паравертебральным компонентом . 29
1.5 Лучевая терапия и радиохирургия в лечении спинальных опухолей 30
1.6. Роль минимально инвазивных методов абляции: радиочастотная и лазерная интерстициальная термотерапия 33
1.7 Осложнения хирургического лечения и факторы прогноза 37
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ 43
2.1 Дизайн исследования и критерии отбора пациентов 43
2.2 Общая характеристика клинического материала 44
2.2.1 Анализ неврологического статуса и качества жизни в зависимости от гистологического типа опухоли 45
2.3 Методы клинического и неврологического обследования 46
2.4 Методы нейровизуализации 53
2.5 Методика экспериментального исследования на тканеэквивалентном фантоме 55
2.5.1 Обоснование выбора модели тканеэквивалентного фантома 55
2.5.2 Протокол эксперимента и критерии оценки 56
2.6 Техника хирургического вмешательства с применением лазерной интерстициальной термотерапии 58
2.6.1 Первый этап: транскутанная лазерная абляция паравертебрального компонента 58
2.6.2 Второй этап: микрохирургическое удаление остатков опухоли 63

2.7 Методы статистической обработки полученных данных 64
ГЛАВА 3. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ЭКСТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ ОПУХОЛЕЙ С ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ 66
3.1 Результаты экспериментального определения оптимальных параметров лазерного воздействия 66
3.1.1 Сравнительная характеристика режимов лазерного излучения 66
3.1.2 Выбор оптимального режима для клинического применения 74
3.2 Непосредственные результаты хирургического лечения 76
3.2.1 Интраоперационные показатели 76
3.2.2 Динамика неврологического статуса в раннем послеоперационном периоде 80
3.2.3 Динамика болевого синдрома и качества жизни 82
3.2.4 Сроки госпитализации и послеоперационные осложнения 86
3.2.5 Анализ неврологического восстановления в зависимости от гистологического типа опухоли 87
3.3 Результаты применения двухэтапной методики лазерной интерстициальной термотерапии 88
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ 91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 100
ВЫВОДЫ 105
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 107
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ 108
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 110
Приложение А 129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Опухоли спинного мозга составляют 10–15% опухолей ЦНС (Евзиков Г.Ю., Фомичев В.Г., 2004; Ступак В.В. с соавт., 2014, 2016; Васильев И.А. с соавт., 2018; Капровой С.В. с соавт., 2022; Shobeiri P., 2023; Liu H., 2024). Особую клиническую группу представляют экстрамедуллярные опухоли (ЭМО) с паравертебральным компонентом (гантелевидные, метастатические), характеризующиеся бифокальным ростом, сложностью радикального удаления и высоким риском интраоперационной кровопотери и повреждения невральных структур (Elsberg C. A., 1925; J. Zhang et al., 2017; Mo K. et al, 2021). Традиционные открытые вмешательства, даже с использованием микрохирургической техники, сопряжены с обширной травмой мягких тканей и костных структур, что может приводить к нестабильности позвоночника и длительной реабилитации (Бывальцев В. А. с соавт., 2014; Mirza A.B. et al., 2025).

Современная тенденция в спинальной онкохирургии направлена на минимизацию хирургической агрессии при сохранении радикальности. В этой связи особый интерес представляет лазерная интерстициальная термотерапия (ЛИТТ), позволяющая осуществлять локальную деструкцию опухолевой ткани (Goetz M. P. et al., 2004; Nakatsuka A. et al., 2004). Метод демонстрирует ряд преимуществ: локальность воздействия, возможность многократного применения и совместимость с другими видами терапии. Однако большинство зарубежных исследований описывают применение ЛИТТ только интраоперационно, без предварительной подготовки паравертебрального узла, и требуют сложного интраоперационного МРТ-мониторинга (Tatsui C. E. et al., 2015). В отечественной литературе описаны единичные случаи применения лазеров при спинальной патологии, преимущественно с использованием Nd:YAG-лазеров (Ступак В.В. с соавт., 2003; Ступак В.В. с соавт., 2014; Елисеенко И. А. с соавт, 2021). В современной спинальной онкологии термоабляционные технологии рассматриваются как компонент мультимодального лечения, позволяющий

обеспечить локальную циторедукцию и уменьшить травматичность вмешательства у тщательно отобранных пациентов (Pennington Z. et al., 2025).

Отсутствие стандартизированных протоколов применения полупроводниковых лазеров (длина волны 970 нм) для двухэтапного лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, а также эмпирический подбор параметров воздействия определяют актуальность данного исследования.

Степень разработанности темы исследования

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что проблема хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом остается предметом активных дискуссий. Работы V. Horsley, C.A. Elsberg, M.G. Yasargil заложили основы микрохирургической техники (Gowers W. R., 1888; Klekamp J., 2007; Bezu M. T., 2022). Исследования последних лет посвящены вопросам радикальности удаления и функциональной сохранности нервных корешков (Zhang J., 2017; Fedaravičius A., 2020; Zheng G. B., 2023). Возможности малоинвазивной хирургии ЭМО подтверждаются применением тубулярных, парамедианных трансмышечных, гемиламинэктомических и эндоскопических доступов, позволяющих уменьшить повреждение задних опорных структур позвоночника при сохранении высокой частоты тотального удаления опухоли (Mirza A.B. et al., 2025; Patel S. et al., 2025; Ocampo-Navia M.I. et al., 2026). В отечественной нейрохирургии также развивается применение минимально инвазивных доступов при экстрамедуллярных опухолях. С. В. Капровым и соавт. проведено сравнительное исследование минимально инвазивных и традиционных доступов при опухолях краниовертебрального перехода, подтвердившее возможность достижения высокой радикальности при приемлемом профиле безопасности (Капровой С.В. с соавт., 2025). В качестве самостоятельного или адъювантного метода лечения отдельных спинальных менингиом и неврином применяется стереотаксическое облучение, позволяющее обеспечить локальный контроль опухолевого роста при минимизации лучевой нагрузки на окружающие критические структуры (Голанов А. В. с соавт., 2015; Голанов А. В. с соавт., 2023).

В области лазерных технологий известны исследования C.E. Tatsui и соавт. по применению ЛИТТ с интраоперационной МРТ (Goetz M. P., 2004; Nakatsuka A., 2004; Tatsui C. E., 2015), а также работы В.В. Ступака и соавт. по использованию Nd:YAG-лазера при спинальных опухолях (Ступак В.В. с соавт., 2003; Елисеенко И. А. с соавт, 2021; Орлов В. П. с соавт., 2021). Однако до настоящего времени не разработана воспроизводимая двухэтапная методика с применением полупроводниковых лазеров (970 нм), не определены оптимальные параметры воздействия для абляции ЭМО и не проведен сравнительный анализ эффективности такого подхода в контролируемом исследовании. Современные публикации свидетельствуют о постепенном расширении показаний к спинальной ЛИТТ: помимо метастатической эпидуральной компрессии, описано её применение при отдельных первичных опухолях позвоночника. Однако имеющиеся серии остаются малочисленными, используют МР-термометрию и преимущественно оценивают ЛИТТ как компонент комбинированного лечения (Jonathan S.V. et al., 2026).

Цель исследования

Оптимизировать результаты хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом путем разработки и внедрения двухэтапной методики лечения с применением лазерной интерстициальной термотерапии.

Задачи исследования

1. Определить безопасные и эффективные параметры (режим, мощность, экспозиция) лазерного излучения (λ=970 нм) для интерстициальной термотерапии, обеспечивающие максимальную зону абляции без повреждения смежных структур в эксперименте на тканеэквивалентном фантоме.
2. Разработать двухэтапную методику хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, включающую предоперационную

транскутанную лазерную абляцию экстравертебрального узла под ультразвуковым и ангиографическим контролем с последующим микрохирургическим удалением остатков опухоли.

3. Провести анализ непосредственных результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями с применением разработанной методики ЛИТТ по следующим параметрам: объем интраоперационной кровопотери, длительность вмешательства, радикальность удаления, динамика неврологического статуса, выраженность болевого синдрома и сроки госпитализации.

4. Разработать научно обоснованный алгоритм выбора тактики хирургического лечения для пациентов с ЭМО, имеющими паравертебральный компонент.

Научная новизна

Экспериментально обоснованы статистически достоверные оптимальные параметры полупроводникового лазера (λ=970 нм, импульсный режим 1000/700 мс, мощность 5 Вт) ($p<0,05$) для лечения экстрамедуллярных опухолей позвоночника, обеспечивающие контролируемый нагрев и максимальную площадь коагуляционного некроза.

Разработан и внедрен новый двухэтапный способ хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом (патент РФ№ 2846156 2024 г), отличающийся предварительной транскутанной девитализацией и редукцией объема экстравертебрального узла.

Предложенная методика позволяет статистически значимо ($p<0,05$) снизить интраоперационную кровопотерю и длительность вмешательства, а также ускорить регресс неврологического дефицита по сравнению с традиционными методами.

Доказана эффективность использования ультразвуковой навигации и селективной ангиографии для контроля полноты абляции паравертебрального компонента опухоли на первом этапе лечения ($p<0,05$).

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость исследования заключается в установлении закономерностей формирования зоны лазерного термического воздействия в зависимости от режима излучения, мощности и суммарной энергии полупроводникового лазера с длиной волны 970 нм. Получены новые данные о температурных и пространственных характеристиках лазерной коагуляции биологической ткани в непрерывном и импульсном режимах. Обоснована возможность управляемого формирования зоны термического повреждения путём изменения параметров импульсного воздействия, что расширяет научные представления о применении лазерной интерстициальной термотерапии для предварительной обработки паравертебрального компонента экстрамедуллярных опухолей. Полученные данные о закономерностях термического воздействия ($p<0,05$) на тканевые модели позволяют прогнозировать зоны абляции и оптимизировать параметры лазерного излучения для клинического применения.

Внедрение в клиническую практику безопасных параметров лазерного воздействия позволяет стандартизировать процедуру ЛИТТ при спинальной патологии.

Разработанная двухэтапная методика может быть рекомендована для лечения пациентов с высоким операционным риском (пожилой возраст, тяжелая сопутствующая патология), а также при опухолях с обширным паравертебральным компонентом и выраженной васкуляризацией.

Применение методики позволяет сократить сроки пребывания пациента в стационаре на 4,7 дня ($p<0,05$) и ускорить его реабилитацию за счет меньшей травматичности анатомических структур и снижения болевого синдрома ($p<0,05$).

Результаты исследования по применению лазерных технологий могут быть использованы в нейрохирургических отделениях центров федерального значения.

Методология и методы исследования

Работа основана на принципах доказательной медицины и включает экспериментальный (in vitro) и клинический (проспективное и ретроспективное

когортное исследование) компоненты. В экспериментальной части использован полиакриламидный тканеэквивалентный фантом и тепловизионный контроль. Использован лазерный аппарат «ЛАХТА МИЛОН». Оценивали тепловые эффекты при разных режимах воздействия. Размер зоны воздействия определяли микроскопом «Микмед 5», использовали программное обеспечение MMC Statistica 10, 2016 г. В клинической части проведен анализ результатов лечения 60 пациентов, разделенных на две группы. Применялись клинико-неврологические, лучевые (МРТ, СКТ, ангиография, УЗИ), гистологические и современные статистические методы (t-критерий Уэлча, точный критерий Фишера, расчет величины эффекта Коэна и Хеджеса).

Положения, выносимые на защиту

1. Экспериментальное моделирование на тканеэквивалентном фантоме позволило объективизировать выбор оптимальных параметров лазерного воздействия (импульсный режим 1000/700 мс, мощность 5 Вт), обеспечивающих максимальную площадь коагуляционного некроза при минимальном риске карбонизации и повреждения окружающих тканей.

2. Двухэтапная методика хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, включающая предварительную транскутанную лазерную абляцию экстравертебрального узла, позволяет снизить его объем и васкуляризацию, что создает благоприятные условия для последующего микрохирургического этапа.

3. Применение разработанной методики ЛИТТ у пациентов с ЭМО достоверно снижает интраоперационную кровопотерю (в 1,9 раза), сокращает время операции (на 32%) и сроки госпитализации (на 4,7 дня) по сравнению с традиционным лечением, а также способствует более раннему регрессу болевого синдрома и неврологического дефицита, не влияя на радикальность удаления ($p<0,05$).

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов подтверждается достаточным объемом выборки (n=60), использованием современных методов диагностики и статистической обработки (Statistica 10, 2016 г.), а также воспроизводимостью результатов экспериментальной части. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на: Всероссийской научно-практической конференции «Поленовские чтения» (Санкт-Петербург, 2022, 2023, 2024), III Евразийском нейрохирургическом форуме (Казань, 2023), конгрессе нейрохирургов России (Казань, 2024), Всероссийской научно-практической конференции «Физика лазерного излучения в хирургической практике» (Калининград, 2025), Конференции «Минимально-инвазивная и эндоскопическая нейрохирургия» (Санкт-Петербург, 2026), Научно-практической конференции «Актуальные проблемы лазерной медицины» (Санкт-Петербург, 2026), Всероссийском нейрохирургическом форуме (Москва, 2026)

Внедрение результатов работы в практику

Разработанные методы хирургического лечения пациентов с ЭМО внедрены в работу нейрохирургического отделения №1 РНХИ им. проф. А.Л. Поленова – филиала ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, нейрохирургических отделений городской больницы Святой преподобномученицы Елизаветы, нейрохирургического отделения Забайкальской краевой детской клинической больницы, нейрохирургического отделения Забайкальской краевой клинической больницы, Научно-практические результаты диссертационного исследования внедрены в образовательный процесс кафедры нейрохирургии Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики, института клинической неврологии и реабилитационной медицины ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ для публикации результатов диссертационных исследований. Получен патент РФ № 2846156 12.12.2024 г.

Объем и структура диссертации

Объём диссертационной работы составляет 145 страниц машинописного текста. Структура включает введение, аналитический обзор литературы, главу, содержащую описание материалов и методов исследования, главу с изложением собственных результатов, обсуждение полученных данных, заключение, выводы, практические рекомендации и список литературных источников. В работе представлено 26 таблиц и 28 рисунков.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Эпидемиология, определение и классификация экстрамедуллярных опухолей

Опухоли спинного мозга выявляются преимущественно у лиц социально активного возраста — в диапазоне от 30 до 50 лет, причём среди диагностированных новообразований доминируют экстрамедуллярные опухоли, что обуславливает высокую медико-социальную значимость данной патологии (Могила В.В. с соавт., 2017). При этом экстрамедуллярные опухоли (ЭМО) классифицируются как относительно редкая патология: ежегодная частота их возникновения варьируется в пределах 3–10 случаев на 100 000 населения (Mo K., 2022; Liu L, 2024).

Экстрамедуллярными опухолями называют новообразования, развивающиеся из структур, окружающих спинной мозг, — в том числе из корешков спинномозговых нервов, сосудов, оболочек спинного мозга, нервов и эпидуральной клетчатки. Преобладающую часть таких новообразований составляют первичные опухоли, среди которых наиболее часто встречаются шванномы, нейрофибромы, менингиомы (Коновалов Н.А., 2014; Елисеенко И.А., 2021; Fachrisal, 2020; Amadasu E., 2022). Вместе с тем в клинической практике фиксируются и случаи вторичных экстрамедуллярных новообразований.

Согласно статистическим данным по взрослой популяции, распределение интрадуральных опухолей выглядит следующим образом: примерно две трети случаев представлены экстрамедуллярными опухолями, а около трети – интрамедуллярными новообразованиями (Бывальцев В.А., 2014; Mehta A.I., 2013; Guerrero-Suarez P.D., 2018; Narayan S., 2021; Mann M., 2023).

Классификация ЭМО проводится по различным критериям:

1. В зависимости от частоты встречаемости (Klekamp J. et al., 2007):

- часто встречающиеся (шванномы, менингиомы, нейрофибромы). При этом шванномы и нейрофибромы принято относить к единой категории — «опухоли оболочек нервов».

- редко встречающиеся (метастазы, арахноидальные кисты, липомы, гамартомы и другие).

2. По гистологической структуре – применяется классификация всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): Grade I-IV (Louis D.N. et al., 2021). Подавляющее большинство экстрамедуллярных опухолей относятся к классу Grade I, то есть имеют доброкачественное течение и относительно невысокую скорость роста (Santos R.C. et al., 2018).

3. По расположению относительно спинного мозга в аксиальной проекции (Slin'ko E.I. et al., 2004):

- вентральное;

- вентролатеральное;

- латеральное;

- дорсолатеральное;

- дорсальное.

4. По отношению к позвоночному каналу - классификация, предложенная K. Sridhar с соавт. (Sridhar K. et al., 2001), включает следующие типы:

1 тип: интраспинальная опухоль длиной < 2 сегментов;

2 тип: интраспинальная опухоль длиной > 2 сегментов (гигантская);

3 тип: интраспинальная + интрафораминальный рост;

4 тип: интраспинальная + паравертебральный рост (опухоль в форме гантели или песочных часов): а) паравертебральный компонент < 2,5 см; б) > 2,5 см (гигантская);

5 тип: опухоль с деструкцией тела позвонка (гигантская инвазивная опухоль), распространяющаяся латерально и кзади в миофасциальные пространства.

5. IV тип по Sridhar (гантелевидные/опухоли в форме песочных часов) также можно классифицировать по Eden:

- типы I и II имеют интрадуральный компонент;

- тип I исключительно внутриспинальный;

- тип II имеет паравертебральное распространение;

- типы III и IV являются экстрадуральными;

- тип III имеет внутриканальный компонент в дополнение к его латеральному расширению;

- тип IV является фораминальным с латеральным паравертебральным расширением без внутриканального компонента.

Как правило, новообразования оболочек периферических нервов — к числу которых относят нейрофибромы и шванномы — характеризуются доброкачественным течением (Панченков Д.Н. и соавт., 2021). Подобные опухоли в основном располагаются латерально и могут демонстрировать как солидное строение, так и наличие кистозных включений. Пол пациента не влияет на частоту встречаемости: частота их выявления у мужчин и женщин сопоставима. Наиболее часто данные образования диагностируются в возрасте 30–50 лет.

Примерно в трети случаев такие опухоли распространяются паравертебрально через межпозвонковое отверстие, формируя гантелеобразную конфигурацию. При этом паравертебральная часть нередко существенно превосходит внутриканальный компонент и способна распространяться в забрюшинное пространство, заднее средостение либо мягкие ткани шеи (Safaee M. et al., 2016).

Источником развития нейрофибром и шванном служат клеточные структуры, покрывающие нервные корешки. Ввиду сходства клинической картины, радиологических признаков и тактики ведения пациентов эти образования принято объединять в общую группу — опухоли оболочек нервов (nerve sheath tumors).

Шванномы, составляющие около 85% опухолей данной группы, представлены исключительно шванновскими клетками и не инфильтрируют нервные волокна. Нейрофибромы, напротив, состоят из конгломерата шванновских клеток, фибробластов и нервных волокон и сопровождаются инфильтрацией нервного корешка. В 95% случаев шванномы исходят из заднего (дорсального, чувствительного) корешка; значительно реже, примерно в 5% экстрамедуллярных

шванном, источником роста является передний (вентральный, двигательный) корешок (Moses Z.B. et al., 2020; Zheng G.B. et al., 2023).

Что касается гистологической картины, то для шванном характерно присутствие исключительно шванновских клеток. Они организованы в две разновидности тканей: тип Antoni A и тип Antoni B. Первый из них отличается высокой клеточной плотностью и строгой упорядоченностью. В его составе формируются особые образования — тельца Варокея (впервые описанные одноимённым врачом в 1910 году). Ткань второго типа (Antoni B), напротив, демонстрирует низкую плотность клеток и неупорядоченное строение. Кроме того, в ней нередко присутствуют кистозные элементы. Фактически ткань Antoni B представляет собой дегенерировавший вариант ткани Antoni A (Moses Z.B. et al., 2020).

Шванномы относятся к доброкачественным новообразованиям, источником которых служат шванновские клетки. Именно эти клетки отвечают за формирование миелиновой оболочки, покрывающей нервные волокна. Они составляют примерно 8% опухолей нервной системы и более трети первичных опухолей позвоночника (Ryu S.M. et al., 2019; Corrivetti F. et al., 2023). На их долю приходится около 25% всех интрадуральных опухолей позвоночника (Hohenberger C. et al., 2020). Заболеваемость оценивается в диапазоне от 0,3 до 0,4 на 100 000 человек в год (Hohenberger C. et al., 2020). Преимущественно поражают пациентов в возрасте от 40 до 50 лет (Ryu S.M. et al., 2019; Hohenberger C. et al., 2020; Corrivetti F. et al., 2023).

Типичными симптомами являются боль, нарушения чувствительности и реже — двигательный дефицит [Hohenberger C. et al., 2020]. Учитывая происхождение из нервных оболочек, эти опухоли могут иметь фораминальный эпицентр с латеральным экстраспинальным распространением, связанным или не связанным с внутриспинальным компонентом. Это двойное расширение придаёт им характерную форму гантели. Экстраспинальный компонент встречается в 30% случаев, а гантельная конфигурация с интра- и экстраспинальным компонентом — в 20% (Seppälä M.T. et al., 1995; Hohenberger C. et al., 2020).

При сочетании с нейрофиброматозом 2 типа (НФ2) или другими подтипами шванноматоза поражения чаще всего являются мультифокальными (George B. et al., 2011; Hohenberger C. et al., 2020). Несмотря на то что в большинстве случаев шванномы доброкачественные, диагностируются и злокачественные варианты (Zhang J. et al., 2017).

Характерной чертой шванном является их происхождение из одиночного пучка и отсутствие инфильтративного роста в нервный корешок — опухоль лишь оттесняет его. В ряде клинических сценариев это позволяет нейрохирургу удалить новообразование, сохранив корешок в функционально полноценном состоянии (Aggarwal V., 2019). Не исключены внутриопухолевые геморрагии с последующей трансформацией в кистозную или жировую ткань. В литературе имеются сообщения об интрамедуллярных шванномах, однако этиологические факторы и источники их роста до сих пор не установлены (Karatay M. et al., 2017).

Нейрофибромы — доброкачественные опухоли оболочек нервов, развивающиеся за счёт их соединительной ткани, преимущественно эндоневрия (Zhan Z. et al., 2019). Они могут быть локализованными, диффузными или плексиформными. Локализованные нейрофибромы чаще всего носят спорадический характер и чаще всего встречаются в области позвоночника, тогда как плексиформный вариант чаще встречается при нейрофиброматозе 1 типа (НФ1), поражая 25–50% людей (Zhan Z. et al., 2019).

Плексиформный подтип может вовлекать несколько нервных корешков и инвазировать соседние структуры. Нейрофибромы могут перерасти в злокачественные опухоли оболочек периферических нервов (ЗООПН) в 0,001% случаев в общей популяции и в 2–5% случаев при НФ1 (Zhan Z. et al., 2019).

Нейрофиброматоз II типа, связанный с дефектом гена 22-й хромосомы, является фактором риска развития первично-множественных спинальных опухолей (Гуляев Д.А. с соавт., 2021; Кравцов М.Н. с соавт., 2021; Макашова Е.С. с соавт., 2021; Moshref R. et al., 2021). Однако наличие множественных шванном ещё не позволяет однозначно диагностировать НФ2. У пациентов с множественными спинальными шванномами при отсутствии вестибулярных шванном возможен

шванноматоз. Кроме того, нейрофиброматоз II типа рассматривается и как фактор риска возникновения злокачественных спинальных шванном (Nowak A. et al., 2016; Moshref R. et al., 2021). В шванномах могут возникать кровоизлияния с последующей кистозной либо жировой трансформацией. В литературе описаны и интрамедуллярные шванномы, однако точные причины их появления и источник роста окончательно не установлены (Karatay M. et al., 2017).

Спинальные нейрофибромы могут быть как спорадическими, так и обусловленными нейрофиброматозом I типа — генетическим заболеванием, ассоциированным с дефектом 17-й хромосомы. Большинство пациентов с множественными спинальными нейрофибромами имеют НФ1 (Zhan Z. et al., 2019). Для нейрофибром типично происхождение из центральной части корешка и рост по типу его фузиформного расширения. Вследствие этого, в отличие от шванном, сохранить корешок при удалении нейрофибромы, как правило, невозможно. Гистологически нейрофибромы состоят из шванновских клеток, фибробластов и иных клеточных элементов, расположенных среди переплетающихся аксонов и коллагеновых волокон. При НФ1 возможно наличие нескольких спинальных нейрофибром, причём с возрастом прослеживается тенденция к увеличению их количества (Waqar M. et al., 2018).

Наряду с доброкачественными образованиями значительную клиническую проблему представляют злокачественные процессы с метастазированием в позвоночник. Метастатическое поражение с компрессией невральных структур представляет собой значимый фактор существенного снижения качества жизни у пациентов с онкологическими заболеваниями (Cole JS., 2008). Согласно данным зарубежной и отечественной литературы, метастазы позвоночника развиваются приблизительно у 40% пациентов с системными злокачественными новообразованиями, при этом компрессия спинного мозга наблюдается у до 10% таких больных (Bach F., 1990). Преимущественная локализация метастазов зависит от типа первичной опухоли. Наиболее часто метастазирование в позвоночник отмечается при: раке предстательной железы, раке лёгкого, раке молочной железы.

Далее по частоте следуют лимфома, почечно-клеточный рак и множественная миелома.

Распределение метастазов вдоль позвоночного столба обусловлено относительной костной массой каждого сегмента и особенностями регионального кровотока. Статистически установлено следующее распределение: грудной отдел — 60% случаев, пояснично-крестцовый отдел — 25%, шейный отдел — 15%.

В связи с прогрессом в области лучевой и системной терапии отмечается тенденция к увеличению числа пациентов с метастазами в позвоночнике, поскольку указанные методы лечения способствуют продлению выживаемости больных с метастатическим раком.

Терапевтическая стратегия носит преимущественно паллиативный характер и преследует следующие цели: сохранение неврологических функций, восстановление стабильности позвоночника, купирование болевого синдрома, обеспечение надёжного локального контроля опухолевого процесса (Laufer I., 2013).

При этом паллиативная направленность терапии накладывает существенные ограничения: любое вмешательство должно минимизировать риск осложнений и сопутствующей заболеваемости, что формирует относительно узкое терапевтическое окно.

Современные вызовы в спинальной онкологии обусловлены стремительным развитием хирургических технологий, иммунотерапии, таргетной химиотерапии и лучевой терапии, которые кардинально меняют терапевтический ландшафт. Сложность клинического ведения пациентов усугубляется наличием множественных сопутствующих заболеваний на фоне прогрессирующего системного опухолевого процесса. В связи с этим лечение требует мультидисциплинарного подхода с привлечением хирургов, онкологов и лучевых терапевтов.

1.2 Клиническая картина и дифференциальная диагностика

Медленное развитие и неспецифичность клинических проявлений у пациентов с экстрамедуллярными опухолями (ЭМО) часто приводят к значительной задержке между появлением первых симптомов и постановкой диагноза.

Поскольку большинство ЭМО имеют доброкачественный характер (Tumialán L.M., 2018; Patel P., 2021; Zhang G., 2023), исход лечения в значительной степени зависит от уровня хирургической техники — в частности, от полноты резекции опухоли и вероятности рецидива при одновременном достижении оптимального функционального результата. Однако радикальное удаление новообразования нередко осложняется массивным вовлечением анатомически значимых структур и интенсивным кровоснабжением.

При тотальном удалении шванном и нейрофибром с резекцией функционально значимого поражённого нервного корешка благоприятные результаты достигаются в 80% наблюдений, хотя подобная тактика сопряжена с риском неврологического дефицита.

Наиболее частыми жалобами пациентов с ЭМО являются боль — локальная либо радикулярная, мышечная слабость, онемение, дизестезии, нейропатический болевой синдром и сенсорная атаксия (Koeller K.K., 2019; Kumar V., 2021). В клинической структуре заболевания целесообразно выделять три основных синдрома: локальную боль в шее, радикулопатию и миелопатию. Развитие симптоматики может быть связано со сдавлением спинного мозга опухолью, раздражением нервного корешка, раздражением оболочек спинного мозга либо нарушением кровоснабжения спинного мозга вследствие воздействия на радикулярные артерии (Setzer M., 2007). Как правило, заболевание имеет медленно прогрессирующее течение: сначала появляется локальный болевой синдром в области шеи, затем формируется радикулярная симптоматика, после чего нарастает миелопатический синдром (Hohenberger C., 2020; Kitov B., 2022). В среднем от момента появления симптомов до постановки диагноза проходит от нескольких

месяцев до 1–2 лет, однако этот интервал может значительно варьировать и достигать десятков лет, что обусловлено медленным ростом опухоли и неспецифичностью её проявлений (Narayan S., 2021).

Боль является первым и наиболее частым симптомом заболевания [Могила В.В. с соавт., 2017; Бывальцев В.А. с соавт., 2018). Она может носить локальный характер либо иметь радикулярное распространение в конечность или по межреберью. Поскольку шванномы и нейрофибромы исходят из нервного корешка, для них особенно характерна радикулярная боль, соответствующая стороне локализации процесса (Yamane K., 2013; Zhang J., 2017; Chen P., 2021; Vandenbulcke A., 2023). Компрессионная миелопатия, возникающая при сдавлении спинного мозга опухолью, проявляется постепенно нарастающим спастическим парапарезом, сенсорной атаксией заднестолбового типа и дисфункцией тазовых органов. На ранних этапах миелопатический синдром может протекать по типу синдрома Броун-Секара, а в терминальной стадии — по типу полного поперечного поражения спинного мозга. Нарушения мочеиспускания и дефекации относятся к поздним проявлениям экстрамедуллярных опухолей (Pham M., 2016; Ampie L., 2021; Montero A.S., 2021).

Локализация опухоли влияет на характер неврологической симптоматики. При вентральном расположении в первую очередь развивается парез нижних конечностей, обусловленный дисфункцией кортикоспинальных трактов; при дорсальной локализации на первый план выходит сенсорная атаксия вследствие поражения задних столбов (Slin'ko E.I. et al., 2007). По данным J. Klekamp et al. (2007), наиболее тягостными симптомами в дооперационном периоде являются болевой синдром и нарушение равновесия при ходьбе. Поскольку большинство ЭМО имеет латерализованное расположение, клиническая симптоматика часто указывает и на сторону локализации новообразования. Вместе с тем только по клиническим данным дифференцировать различные гистологические варианты ЭМО невозможно (Nakamura M. et al., 2013).

В отличие от интрамедуллярных образований, при которых важна дифференциальная диагностика с воспалительными и демиелинизирующими

процессами, верифицированное экстрамедуллярное образование почти всегда является опухолью; лишь в исключительных случаях оно может соответствовать субдуральной гематоме.

Методы диагностики

Золотым стандартом диагностики ЭМО является магнитно-резонансная томография с контрастным усилением (Яриков А.В. с соавт., 2022; Narayan S. et al., 2021; Carlos-Escalante J.A., 2022; Vandenbulcke A., 2023). МРТ позволяет достоверно определить взаимоотношение опухоли со спинным мозгом и твёрдой мозговой оболочкой, то есть подтвердить экстрамедуллярный характер процесса, а также выявить экстравертебральный компонент при опухолях типа «песочных часов» (Лисицкий И.Ю. с соавт., 2023; Zheng G.B. et al., 2023). При выявлении экстрамедуллярной опухоли оправдано выполнение МРТ всего позвоночника и головного мозга, поскольку шванномы и нейрофибромы могут быть проявлением нейрофиброматоза и сопровождаться множественным поражением. Интенсивность накопления контрастного вещества отражает степень кровоснабжения опухоли. Для разграничения интра- и экстрадуральных образований наибольшую информативность имеют сагиттальные МР-изображения (Zheng G.B. et al., 2023).

Опухоли оболочек нервов, как правило, изоинтенсивны в Т1-режиме и гиперинтенсивны в Т2-режиме по отношению к серому веществу спинного мозга. Выраженность контрастного усиления может варьировать от слабой до интенсивной. Для диагностики экстрамедуллярных липом применяется МРТ с программой жироподавления (Xu X., 2023). Компьютерная томография позвоночника позволяет оценить состояние костных структур в зоне опухоли, что особенно важно при подозрении на злокачественные образования, прежде всего метастатические, а также определить наличие и степень обызвествления самой опухоли. Наиболее информативен режим «костного окна» (Bezu M.T. et al., 2022). На современном этапе рентгенография в предоперационном обследовании имеет вспомогательное значение. При гантелеобразных опухолях с распространением в межпозвонковое отверстие на косых снимках может определяться его расширение, а при крупных, длительно существующих новообразованиях — деформация тела

позвонка, известная как симптом Элсберга—Дайка (Elsberg C.A., 1925). Функциональные рентгенограммы в положениях сгибания и разгибания позволяют оценить стабильность позвоночного сегмента. Интраоперационная рентгеноконтрастная миелография остаётся ценной методикой, позволяющей ограничить объём доступа (Onofrio B.M., 1978). Верхняя граница стоп-контраста соответствует нижней границе опухоли. Особенно актуально применение миелографии для уточнения уровня ЭМО в грудном отделе позвоночника, когда разметка по смежным изображениям шейного или поясничного отделов затруднена (Ramani P.S., 2016; Honda A. et al., 2020). При опухолях с паравертебральным компонентом принципиально важно точно определить его локализацию и размеры, так как соотношение интраканального и паравертебрального компонентов может значительно варьировать (Moshref R. et al., 2021).

Окончательно дифференцировать шванному от нейрофибромы позволяет только гистологическое исследование.

1.3 Эволюция хирургического лечения: от ламинэктомии к минимально инвазивным подходам

История хирургии ЭМО начинается во второй половине XIX века, когда в практику была внедрена ламинэктомия как стандартный доступ к патологическим процессам спинного мозга. Первое описанное удаление экстрамедуллярной опухоли грудной локализации выполнил английский хирург Victor Horsley 9 июня 1887 года (Gowers W.R. et al., 1888). Пациентом был 42-летний мужчина. За три года до вмешательства он попал вместе с женой в дорожное происшествие, в котором жена погибла, тогда как сам он серьёзно не пострадал. После происшествия у него возникла боль в пояснице, которую первоначально трактовали как растяжение. Позднее боль регрессировала, однако спустя несколько месяцев появилась боль в области лопатки, а затем в течение трёх лет постепенно развились плегия нижних конечностей, онемение ног, расстройства мочеиспускания и дефекации. На разных

этапах заболевание расценивали как невроз, межрёберную невралгию, аневризму и опухоль. Проводившееся в различных странах лечение эффекта не дало, после чего пациент согласился на операцию. Во время вмешательства хирурги были вынуждены выполнить ламинэктомию на нескольких уровнях, прежде чем обнаружили опухоль в области дорсальных корешков Th3–Th4. Новообразование было полностью удалено; гистологически оно было расценено как «фибромиксома», хотя наиболее вероятно, что речь шла о шванноме. Через шесть месяцев после операции пациент уже передвигался самостоятельно. Публикация Horsley оказала значительное влияние на развитие хирургии опухолей позвоночника. В 1895 г. Starr опубликовал серию из 19 операций по поводу опухолей позвоночника (Starr M.A., 1895), а ещё раньше предпринимались попытки использовать интраоперационные нейрофизиологические исследования (Abbe R., 1890).

Вместе с тем пионером хирургии интрадуральных опухолей принято считать Charles Albert Elsberg (Ohry A., 2021). Его первое крупное исследование, посвящённое хирургическому лечению больных с интрамедуллярными и экстрамедуллярными опухолями, было опубликовано в 1925 году (Elsberg C.A., 1925). Полученные им результаты лечения 54 экстрамедуллярных опухолей сопоставимы с результатами ранней микрохирургической эпохи. С развитием анестезиологии, антибактериальной терапии и нейровизуализации следующим важным этапом стало внедрение операционного микроскопа и микрохирургической техники, начиная с 1960-х годов, что сопровождалось ростом частоты благоприятных неврологических исходов. Микрохирургия ЭМО развивалась как за счёт совершенствования мануальных навыков хирургов, так и за счёт улучшения инструментария. Yasargil и Pernecky (Yasargil M.G. et al., 1991) рассматривали внедрение биполярной коагуляции как одно из ключевых достижений хирургии, показали связь между исходным неврологическим статусом и послеоперационным результатом и рекомендовали выполнять операцию до формирования грубых проводниковых расстройств. В более поздних работах Yasargil выступал против тотальной ламинэктомии как универсального доступа к

опухолям спинного мозга, предлагая при крупных образованиях костно-пластическую ламинэктомию, а при небольших — частичную гемиламинэктомию (Yasargil M.G. et al., 1991).

Отдельным этапом развития хирургии ЭМО стало внедрение магнитно-резонансной томографии в 1980-х годах. Это позволило значительно раньше выявлять подобные новообразования и, соответственно, улучшить результаты хирургического лечения (Ledbetter L.N. et al., 2019; Narayan S. et al., 2021; Carlos-Escalante J.A. et al., 2022). МРТ позволила диагностировать опухоли на ранних этапах их развития, что существенно улучшило результаты оперативного лечения.

Современные подходы к хирургии ЭМО учитывают направление роста опухоли. В ряде случаев новообразования оболочек нервов можно радикально удалить без костных резекций стенок позвоночного канала. Через межпозвонковое отверстие, уже расширенное растущей невриномой, можно получить доступ к её интраканальной интрадуральной части (Zhang J. et al., 2017; Chang C. et al., 2023). В случае необходимости хирург прибегает к дополнительной односторонней либо двусторонней частичной фасетэктомии.

Для образований с вентральным ростом и экстравертебральным компонентом возможны передние доступы, однако даже большие и гигантские вентрально расположенные опухоли нередко оказываются доступными из заднего подхода при дополнительной латеральной костной резекции и пересечении зубчатой связки (Onken J. et al., 2018). Чем больше объём костной и суставной резекции, тем выше вероятность необходимости стабилизации позвоночника в послеоперационном периоде (Орлов В.П. с соавт., 2021; Mo K. et al., 2022). Наиболее актуальна дорсальная стабилизация при опухолях шейно-грудного и грудо-поясничного переходов, где риск формирования кифотической деформации особенно велик.

Ранее стандартным доступом к опухоли была тотальная двусторонняя ламинэктомия через задний срединный разрез (Kumar V. et al., 2021; Liao D. et al., 2023). Как правило, резекцию дужек выполняли не только на уровне опухоли, но также на один уровень выше и ниже. К основным осложнениям такой операции относятся постламинэктомический кифоз и развитие нестабильности

позвоночника (KrishnanKutty R. et al., 2018; Tumialán L.M. et al., 2018; Clouse J. et al., 2020). Кроме того, традиционная ламинэктомия сопровождается большей травматизацией мягких тканей, более выраженной кровопотерей и удлинением сроков госпитализации. Уже в 1970-е гг. была предложена остеопластическая ламинэктомия с реконструкцией позвоночного канала после удаления опухоли, однако в связи с технической сложностью эта методика тогда не получила широкого распространения.

В 1990–2000-х годах на первый план вышли минимально инвазивные доступы. Предпочтение большинства хирургов отдаётся односторонней гемиламинэктомии (KrishnanKutty R.A. et al., 2018; Goodarzi A. et al., 2020; Liao D. et al., 2023, Argiti K. et al., 2024). Суть техники: под микроскопом высокоскоростным бором выполняется ипсилатеральная резекция дужки, проводится ипсилатеральная флавотомия; при этом остистые отростки, контрлатеральная часть дужки и мышцы остаются нетронутыми. При малых размерах опухоли возможен ещё более атравматичный интерламинарный доступ.

В литературе также описаны передние варианты доступа, в частности трансторакальный трансвертебральный и торакоскопический (Ramani P.S., 2016). Их применение ограничивается в основном кальцифицированными вентрально или вентролатерально расположенными менингиомами с широким матриксом, когда тракция спинного мозга из заднего доступа сопряжена с чрезмерным риском (Hohenberger C. et al., 2020). В подобных ситуациях допустимо выполнение вертебрэктомии и/или костотрансверзэктомии, что повышает безопасность хирургических манипуляций (Setzer M. et al., 2007).

Тотальная хирургическая резекция остаётся главной задачей при лечении доброкачественных неврином и нейрофибром (Ступак В.В. с соавт., 2014; Chung A.S. et al., 2021). Интраканальные опухоли удаляются либо через стандартную ламинэктомию, либо путём интерламинарной фенестрации. Большинство таких новообразований происходит из чувствительных корешков, следовательно, локализуются дорсально и хорошо доступны из заднего доступа.

При невриномах основной областью хирургического воздействия становится межпозвонковое отверстие, которое в подавляющем большинстве случаев уже расширено самой опухолью. Поэтому даже незначительного дополнительного расширения обычно достаточно, чтобы обеспечить доступ к основной массе новообразования. По мере уменьшения её объёма формируется пространство, позволяющее безопасно визуализировать и резецировать более глубокие отделы опухоли.

Хирургия ЭМО сегодня считается одной из самых успешной областью нейрохирургии. Успех обусловлен двумя факторами: прогрессом в диагностике, позволяющим обнаружить опухоль до наступления грубых неврологических расстройств, и развитием микрохирургии, которая обеспечивает тотальное удаление с минимальной травмой нервных структур и благоприятным функциональным результатом в большинстве наблюдений (Pham M., 2016; Patel P., 2021; Amadasu E., 2022; Matsumoto Y., 2022).

Несмотря на впечатляющие успехи в хирургии ЭМО, многие нейроонкологические патологии по-прежнему требуют иных терапевтических стратегий. В частности, при метастазах в позвоночник традиционные методы лечения долгое время ограничивались консервативными подходами. Традиционно лечение пациентов с метастазами в позвоночник включало применение высоких доз глюкокортикоидов в сочетании с фракционированной лучевой терапией (Gilbert RW. et al., 1978). Ранние попытки хирургического вмешательства ограничивались задней декомпрессией позвоночного канала и зачастую сопровождались ухудшением неврологических и функциональных исходов по сравнению с изолированным применением лучевой терапии.

Анализ исторических данных показал, что подобная хирургическая тактика способствовала дальнейшей дестабилизации уже повреждённого позвоночника за счёт удаления интактных задних структур. Кроме того, очаг эпидуральной компрессии и метастазов чаще всего локализуется вентрально по отношению к позвоночному каналу, что снижает эффективность задней декомпрессии.

Развитие методов стабилизации позвоночника и совершенствование хирургического инструментария, а также внедрение техник циркулярной декомпрессии позвоночного канала способствовали возрождению роли хирургии в лечении метастазов позвоночника.

Последние десятилетия ознаменовались постепенным расширением применения минимально инвазивных вмешательств в хирургии позвоночника. Основными принципами данного направления являются уменьшение объёма хирургического доступа и повреждения паравертебральных тканей при сохранении достаточной визуализации патологического очага, возможности декомпрессии невральных структур и обеспечения стабильности позвоночного сегмента (Басков А.В., Борщенко И.А., 2008; Sánchez J.A.S. et al., 2020; Helal A. et al., 2022; Zhang G. et al., 2023). Благодаря совершенствованию микрохирургии, интраоперационной нейровизуализации и систем навигации удалось добиться значительного уменьшения интраоперационного повреждения тканей — как при создании хирургического доступа, так и во время отделения опухоли от спинного мозга и корешковых структур (Solli E. et al., 2020). Минимально инвазивные подходы обеспечивают снижение травматизации тканей, уменьшение кровопотери, сокращение продолжительности операции и ускорение реабилитации пациента.

Как результат, традиционная ламинэктомия (на одном или нескольких уровнях) применяется в клинике всё реже, уступая место менее травматичным альтернативам (Fedaravičiusad A. et al., 2020; Hohenberger C. et al., 2020; Goodarzi A. et al., 2020; Dobran M. et al., 2021). В отличие от интрамедуллярных опухолей, ЭМО часто удаляют через доступы с резекцией лишь половины или части дужки (Goodarzi A. et al., 2020; Hernandez N.S. et al., 2022; Kitov B. et al., 2022; Liao D. et al., 2023). Такой подход способствует сохранению структурной целостности позвоночника и минимизации изменений в биомеханике сегмента.

Вместе с тем определённые виды доступов сопряжены с риском развития нестабильности позвоночного сегмента — особенно при резекции значительных объёмов костной ткани. В подобных ситуациях возникает необходимость стабилизации позвоночника с применением металлоконструкций. Однако

установка имплантатов способна осложнить последующую визуализацию при динамическом лучевом обследовании. Кроме того, использование стабилизирующих систем несёт риск ряда осложнений — в том числе механической перегрузки смежных сегментов, несоответствия жёсткости конструкций, рестеноза, рецидивов грыж дисков, развития фасеточного синдрома и прочих нарушений (Wan ZY et al., 2022; Liebsch C et al., 2024).

Выбор хирургической тактики при опухолях позвоночника определяется комплексом факторов, включающих локализацию, размеры и морфологическую структуру новообразования, степень его распространения, выраженность компрессии невральных структур, стабильность позвоночного сегмента и общее состояние пациента. Дифференцированный подход позволяет определить необходимый объём резекции, показания к декомпрессии невральных структур и необходимость стабилизации позвоночника (Гуща А.О. с соавт., 2015). При этом минимально инвазивные методы применимы не во всех случаях: их использование ограничено при оссификации опухоли, вовлечении в её структуру корешков спинного мозга, двусторонней локализации ЭМО либо крупных размерах новообразования (превышающих два позвоночных сегмента) (Khalilullah T. et al., 2025).

Таким образом, современная спинальная нейрохирургия нацелена на достижение баланса между радикальностью удаления опухоли, сохранением стабильности позвоночника и минимизацией интраоперационной травмы. Развитие технологий последовательно расширяет возможности нейрохирургов. Известны методы лазерного воздействия на опухоль интраоперационно с целью тотального удаления, профилактики рецидивов, однако подобные методики в мире практически не отработаны, не исследованы и широко не применяются, литературных источников по данной проблеме хирургического лечения в мире мало.

1.4 Современные методы лечения опухолей с паравертебральным компонентом

Благодаря преимущественно доброкачественному характеру гистологического строения большинства экстрамедуллярных опухолей существует реальная возможность их полного хирургического удаления с достижением стойкой ремиссии у пациентов. При этом важно подчеркнуть, что первоочередная задача оперативного вмешательства заключается не столько в радикальной резекции новообразования, сколько в эффективной декомпрессии спинного мозга, позволяющей купировать неврологическую симптоматику и улучшить качество жизни больного (Amadasu E. et al., 2022). Не менее критичным этапом предоперационного планирования является выбор оптимального хирургического доступа. При его определении необходимо учитывать уровень и направление распространения опухоли, отношение новообразования к невральным и костным структурам, предполагаемый объём резекции элементов позвоночника и необходимость последующей стабилизации (Басков А.В., Борщенко И.А., 2008; Mo K. et al., 2023; Кудзиев А.В. с соавт., 2025). Современные нейрохирургические подходы предоставляют несколько вариантов решения этой задачи — выбор зависит от локализации, размеров и типа опухоли, а также индивидуальных особенностей анатомии пациента.

В зависимости от клинической ситуации удаление ЭМО может быть выполнено из передне-латерального доступа — целесообразного при вентрально или вентролатерально расположенных новообразованиях, когда необходимо минимизировать тракцию спинного мозга, или заднего доступа — наиболее распространённого варианта, обеспечивающего прямой путь к дорсально локализованным опухолям. В сложных случаях, когда требуется сочетание преимуществ разных подходов для достижения максимальной радикальности при минимальной травме окружающих структур применяется комбинированный доступ.

С точки зрения хирургии вмешательство можно считать эффективным, если соблюдаются определенные условия:

- минимальное количество послеоперационных осложнений;
- максимально сокращённые сроки госпитализации;
- минимальное прерывание системной противоопухолевой терапии.

В публикации (Ступак В.В., 2003) описан способ хирургического лечения гантелеобразных экстрамедуллярных опухолей. Технически вмешательство включает следующие шаги: рассечение мягких тканей по остистым отросткам, вскрытие твёрдой мозговой оболочки, обнаружение опухоли и её иссечение (сначала интравертебральной, затем экстравертебральной части). Особенность метода заключается в комбинированном использовании Nd-YAG-лазера (50 Вт, диаметр луча 2–4 мм) и ультразвукового аспиратора для последовательной обработки обнажённого новообразования. После тотального удаления интравертебрального компонента на первой стадии, на второй стадии через межпозвонковое отверстие интракапсулярно обрабатывают и удаляют экстравертебральную часть. Оставшийся экстравертебральный фрагмент фиксируют за капсулу, вытягивают через межпозвонковое отверстие и латерально, в границах неповреждённых тканей, отсекают лазерным лучом (50 Вт, диаметр 2 мм).

Особое внимание заслуживают метастатические опухоли с выраженным паравертебральным компонентом и активным ангиогенезом. Подобные опухоли характеризуются не только поражением костных структур позвоночника, но и вовлечением в патологический процесс прилегающих миофасциальных тканей. Распространение за пределы костных элементов повышает риск компрессии невральных структур, увеличивает интраоперационную кровопотерю и может ограничивать возможности малоинвазивных методик.

1.5 Лучевая терапия и радиохирургия в лечении спинальных опухолей

Ключевое исследование Patchell и соавт. продемонстрировало преимущества комбинированного подхода (хирургическая декомпрессия с последующей лучевой

терапией). В рамках рандомизированного исследования пациенты с солитарной симптоматической эпидуральной компрессией были разделены на две группы:

Циркулярная декомпрессия и стабилизация с последующей традиционной дистанционной лучевой терапией (ДЛТ).

Изолированное применение ДЛТ и хирургическое вмешательство

Комбинация адекватно подобранного хирургического вмешательства с лучевой терапией существенно улучшает качество жизни пациентов. Хирургическая группа продемонстрировала статистически значимые результаты в сохранении двигательных и функциональных возможностей, контроле болевого синдрома и сохранении тазовых функций, а также показателях выживаемости. При этом лучевая терапия остаётся основным методом локального контроля опухоли.

Влияние гистологии опухоли на эффективность лучевой терапии

Гистология опухоли определяет эффективность лучевой терапии (частота локального контроля):

Радиочувствительные опухоли (лимфома, плазмоцитома, множественная миелома и др.) — 2-летняя частота локального контроля до 80–90% при применении ДЛТ.

Радиорезистентные опухоли (рак лёгкого, щитовидной железы, меланома, саркомы и др.) — 2-летний локальный контроль лишь 30%, улучшение состояния часто кратковременно (несколько месяцев).

Стереотаксическая радиохирургия позвоночника (СРХП)

Развитие стереотаксической лучевой терапии с навигацией позволило доставлять высококонформные дозы излучения (однократно или в режиме гипофракционирования: 2–5 фракций).

Особенности СРХП:

- излучение доставляется в ограниченный объём с крутым градиентом дозы, что щадит окружающие ткани;

- биологически эффективная доза примерно в 3 раза выше, чем при дЛТ, что вызывает обширное повреждение ДНК, необратимое повреждение эндотелия, активацию Т-клеток и провоспалительных цитокинов (Greco C. et al., 2015).

Радиохирургия эффективно преодолевает ранее существовавшую гистологию-специфичную радиорезистентность: 12-месячная частота локального контроля составляет 85% даже для таких трудно поддающихся лечению типов опухолей, как почечно-клеточный рак (Gerszten PC. et al., 2005). Благодаря конформности СРХП и относительному щажению окружающих тканей её можно использовать в качестве спасительной терапии при локальных рецидивах после предшествующей лучевой терапии (Faruqi S. et al., 2022).

Хотя СРХП является эффективным и надёжным методом лечения метастазов позвоночника, лучевая травма спинного мозга остаётся проблемой (Moore-Palhares D. et al., 2023). Широко принятый максимум дозы для спинного мозга составляет 14 Гр. В крупном многоцентровом исследовании с участием более 1000 пациентов, получавших СРХП, только у 6 развилась лучевая миелопатия. При эпидуральной компрессии доза, ограничивающая токсичность для спинного мозга или конского хвоста, требует корректировки дозы, что потенциально может привести к недостаточному облучению края опухоли и ухудшению локального контроля.

Разделительная хирургия и СРХП

Для облегчения использования радиохирургии при эпидуральной компрессии появилась хирургическая стратегия, направленная на создание разделения между опухолью и спинным мозгом (Jain H. et al., 2025). Хирургическое вмешательство включает резекцию эпидуральной опухоли с восстановлением твёрдой мозговой оболочки, а затем — стабилизацию позвоночника по показаниям.

Цели комбинации хирургии и СРХП:

- декомпрессия спинного мозга в случаях компрессионной миелопатией
- создание пространства между опухолью и спинным мозгом;
- стабилизация позвоночника.

Объём резекции опухоли не критичен, если между опухолью и спинным мозгом есть достаточное расстояние для доставки опухолецидных доз СРХП.

Пациенты с метастатическим раком часто ослаблены и имеют ряд сопутствующих заболеваний. Хирургическое вмешательство осложняют: кахексия, хроническая анемия, длительное применение стероидов, системные тромбозы

(тромбоз глубоких вен или тромбоэмболия лёгочной артерии), предшествующая лучевая терапия.

Кроме того, у таких пациентов часто наблюдается быстро прогрессирующее заболевание в других органах — помимо поражения позвоночника, — что требует одновременного проведения системной терапии цитотоксическими или таргетными препаратами.

В определённых ситуациях в качестве альтернативы открытым хирургическим вмешательствам были разработаны чрескожные методики, такие как вертебропластика, кифопластика, РЧА. Их цель — снизить травматичность, ограничить прерывание системной или антикоагулянтной терапии, сократить сроки госпитализации, уменьшить боль и кровопотерю или потребность в переливании крови (Tomasian A., Jennings JW., 2023).

1.6. Роль минимально инвазивных методов абляции: радиочастотная и лазерная интерстициальная термотерапия

В настоящее время применяются методы КТ-guided крио- или радиочастотной абляции опухолей позвонков (Masala S. et al., 2008; Nakatsuka A. et al., 2009; Masala S. et al., 2013).

При радиочастотной абляции зафиксированы случаи повреждения спинного мозга или нервных корешков. В исследованиях на животных было показано, что установка электрода непосредственно рядом с задней кортикальной пластинкой тела позвонка или ножкой дуги приводит к повреждению нервных структур (Goetz MP. et al., 2004; Nakatsuka A. et al., 2004).

Опасения по поводу неврологических повреждений и невозможность мониторинга повреждения тканей в режиме реального времени ограничили применение этих методик для абляции эпидуральных опухолей, расположенных в непосредственной близости от невральных структур.

Лазерная интерстициальная термотерапия

Лазерная интерстициальная термотерапия (ЛИТТ) — альтернативный метод чрескожной абляции, получивший широкое распространение в лечении внутричерепных опухолей и других патологий (Chen C. et al., 2021).

Методика предполагает следующее:

Небольшое лазерное оптоволокно вводится в очаг поражения под стереотаксическим наведением.

Энергия передаётся от лазера к окружающим тканям, вызывая термическое повреждение, достаточное для гибели опухолевых клеток и коагуляционного некроза.

Объём повреждения тканей определяется на основе тепловой модели ответа, в которой существует корреляция между температурой, продолжительностью воздействия и последующим повреждением.

С помощью ЛИТТ можно проводить абляцию опухоли, расположенной в непосредственной близости от твёрдой мозговой оболочки и спинного мозга, гарантируя отсутствие термического повреждения спинного мозга (Bastos DCA. et al., 2020).

Дополнительным источником защиты служит спинномозговая жидкость (СМЖ), окружающая спинной мозг, и эпидуральное венозное сплетение — они действуют как теплоотвод, ограничивая образование тепла вблизи спинного мозга.

Как и при циркулярной декомпрессии, область некротической ткани после термической абляции создаёт разделение между жизнеспособной опухолью и спинным мозгом, что позволяет эффективно применять дозы СРХП.

Для пациентов, у которых также имеется нестабильность позвоночника, после ЛИТТ в тех же условиях может быть выполнена чрескожная стабилизация.

В зарубежной литературе описаны методики чрескожной ЛИТТ, однако все исследования проводились с использованием сложных навигационных интраоперационных систем (Almeida Bastos D.C. et al., 2020; Hadzipasic M. et al., 2020; Jonathan S.V. et al., 2026). Тацуи с соавторами описали абляционную чрескожную процедуру, позволяющую уменьшить эпидуральное сдавление

спинного мозга за счёт локального нагревания эпидурального компонента опухоли с применением лазерного воздействия под контролем термографии в режиме реального времени с использованием МРТ (система Visualase). В последней серии наблюдений, включавшей 19 пациентов, не было зарегистрировано случаев неврологических осложнений. При контрольном обследовании через 2 месяца отмечено среднее уменьшение медианной толщины эпидуральной опухоли на 22%: до проведения процедуры показатель составлял 8 мм, после — 6,4 мм (p=0,012). Все пациенты впоследствии прошли стереотаксическую радиохирургию, при этом медианный интервал между процедурами составил 3 дня (Hadzipasic M. et al., 2020) (Рисунок 1).

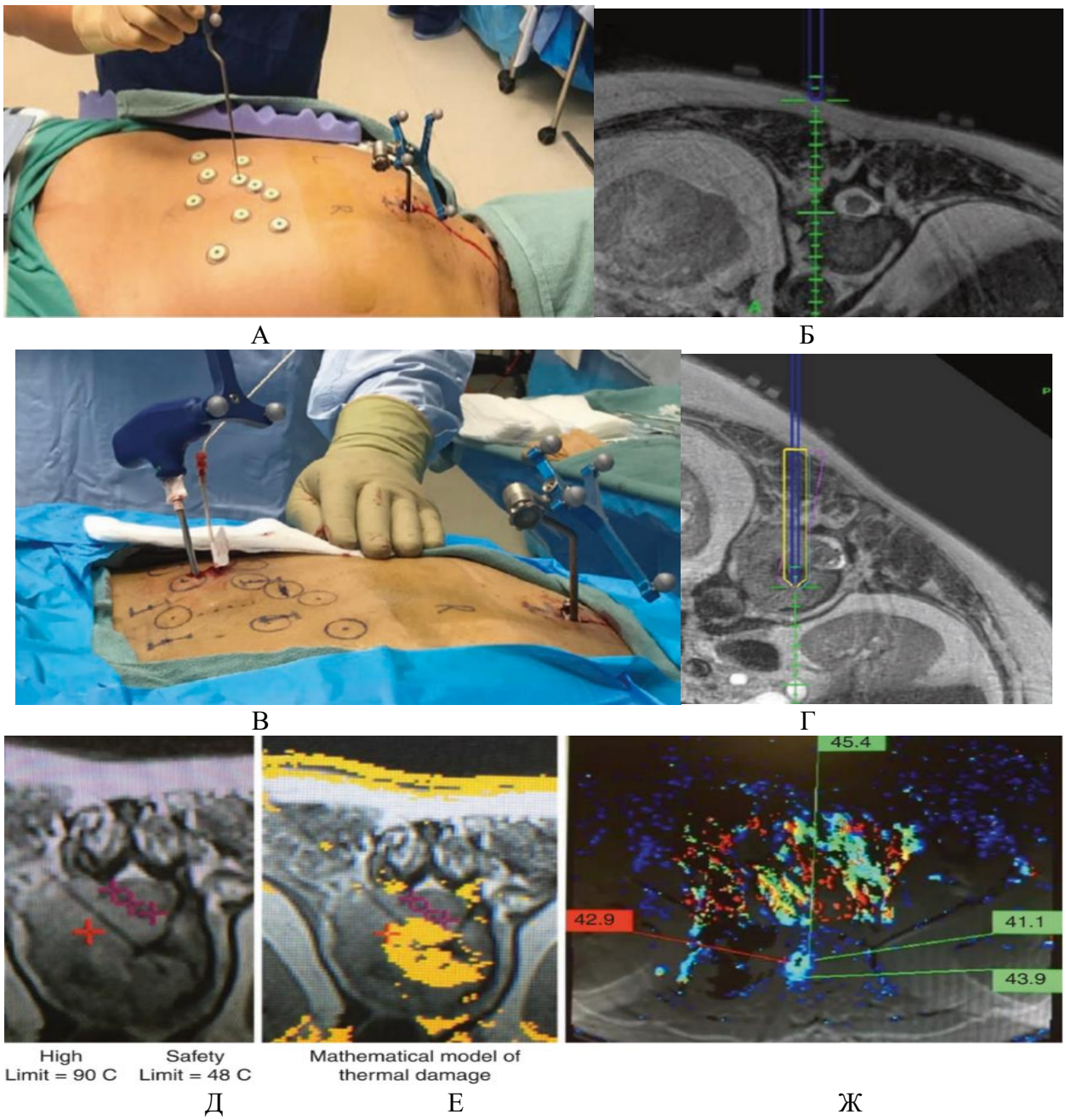


Рисунок 1 — Термометрия на МРТ («Central Nervous System Metastases Diagnosis and Treatment» Rohan Ramakrishna

Примечание: А— Стерильная рамка закреплена на зажиме в стерильных условиях. Нестерильный зонд используется для выполнения поверхностного сопоставления маркеров; Б— Аксиальные навигированные изображения используются для планирования траекторий установки лазерного катетера и транспедикулярных винтов; В— Маркеры удаляются, остальная часть кожных покровов обрабатывается и укрывается стерильным материалом; Г— Навигированная игла Джамшиди вводится под контролем изображений; диаметр иглы (жёлтый) увеличен, чтобы расположить иглу (синий) латеральнее твёрдой мозговой оболочки на 5–7 мм. Д— Последовательность МРТ Т2 используется для определения точной аксиальной плоскости для световода; верхний предел температуры устанавливается латеральнее световода и задаётся на 90 °C (красный крест), а нижний предел — на границе между опухолью и твёрдой мозговой оболочкой, на 50 °C (фиолетовый крест); Е—Математическая модель термического повреждения, отслеживаемая в реальном времени Ж— Во время получения термографических изображений анестезиолог выполняет контролируемую паузу искусственной вентиляции лёгких; на каждый цикл абляции отводится в общей сложности 2 минуты.)

В проанализированной серии исследований воздействие на опухоль производилось лишь интраоперационно, исключая возможность предоперационной подготовки для непосредственного удаления опухоли, за счет транскутанного внутрикапсульного воздействия лазером на паравертебрально расположенные узлы. Также описан метод применения, расфокусированного Nd-YAG-лазера (Ступак В.В. и соавт., 2003). После рассечения твёрдой мозговой оболочки видимая часть опухоли (латеральные и средние отделы) обрабатывается расфокусированным лучом лазера сканирующими движениями — без тракции спинного мозга. В результате происходит коагуляция сосудов и стромы опухоли («сваривание»), её объём уменьшается в 1,5–2 раза — становятся видны верхний и нижний полюс. Это позволяет далее быстро и бескровно удалить опухоль микрохирургическим методом, не травмируя спинной мозг. На завершающем этапе определяют зону роста (матрикс) опухоли — твёрдую мозговую оболочку. Для профилактики рецидива её и окружающую интактную твёрдую мозговую оболочку (на расстоянии 0,5–1,0 см от опухоли) обрабатывают дефокуссированным лучом Nd-YAG-лазера (30–40 Вт, 5–7 минут, диаметр луча ≤ 4 мм). Сначала обрабатывают оболочку по периферии от опухоли, затем — матрикс (от периферии к центру). Недостатками данного метода являются: высокие абляционные дозы, неоптимальные режимы воздействия, отсутствие четкого контроля за зоной лазерного воздействия; также к ограничениям метода можно отнести воздействие на опухоль лишь в интраоперационном этапе, без предоперационной подготовки, что увеличивает время операции.

1.7 Осложнения хирургического лечения и факторы прогноза

Анализ клинических серий демонстрирует, что послеоперационная летальность при хирургическом лечении ЭМО остаётся низкой и находится в диапазоне 0–3 %. Обращает на себя внимание тот факт, что летальность не коррелирует напрямую с основным заболеванием, а определяется преморбидным

фоном пациента — наличием сопутствующей патологии. В послеоперационном периоде основными причинами смерти служат тромбоэмболия лёгочной артерии, пневмония, острая коронарная недостаточность (инфаркт) и нарушения мозгового кровообращения (инсульт) (Patel P. et al., 2021).

Среди наиболее частых ранних послеоперационных осложнений выделяют ликворею, частота которой достигает 4%, и раневую инфекцию, наблюдаемую до 6% случаев (Lenschow M. et al., 2022).

Ликворея и формирование псевдоменингоцеле представляют собой типичные последствия вмешательств, сопровождающихся нарушением герметичности ликворных пространств спинного мозга. Возникновение ликвореи может приводить к формированию наружного ликворного свища, раневой инфекции (Gull H.H. et al., 2022; Yang M. et al., 2026), арахноидиту (Clarke M.J. et al., 2015), менингиту (Cavelier S. et al., 2022; Ng J.J. et al., 2023; Slot E.M. et al., 2023). Кроме того, ликворея удлиняет сроки госпитализации, требует дополнительных диагностических и лечебных мероприятий, увеличивает стоимость лечения и ухудшает функциональные результаты (Weber C. et al., 2015).

Согласно данным литературы, частота ликвореи после удаления спинальных опухолей колеблется в пределах от 0 до 28,6% (Slot E.M. et al., 2023).

Ряд исследований показывает, что минимально инвазивные доступы способны уменьшать вероятность послеоперационной ликвореи, несмотря на технические сложности герметичного ушивания дефекта твёрдой мозговой оболочки. Это объясняют меньшей травматизацией мягких тканей и отсутствием выраженных остаточных полостей в зоне вмешательства. В таких условиях относительное повышение эпидурального давления оказывает тампонирующий эффект и препятствует истечению ликвора (Wong A.P. et al., 2014). Данный механизм имеет значение и при микрохирургическом удалении ЭМО: герметичное закрытие не только дефекта ТМО, но и всех слоёв раны снижает риск псевдоменингоцеле и других проявлений ликвореи за счёт уменьшения объёма послеоперационных полостей.

Большинство случаев псевдоменингоцеле протекают бессимптомно и не требуют специального вмешательства. Однако описаны ситуации, когда компрессия невральных структур приводит к развитию радикулопатии и миелопатии (Шулёв Ю.А. и соавт., 2015). Наружный ликворный свищ нарушает процессы репарации тканей и повышает риск инфекционных осложнений, хотя точная частота их возникновения остаётся неустановленной.

В масштабном исследовании Lin et al. (2014) проанализированы исходы 20 178 спинальных операций в одном центре. У 21 пациента (0,1 %) развился послеоперационный менингит. Все случаи были связаны с операциями по поводу дегенеративных заболеваний, интраоперационным повреждением ТМО и ликвореей (у 11 больных). Всем пациентам проведена антибактериальная терапия, трём выполнена реоперация для ушивания дефекта ТМО.

Особого внимания заслуживает риск диссеминации опухолевых клеток при ликворее после резекции злокачественных новообразований. Подобные случаи описаны при злокачественных опухолях головного мозга (Han Y.P. et al., 2012) и крайне редко — при интрадуральных спинальных опухолях (Palmisciano P. et al., 2022). Точная частота этого осложнения пока не установлена.

Частота рецидивов ЭМО напрямую зависит от радикальности вмешательства. При тотальном удалении опухолей оболочек нервов рецидивы возникают редко, тогда как при субтотальном удалении их частота может достигать 50 % (Nakamura M. et al., 2013). Общий риск рецидивов для интрадуральных экстрамедуллярных опухолей составляет 13 %, 25 % и 32 % через 1, 5 и 10 лет соответственно (Klekamp J. et al., 2007).

Успех хирургического лечения экстрадуральных опухолей оболочек нервов во многом зависит от выраженности дисфункции корешка, являющегося источником роста опухоли. Наиболее неблагоприятными вариантами исхода являются, с одной стороны, неврологический дефицит после резекции вовлечённого корешка, а с другой — необходимость повторной операции вследствие рецидива после неполного удаления. Особую значимость эта проблема имеет для корешков, участвующих в формировании шейного и поясничного

сплетений. По данным литературы, частота неврологического дефицита после резекции поражённого шейного корешка колеблется в широких пределах — от 2,3 до 63% (Vandenbulcke A. et al., 2023).

Согласно имеющимся данным, прогрессирование неврологической симптоматики после операции зависит от трёх основных предикторов. Во-первых, это гистологическая разновидность новообразования. При резекции нейрофибромы вместе с вовлечённым корешком частота усугубления симптомов оказывается более низкой по сравнению с ситуацией удаления шванномы. Во-вторых, исходное функциональное состояние поражённого корешка: сохранная работа мышц, соответствующих миотому данного корешка, ассоциируется с меньшей вероятностью послеоперационной слабости. В-третьих, вектор роста опухоли — наличие экстрадурального компонента повышает риск развития неврологического дефицита.

Диагностика рецидивных экстрамедуллярных опухолей, как клиническая, так и лучевая, обычно не вызывает существенных затруднений. После хирургического вмешательства пациентам необходимо регулярно проходить неврологические осмотры и динамический МРТ-контроль. Ежегодные МРТ-исследования позволяют выявить рецидив опухоли у большинства больных ещё на доклинической стадии. При этом клиническая картина при рецидиве ЭМО практически не отличается от проявлений первичной опухоли (Klekamp J. et al., 2007).

Согласно данным многочисленных исследований, частота рецидивов после радикального удаления ЭМО остаётся на низком уровне (Setzer M., 2007; Abe J., 2014; Chung A.S., 2021; Amadasu E., 2022). Наиболее значимым предиктором благоприятного прогноза является доброкачественный характер опухоли. К менее важным факторам относят степень выраженности арахноидальных спаек и объем хирургической резекции.

Неудовлетворительные исходы при рецидивных новообразованиях зачастую связаны с агрессивным течением опухолевого процесса и техническими трудностями, препятствующими тотальному удалению. Добиться полной резекции

при рецидивах нередко мешают грубые арахноидальные рубцы, сформировавшиеся после предыдущей операции. Кроме того, решение в пользу неполного иссечения нередко принимается из-за опасения усугубить неврологическую симптоматику при попытке тотального удаления (Ramani P.S., 2016).

Неизученные аспекты и обоснование цели исследования: хирургическое лечение ЭМО является актуальной проблемой современной нейрохирургии. Учитывая благоприятный прогноз после их удаления, нерешенными остаются проблемы персонифицированного подхода к лечению с помощью лазерных технологий (оптимальные параметры лазерного воздействия). В зарубежной литературе описаны методики чрескожной ЛИТТ, однако все исследования проводились с использованием сложных навигационных интраоперационных систем [Central Nervous System Metastases Diagnosis and Treatment, 2020], в отечественной литературе описаны способы лечения с применением Nd:YAG - лазера интраоперационно на завершающих этапах матрикса ТМО расфокусированным пучком с целью предупреждения рецидива менингиом (Ступак В.В. и соавт., 2003), а также при удалении опухолей типа «песочные часы» (Ступак В.В. и соавт., 2003). Недостаточная изученность воздействия лазерного излучения на экстрамедуллярные опухоли во многом обусловлена сложностями объективной оценки его эффективности. Воздействие на экстравертебральный компонент опухоли требует высокоточного контроля для минимизации риска повреждения смежных анатомических структур. Подбор оптимальных параметров лазерного излучения — длины волны, мощности и длительности воздействия — представляет собой технически сложную задачу, особенно при распространении опухоли за пределы позвоночного канала. В клинической практике их определение зачастую осуществляется эмпирическим путём, что снижает воспроизводимость результатов и ограничивает широкое внедрение метода. Экстрадуральные экстрамедуллярные опухоли с паравертебральным компонентом сами по себе представляют сложную клиническую проблему из-за своей бифокальной структуры. Экстравертебральный компонент таких опухолей часто

распространяется в миофасциальные ткани и обильно кровоснабжается, что усложняет доступ и требует индивидуального подхода к лечению. Таким образом, существующие в хирургии ЭМО нерешённые вопросы требуют дальнейшей разработки — их устранение будет способствовать улучшению исходов хирургического лечения больных.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Дизайн исследования и критерии отбора пациентов

Исследование проведено в дизайне комбинированного (экспериментального и клинического) нерандомизированного контролируемого исследования. Клиническая часть включала ретроспективный анализ историй болезни пациентов, оперированных до 2021 года, и проспективное наблюдение пациентов, оперированных с 2021 по 2025 год.

Критерии включения:

– возраст старше 18 лет;

– наличие экстрамедуллярной опухоли позвоночника с паравертебральным компонентом, подтвержденной данными МРТ;

– наличие информированного согласия пациента на участие в исследовании и оперативное лечение.

– размер паравертебрального узла > 2,5 см.

– признаки гиперваскуляризации опухоли.

– высокий операционный риск (пожилой возраст, тяжелая сопутствующая патология).

– локализация опухоли в зонах высокого риска повреждения функционально значимых корешков (C5-Th1, L3-S1)

Критерии исключения:

– отказ пациента от участия в исследовании;

– наличие тяжелой соматической патологии в стадии декомпенсации, исключающей возможность оперативного лечения;

– наличие кальцинированных опухолей (по данным КТ), при которых лазерная абляция малоэффективна.

2.2 Общая характеристика клинического материала

В исследование включено 60 пациентов с ЭМО позвоночника с паравертебральным компонентом, оперированных в РНХИ им. проф. А.Л. Поленова в период с 2015 по 2025 год. Пациенты разделены на две группы:

– основная группа (n=30) – хирургическое лечение с применением разработанной двухэтапной методики ЛИТТ (лазер «ЛАХТА-МИЛОН», λ=970 нм);

– контрольная группа (n=30) – хирургическое лечение по традиционной методике (микрохирургическое удаление без применения лазера).

Группы были сопоставимы по полу, возрасту, локализации и гистологическому типу опухолей, исходному неврологическому статусу (Таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1 — Распределение наблюдений по полу и возрасту

Показатель	Основная группа (n=30)	Контрольная группа (n=30)	p
Мужчины, n (%)	18 (60%)	21 (70%)	0,42
Женщины, n (%)	12 (40%)	9 (30%)	0,42
Средний возраст, лет (M±SD)	51,4±2,3	49,2±2,1	0,45

Пациенты в основной и контрольной группах были сопоставимы по полу и возрасту.

Таблица 2 — Распределение наблюдений по гистологическому типу опухоли

Тип опухоли	Основная группа (n=30)	Контрольная группа (n=30)
Метастазы	19 (63,4%)	14 (46,6%)
Шванномы	7 (23,3%)	10 (33,4%)
Нейрофибромы	4 (13,3%)	6 (20%)
Примечание: распределение гистологических типов опухолей сравнивали с использованием критерия хи-квадрат Пирсона: $\chi^2 = 1{,}687$; $df = 2$; $p = 0{,}43$		

Статистически значимых различий между группами по распределению гистологических типов опухолей не выявлено.

Таблица 3 — Локализация опухолей

Отдел позвоночника	Основная группа	%	Контрольная группа	%	Всего	%
Шейный	5	16,7	6	20,0	11	18,3
Грудной	14	46,7	13	43,3	27	45,0
Пояснично-крестцовый	7	23,3	8	26,7	15	25,0
Переходный отдел	4	13,3	3	10	7	11,7
Всего	30	100	30	100	60	100

Распределение опухолей по отделам позвоночника в группах статистически значимо не различалось ($\chi^2 = 0,34$; $df = 3$; $p = 0,95$). В обеих группах преобладало поражение грудного отдела; суммарная доля грудного и пояснично-крестцового отделов составила 70,0% наблюдений, что соответствует типичной локализации экстрамедуллярных опухолей.

2.2.1 Анализ неврологического статуса и качества жизни в зависимости от гистологического типа опухоли

Учитывая гетерогенность клинического материала, был проведен дополнительный анализ неврологического восстановления и качества жизни отдельно для двух подгрупп пациентов: с доброкачественными опухолями (шванномы, нейрофибромы, всего 27 пациентов) и с метастатическим поражением (всего 33 пациента) (Таблица 4).

Таблица 4 — Исходные неврологические показатели в подгруппах

Показатель	Доброкачественные (n=27)	Метастазы (n=33)	p
NSS, баллы (M±SD)	5,2±1,1	4,1±1,3	0,001
Frankel C/D, n (%)	19 (70,4%)	21 (63,6%)	0,78
ВАШ, баллы (M±SD)	5,4±1,3	7,8±0,9	<0,001

Как видно из таблицы 4, исходно пациенты с метастазами имели более выраженный болевой синдром ($p<0,001$) и тенденцию к более тяжелому неврологическому дефициту ($p=0,001$ по шкале NSS), что отражает более

агрессивное течение заболевания. По распределению градаций Frankel подгруппы статистически значимо не различались.

2.3 Методы клинического и неврологического обследования

Всем пациентам проведено комплексное клинико-неврологическое обследование, включавшее:

– сбор анамнеза с оценкой длительности заболевания и динамики симптомов. Неврологический статус пациентов оценивали по общепринятой схеме с определением уровня и характера поражения нервной системы, выраженности двигательных и чувствительных нарушений, состояния рефлекторной сферы, функций тазовых органов, а также наличия корешковых и проводниковых синдромов (Скоромец А.А. с соавт., 2012). При этом особый акцент делали на тщательном выяснении анамнеза жизни и болезни, уточнении давности процесса, первых симптомов и скорости их прогрессирования — так как длительность и тяжесть клинических проявлений служат важными прогностическими факторами, влияющими на результат хирургического вмешательства у пациентов с ЭМО.В ходе осмотра детально изучали характер, выраженность, интенсивность и локализацию болевого синдрома, а также наличие иррадиации. Для ЭМО типичны локальные боли (например, в шейном отделе), радикулярные боли, либо их сочетание.

– оценку интенсивности болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) (0-10 баллов); Оценка интенсивности боли имеет ключевое значение для определения клинического исхода у больных с ЭМО, поскольку именно болевой синдром часто является ведущим клиническим проявлением в этой когорте. Важно отметить, что простая оценка интенсивности боли не тождественна оценке влияния болевого синдрома на активность пациента и его качество жизни. К настоящему времени предложено множество шкал для количественной оценки боли. Наиболее простой, удобной и самой распространённой в повседневной клинической практике остаётся визуально-аналоговая шкала (Рисунок 2).



Рисунок 2 — Визуально-аналоговая шкала (ВАШ) для оценки боли

– оценку неврологического статуса с определением мышечной силы по 5-балльной шкале, чувствительных нарушений, функции тазовых органов. Важным элементом опроса является самостоятельная оценка больным степени выраженности двигательных и чувствительных нарушений, а также функций тазовых органов, что в значительной мере определяет повседневную активность пациента.

– Для интегральной характеристики общего состояния пациентов применяли шкалу Карновского (Karnofsky Performance Scale), созданную в 1949 году. Изначально этот инструмент использовался для оценки онкологических больных на фоне химиотерапии (Karnofsky D.A. et al., 1949); сегодня же он широко распространён в нейроонкологии, включая спинальную (Fachrisal et al., 2020). В рамках общего физикального осмотра анализировали состояние кожи и слизистых, трофику кожных покровов, а также признаки вегетативной дисфункции. При грубом поражении спинномозговых проводящих путей, сопровождающемся парезами или плегиями, нередко возникают выраженные трофические расстройства кожи.

– Уровень инвалидизации измеряли по индексу Освестри (Oswestry Disability Index, ODI).

– Неврологическую симптоматику оценивали по шкале Frankel и по модифицированной шкале, основанной на системе NSS (Klekamp & Samii, 1993).

Неврологическое обследование преследовало две цели: изучить проводниковые функции спинного мозга и определить степень поражения корешков, особенно тех, которые имеют функциональное значение для конечностей.

Расстройства проведения по спинному мозгу могут проявляться либо сочетанными чувствительными и двигательными нарушениями (если страдает кортикоспинальный тракт), либо изолированными двигательными нарушениями (при вовлечении исключительно пирамидного пути).

Обследование проводилось до операции, на 3-и, 10-е и 30-е сутки после операции (Таблицы 5-9).

Таблица 5 — Распределение наблюдений по шкале Frankel до операции

Группа	n	A	%	B	%	C	%	D	%	E	%
Основная	30	2	6,7	5	16,7	10	33,3	11	36,7	2	6,7
Контрольная	30	3	10,0	6	20,0	9	30,0	10	33,3	2	6,7
Всего	60	5	8,3	11	18,3	19	31,7	21	35,0	4	6,7
Примечание: A — полное нарушение проводимости; B — сохранение чувствительности, нет двигательных функций; C — двигательные функции сохранены, но нефункциональны; D — двигательные функции функциональны, но ослаблены; E — норма.											

Таблица 6 — Распределение наблюдений по уровню инвалидизации (ODI) до операции

Группа	n	0–20 %, n	%	21–40 %, n	%	41–60 %, n	%	61–80 %, n	%	81–100 %, n	%
Основная	30	2	6,7	8	26,7	12	40,0	6	20,0	2	6,7
Контрольная	30	1	3,3	9	30,0	11	36,7	7	23,3	2	6,7
Всего (n = 60)	60	3	5,0	17	28,3	23	38,3	13	21,7	4	6,7
Примечание: 0–20 % — минимальная инвалидизация (бытовая активность почти не ограничена); 21–40 % — умеренная (трудности при подъёме тяжестей, ходьбе, сидении); 41–60 % — тяжёлая (значительное ограничение повседневной активности); 61–80 % — невыносимая боль (почти полная нетрудоспособность); 81–100 % — прикованы к постели или преувеличение симптомов.											

Таблица 7 — Распределение наблюдений по шкале Карновского до операции

Группа	n	100 %, n	%	90 %, n	%	80 %, n	%	70 %, n	%	60 %, n	%
Основная	30	1	3,3	5	16,7	10	33,3	11	36,7	3	10,0
Контрольная	30	0	0,0	4	13,3	12	40,0	10	33,3	4	13,3
Всего (n = 60)	60	1	1,7	9	15,0	22	36,7	21	35,0	7	11,7
Примечание: 100 % — нормальное состояние, жалоб нет; 90 % — нормальная активность, незначительные симптомы; 80 % — активность с усилием, умеренные симптомы; 70 % — самообслуживание, не способен к работе; 60 % — иногда нуждается в помощи.											

Таблица 8 — Распределение наблюдений по баллам модифицированной шкалы Neurological Scoring System (Klekamp & Samii, 1993) до операции

Группа	n	0–2 балла, n	%	3–4 балла, n	%	5–6 баллов, n	%	7–8 баллов, n	%
Основная	30	4	13,3	12	40,0	10	33,3	4	13,3
Контрольная	30	5	16,7	14	46,7	9	30,0	2	6,7
Всего (n = 60)	60	9	15,0	26	43,3	19	31,7	6	10,0
Примечание: 0–2 балла — тяжёлые неврологические нарушения (выраженный парез/паралич, нарушение чувствительности, тазовые дисфункции); 3–4 балла — умеренные (частичный парез, снижение чувствительности, умеренные тазовые расстройства); 5–6 баллов — лёгкие (минимальные двигательные/чувствительные расстройства); 7–8 баллов — минимальные нарушения или их отсутствие.									

Таблица 9 — Распределение наблюдений по шкале SINS для определения стабильности позвоночника (Spine Instability Neoplastic Score)

Параметр SINS	Основная группа (n = 30)	Доля с макс. баллом	Контрольная группа (n = 30)	Доля с макс. баллом	Всего (n = 60)	%
	Средний балл ± SD		Средний балл ± SD			
1	2	3	4	5	6	7
1. Локализация	1,9 ± 0,5 57 % метастазов в грудном отделе (1 балл); шейный/ поясничный — 2 балла	43 % (грудной отдел)	1,8 ± 0,4 Аналогично	40 % (грудной отдел)	1,9 ± 0,5 В среднем: 50 % опухолей в грудном отделе	42 %
2. Боль	1,6 ± 0,4	30 % (механическая)	1,4 ± 0,3	23 % (механическая)	1,5 ± 0,4	27 %

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
	У 50 % — механическая боль (3 балла); у 30 % — периодическая (1 балл); у 20 % — нет боли (0 баллов)		Сдвиг к периодической боли из-за большего числа шванном		В группе метастазов чаще механическая боль	
3. Тип поражения	1,7 ± 0,3 Метастазы: литический тип (2 балла); шванномы/нейрофибромы: смешанный (1 балл)	63 % (литическое)	1,4 ± 0,2 В контрольной группе меньше метастазов → ниже средний балл	47 % (литическое)	1,6 ± 0,3 В целом: 55 % литических поражений	55 %
4. Деформация	1,3 ± 0,5 У 60 % — нормальное выравнивание (0 баллов); у 25 % — деформация (2 балла); у 15 % — подвывих (4 балла)	21 % (деформация de novo)	1,0 ± 0,4 Меньше деформаций из-за доброкачественных опухолей	14 % (деформация de novo)	1,2 ± 0,5 Деформация чаще при метастазах	18 %
5. Коллапс тела позвонка	1,1 ± 0,4 У 50 % — нет коллапса (0 баллов); у 30 % — < 50 % (2 балла); у 20 % — > 50 % (3 балла)	19 % (> 50 % коллапс)	0,8 ± 0,3 В группе шванном реже коллапс	12 % (> 50 % коллапс)	1,0 ± 0,4 Коллапс чаще при литических метастазах	16 %
6. Вовлечение задних элементов	1,0 ± 0,3 У 45 % — нет вовлечения (0 баллов); у 30 % — одностороннее (1 балл); у 25 % — двустороннее (3 балла)	26 % (двустороннее)	0,7 ± 0,2 В контрольной группе реже двустороннее вовлечение	17 % (двустороннее)	0,9 ± 0,3 Двустороннее вовлечение чаще при метастазах	22 %
Итого SINS	7,6 ± 1,3	38 % ≥ 7 баллов	6,1 ± 1,1	21 % ≥ 7 баллов	6,9 ± 1,3	30 % ≥ 7 баллов
Примечание: 0–6 баллов — стабильность (70 % пациентов); 7–12 баллов — потенциальная нестабильность (30 % пациентов); 13–18 баллов — явная нестабильность (< 1 %; в данной выборке не зафиксировано) Наибольшие вклады в нестабильность: литический тип поражения (1,6 ± 0,3 балла), деформация (1,2 ± 0,5 балла), механическая боль (1,5 ± 0,4 балла).						

Пациентам обеих групп, набравшим более 7 баллов по шкале SINS выполнялась стабилизация на заключительном этапе хирургического вмешательства

LMNOP - мнемоническая аббревиатура, которая используется в системе оценки метастатического поражения позвоночника. Она была описана Bilsky и Smith в 2006 году. Данная система не является алгоритмом лечения, однако она может служить хорошим напоминанием о том, что рекомендовать пациентам хирургическое лечение метастатического поражения позвоночника можно только с учетом всех связанных с этим факторов (Таблица 10).

Таблица 10 — LMNOP с метастатическим поражением позвоночника (n=7)

Пациент	L (уровень)	M (нестабильность)	N (неврологический дефицит)	O (первичный очаг)	P (состояние пациента)
1	2	3	4	5	6
1	Грудной отдел (T6–T7, 2 уровня)	SINS = 8	Умеренная слабость в ногах, гипестезия по типу «носков», рефлексы оживлены	Предположительно рак лёгкого (литический тип); радиочувствительность средняя	ECOG 2; Karnofsky 70 %; ранее — химиотерапия (2 курса), частичный ответ; прогноз — средней тяжести
2	Пояснично-крестцовый отдел (L4–S1, 3 уровня)	SINS = 7	Радикулопатия L5–S1 справа: боль, онемение по наружной поверхности бедра и голени, снижение ахиллова рефлекса	Предположительно рак предстательной железы (смешанный тип); радиочувствительность высокая	ECOG 1; Karnofsky 80 %; ранее — гормонотерапия, стабилизация; прогноз — относительно благоприятный
3	Грудной отдел (T10–T12, 3 уровня)	SINS = 9	Лёгкая атаксия, снижение брюшных рефлексов, патологические стопные знаки	Предположительно рак молочной железы (литический); радиочувствительность высокая	ECOG 2; Karnofsky 70 %; ранее — химио- + гормонотерапия, частичный ответ; прогноз — средней тяжести

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
4	Шейный отдел (C5–C6, 2 уровня)	SINS = 10	Парестезии в кистях, снижение силы в руках (4 балла), гиперрефлексия рук	Предположительно рак почки (литический); радиочувствительность низкая	ECOG 3; Karnofsky 60 %; ранее — иммунотерапия, без эффекта; прогноз — неблагоприятный
5	Грудной отдел (T8–T9, 2 уровня)	SINS = 7	Чувствительные нарушения по типу «полукуртки», лёгкий нижний парапарез	Предположительно меланома (литическая); радиочувствительность низкая	ECOG 2; Karnofsky 70 %; ранее — таргетная терапия, прогрессирование; прогноз — неблагоприятный
6	Пояснично-крестцовый отдел (L2–L3, 2 уровня)	SINS = 6	Боль в пояснице с иррадиацией в бедро, гипотрофия мышц бедра справа	Предположительно рак толстой кишки (бластический); радиочувствительность средняя	ECOG 1; Karnofsky 80 %; ранее — химиотерапия, стабилизация; прогноз — относительно благоприятный
7	Грудной отдел (T4–T5, 2 уровня)	SINS = 8	Гипестезия в зоне T4–T6, лёгкий верхний парапарез (4 балла)	Предположительно рак щитовидной железы (литический); радиочувствительность высокая	ECOG 2; Karnofsky 70 %; ранее — радиойодтерапия, частичный ответ; прогноз — средней тяжести
Примечание: L (Location/Levels) — локализация поражения и количество затронутых уровней позвоночника (количество поражённых позвонков, а также то, являются ли они смежными или нет); M (Mechanical) — механическая нестабильность позвоночника, которая оценивается с помощью шкалы SINS (Spine Instability Neoplastic Score); N (Neurology) — неврологическая симптоматика, включая наличие симптоматического сдавления спинного мозга или нервных корешков; O (Oncology) — характеристики опухоли: тип первичной опухоли, её радиочувствительность и химиочувствительность; P (Patient, Prognosis, Prior Therapy) — состояние пациента, прогноз заболевания и предшествующее лечение (включая ответ на предыдущую терапию).					

Всем 60 включенным в работу пациентам было выполнено хирургическое вмешательство. Гистологическая верификация и иммуногистохимическое типирование опухоли проводилось также во всех случаях.

2.4 Методы нейровизуализации

В современной клинической практике, особенно в нейрохирургии, магнитно-резонансная томография занимает одно из ведущих мест среди диагностических методик. Данный метод активно используется и при выявлении опухолей спинного мозга. МРТ характеризуется высоким разрешением при визуализации нервных структур и считается оптимальным методом для диагностики экстрамедуллярных новообразований (Klekamp J. et al., 2007; Guarnieri G. et al., 2014; Zheng G.B. et al., 2023). Магнитно-резонансная томография выполнялась на аппарате Signa Excite (General Electric, 1,5 Тл, 2012г) (Рисунок 11) всем пациентам до и после операции (на 3-7 сутки, через 1, 3, 6, 12 месяцев). Протокол включал Т1, Т2, STIR, Т1 с контрастным усилением (гадолиний-содержащие препараты) в сагиттальной и аксиальной проекциях (Лутков М. А., 2018; Koeller K. K., 2019). При опухолях спинного мозга этот метод позволяет определить распространенность процесса, его отношение к веществу спинного мозга и сосудисто-невральным структурам.

Сагиттальные изображения, взвешенные в Т1- и Т2-режимам, представляют собой значимый диагностический инструмент для проведения дифференциальной диагностики между интра- и экстрадуральными опухолями. В Т2-режиме твёрдая мозговая оболочка (ТМО) визуализируется в виде тёмной линии, что обеспечивает чёткое разграничение её структуры от опухолевой ткани, демонстрирующей в данном режиме практически всегда гиперинтенсивный сигнал. Т1-взвешенные изображения, в свою очередь, позволяют детально оценить пространственные взаимоотношения патологического образования с окружающими анатомическими структурами, в частности с эпидуральной жировой клетчаткой, что способствует точной локализации опухоли относительно ТМО. Анализ патологических изменений на МРТ базируется на комплексной оценке ряда диагностических критериев, включающих интенсивность сигнала относительно окружающих тканей (гипоинтенсивный, гиперинтенсивный либо изоинтенсивный), степень однородности структуры образования, линейные размеры очага, измеренные в нескольких плоскостях, геометрическую конфигурацию новообразования

(округлая, неправильная, дольчатая и т.д.), чёткость визуализации границ между опухолью и прилежащими тканями, а также состояние смежных анатомических структур с фиксацией возможных признаков их смещения, компрессии или иных морфологических изменений. Для опухолей оболочек нервов типичны специфические рентгенологические проявления, среди которых наиболее значимыми выступают расширение межпозвонкового отверстия вследствие роста новообразования и отсутствие выраженных структурных изменений в прилегающей твёрдой мозговой оболочке, что позволяет дифференцировать данную патологию от иных объёмных процессов позвоночного канала.

Компьютерная томография выполнялась на аппарате Siemens Somatom Definition AS (2014 г.) для оценки костных структур, выявления кальцинатов и планирования доступа (режим «костное окно») (Kumar V., 2021; Xu X., 2023). В случае большого содержания кальцинатов в структуре опухоли, лазерная вапоризация образования будет особенно затруднительна и малоэффектина. Оценка костных структур становится критически важной на этапе предоперационного планирования при ЭМО. Поскольку опухоль часто распространяется по ходу корешка, она нередко приводит к расширению межпозвонковых отверстий. При значительных размерах новообразования и выраженном расширении данного отверстия в ряде случаев удаётся обойтись без резекции костных масс, что особенно важно при решении вопроса о последующей стабилизации ПДС различными металлоконструкциями.

Селективная ангиография выполнена 4 пациентам основной группы с гиперваскулярными опухолями для оценки сосудистой сети и контроля эффективности абляции на первом этапе (Рисунок 10).

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате SonoSite EDGE II (2019г.) на первом этапе для контроля позиционирования иглы и оценки изменения эхогенности опухоли в процессе лазерной абляции.

2.5 Методика экспериментального исследования на тканеэквивалентном фантоме

2.5.1 Обоснование выбора модели тканеэквивалентного фантома

Тканеэквивалентный фантом (ТЭФ) — это устройство, имитирующее физические и биологические свойства человеческих тканей, используемое для измерения и изучения воздействия ионизирующего излучения.

Ключевое значение для исследования тепловых явлений, сопровождающих лазерное облучение биологических тканей, имеют биофантомы — их параметры теплопроводности, удельной теплоёмкости и скорости теплопереноса максимально приближены к реальным тканевым. Благодаря высокой степени сходства по составу и оптическим характеристикам с моделируемой тканью, такие объекты дают возможность в реальном времени тестировать эффекты лазерного воздействия (при различных длинах волн) и наглядно отслеживать получаемые результаты.

Несмотря на то что биофантомы не моделируют микроциркуляторное русло, они дают возможность исследовать ключевые биологические феномены — абляцию, коагуляцию, испарение и карбонизацию — а также оценивать, каким образом температурный режим в области гипертермии зависит от используемой длины волны лазерного излучения.

Для определения оптимальных параметров лазерного воздействия до клинического применения проведено экспериментальное исследование на полиакриламидном ТЭФ, разработанном в центре лазерной медицины ПСПбГМУ им. И.П. Павлова (Острейко О. В. С соавт., 2022). Данный фантом, изготовленный с помощью удаленных фрагментов опухолей, как следствие, обладает теплофизическими свойствами (теплопроводность, теплоемкость), близкими к исходным тканям. К достоинствам такого фантома относится прозрачность, высокая стабильность (температура плавления значительно выше 100°C), отсутствие токсичности, а также легкая модуляция механических свойств за счет изменения концентрации акриламида/метиленбисакриламида. Прозрачность геля

позволяет визуально контролировать зону коагуляции. Использование стандартизированной среды обеспечивает воспроизводимость результатов.

2.5.2 Протокол эксперимента и критерии оценки

Нами разработан протокол экспериментальных исследований с использованием ТЭФ, позволяющего:

-моделировать теплофизические свойства биологических тканей;

-оценивать распределение температурного поля при различных режимах воздействия

-определять границы безопасной и эффективной абляции.

Использование фантомов, которые по концентрации хромофоров и оптическим свойствам максимально приближены к биологическим тканям, позволяет проводить тестовые эксперименты, наглядно наблюдать за результатами лазерного воздействия, регистрировать температуру в реальном времени, а также описывать и прогнозировать распределение световой энергии в тканевых структурах.

В работе для изучения тепловых явлений применялась установка, включающая лазерный аппарат «ЛАХТА-МИЛОН» и миниатюрный тепловизор в виде приставки к смартфону. Фантомные образцы загружались в пластиковые ёмкости прямоугольной формы, размером 10×5 см. Через боковые отверстия в контейнер вводилось оптическое волокно торцевого типа; дистанция между соседними зонами коагуляции составляла 1 см. Температуру контролировали тепловизором FLIRONE PRO for IOS, который подсоединялся к смартфону.

На дисплее смартфона визуализировалась тепловизионная картина с температурными значениями в выбранных точках; данные регистрировались в формате фото и видео (Рисунок 3).

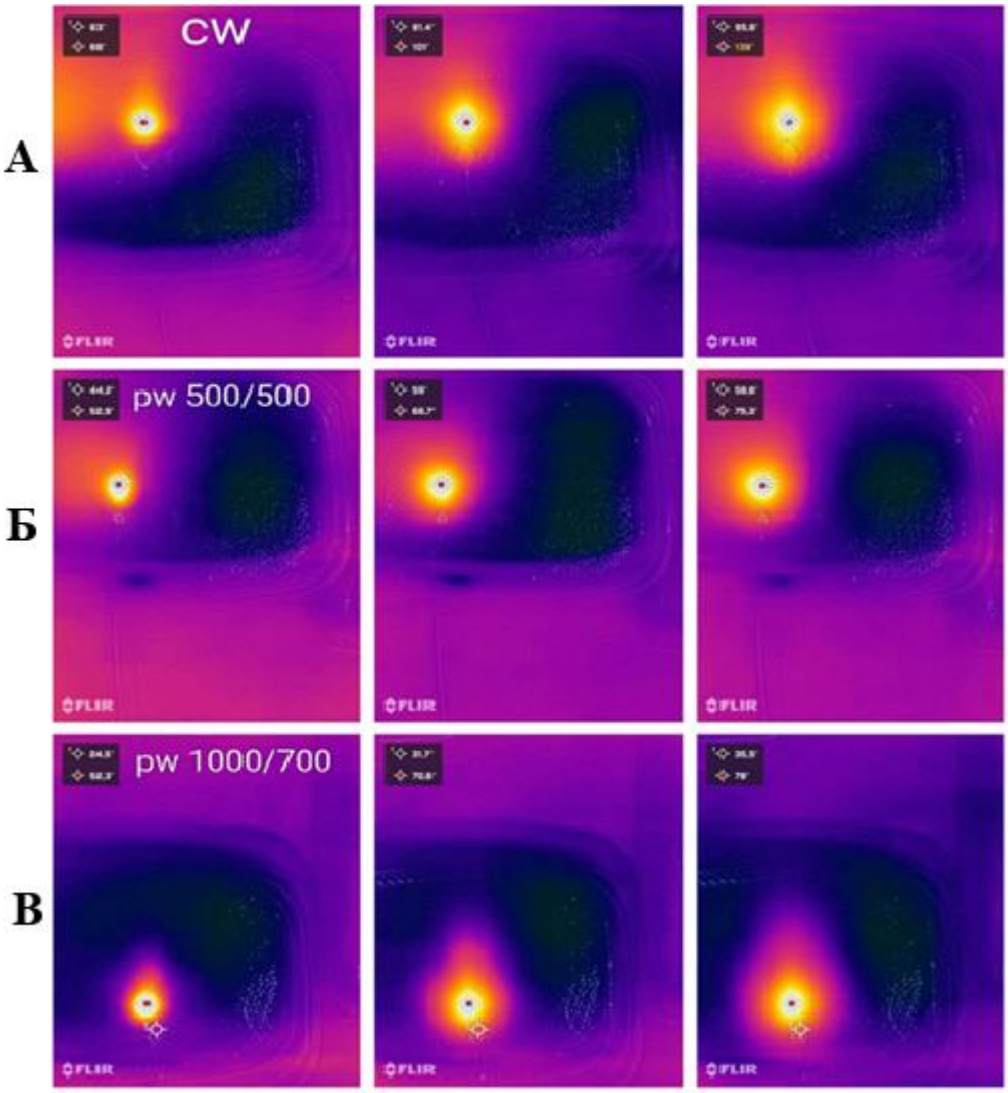


Рисунок 3 — Распределение температурных полей в фантомах во время экспериментов: А— непрерывный режим с мощностью 3 Вт ; Б— импульсный режим 500/500 с мощностью 4 Вт; В— импульсный режим 1000/700 с мощностью 6 Вт.

В работе использовали световод с прямым выходом излучения. Проведено сравнение используемых режимов лазерной гипертермии: непрерывный режим с мощностями 2,3,4,5,6 ВТ (360-1080 Дж), длительность - 3 мин; импульсные режимы с параметрами 500/500 мс (180-540 Дж) и 1000/700-мс (211 - 636 Дж), мощности соответственно такие же, как и при непрерывном режиме, экспозиция - 3 мин. В результате отчетливо выявлены зоны нагрева в виде помутнения фантома. Размер зоны помутнения варьировал от 1,05 до 45,61 мм. (Приложение А., Таблица А. 3.)

Размер коагулянта определяли с помощью микроскопа «Микмед-5», Ломо, РФ и программного обеспечения (ММС).

Критерии оптимального воздействия: для гибели опухолевых клеток температура в целевой зоне не должна превышать 80–90°С, т.к. это приводит к карбонизации (обугливание) тканей, что влечет за собой образование зон некроза не только в опухоли, но и в окружающих здоровых структурах.

Размер коагулянта должен быть максимальным по площади за минимальное время работы.

2.6 Техника хирургического вмешательства с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Для оптимизации хирургического лечения нами предложен и применялся метод с использованием полупроводникового лазера «ЛАХТА-МИЛОН», длинной волны 0,97 мкм, мощностью 5 Вт, регистрационные удостоверения №29/01050603/5828-03 и №ФС 022б2003/2932-06. Хирургическое вмешательство в группе исследования выполнялось в 2 этапа.

2.6.1 Первый этап: транскутанная лазерная абляция паравертебрального компонента

Первый этап выполнялся за 3-7 суток до открытого вмешательства. Под местной анестезией и УЗ-навигацией выполняли транскутанное внутрикапсульное воздействие на паравертебрально расположенные узлы опухоли иглой 11G. Через иглу вводили кварцевый световод диаметром 300 мкм. Проводили лазерную абляцию в импульсном режиме PW2 (1000/700 мс) с мощностью 5 Вт, длительность воздействия 1 секунда, интервал 0,7 секунды; общая продолжительность периода 3 минуты (периодами со сменой позиции иглы в узле). Критерием эффективности

служило изменение эхо-сигнала опухоли (повышение эхогенности, «сморщивание») (Рисунок 4-9).



А Б

Рисунок 4 – Транскутанная пункция паравертебрального узла опухоли под УЗИ-контролем на 1 этапе: А– метастаза в грудном отделе позвоночника; Б– шванномы в шейном отделе позвоночника

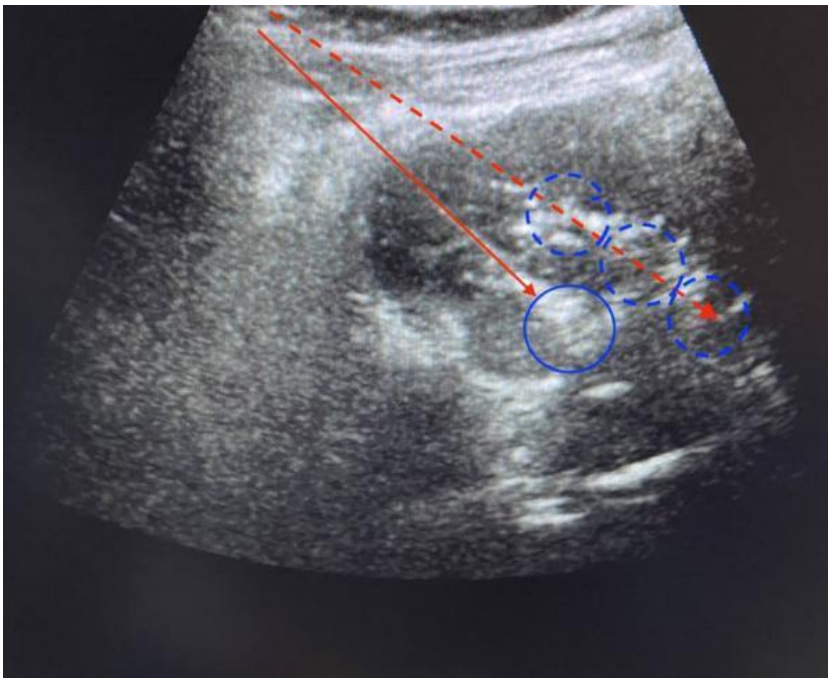


Рисунок 5 – УЗИ-контроль в момент выполнения лазерной абляции шванномы L5

На рисунке стрелка с пунктирной линией - позиция иглы с зонами вапоризации ткани объемного образования, стрелка с непрерывной линией - зона вапоризации на участке параллельном позиционировании иглы.

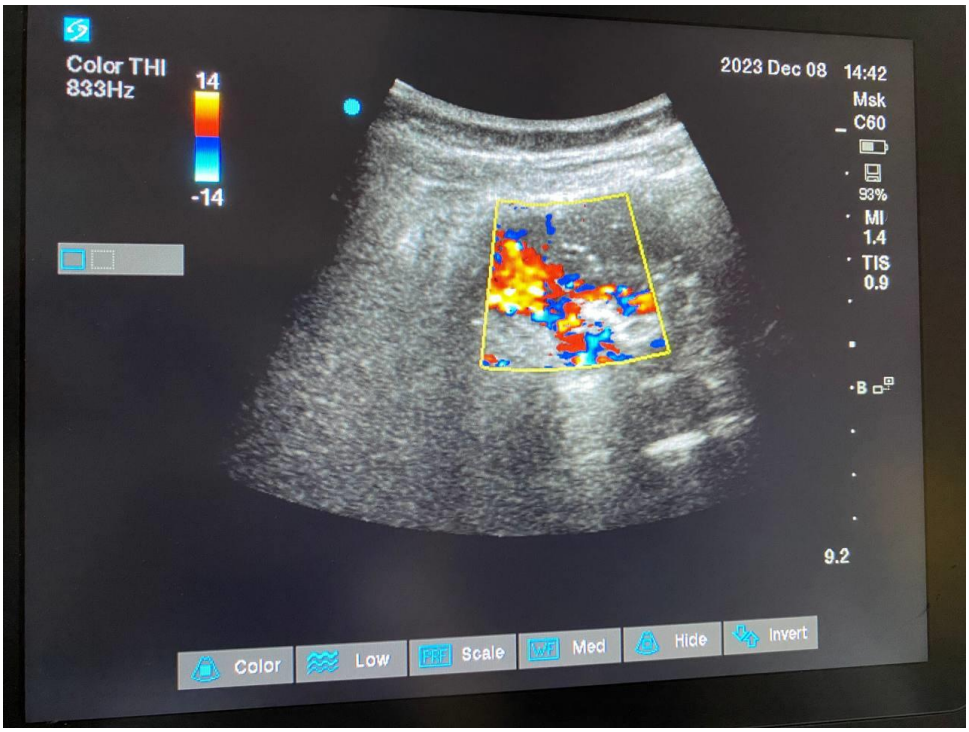


Рисунок 6 – УЗИ паравертебрального узла до лазерной абляции в режиме дуплексного сканирования кровотока

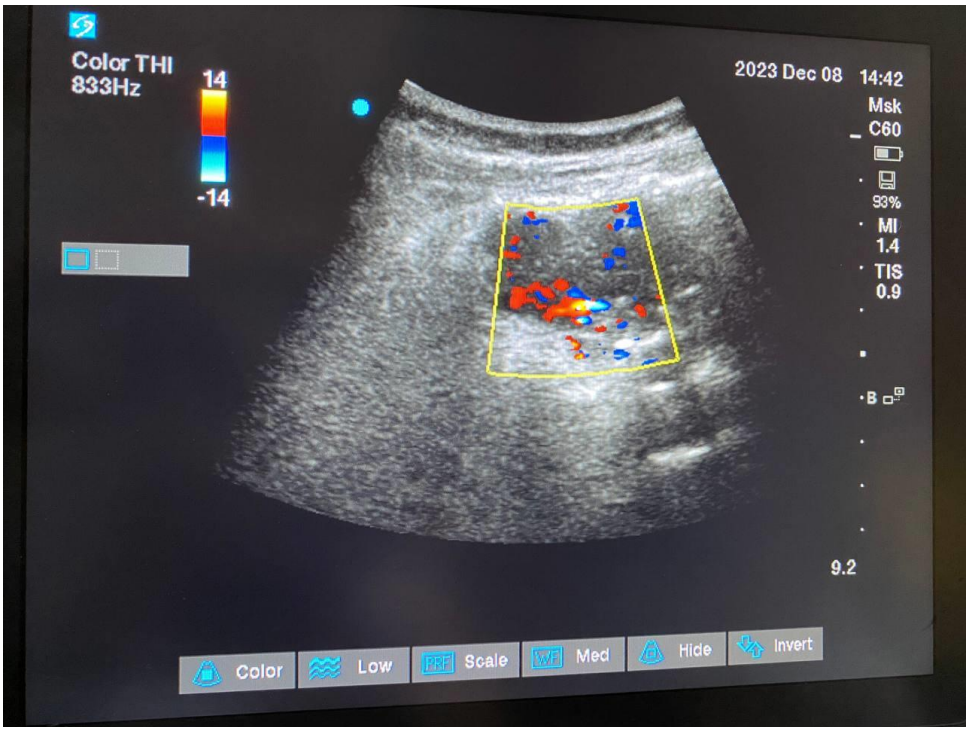


Рисунок 7 – УЗИ паравертебрального узла после лазерной абляции в режиме дуплексного сканирования кровотока

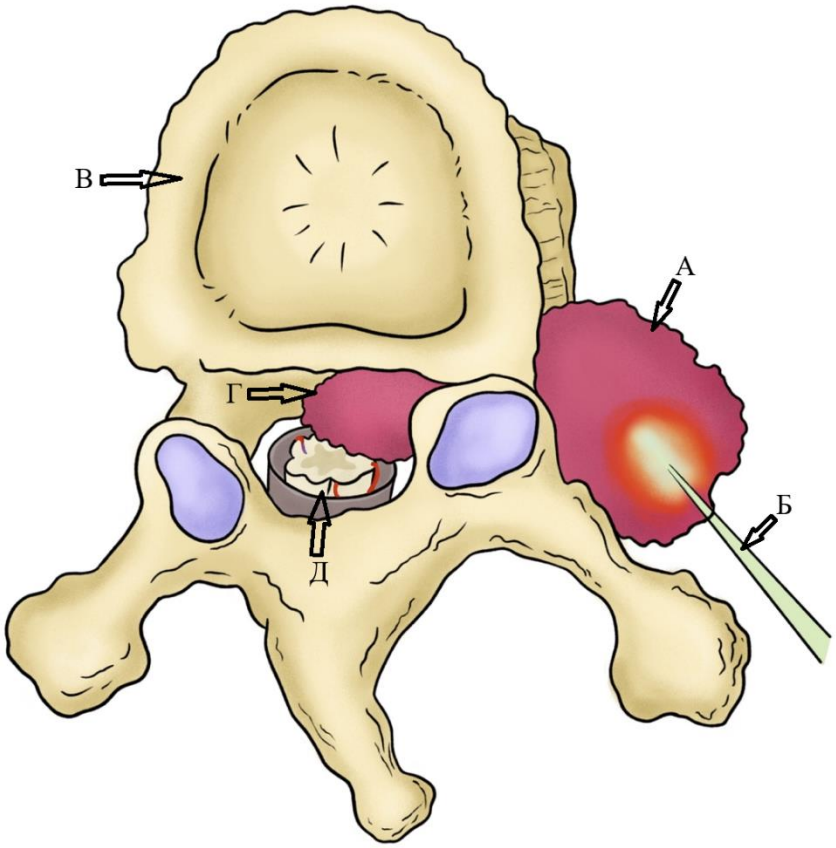


Рисунок 8 – Первый этап оперативного вмешательства– транскутанная лазерная абляция паравертебрального компонента: А– паравертебральный компонент опухоли, Б– световод, В– тело позвонка, Г– интраканальная часть опухоли, Д– спинной мозг



Рисунок 9 – Лазерный аппарат «ЛАХТА-МИЛОН» в работающем состоянии с выбранными оптимальными параметрами

Пациентам с гиперваскулярными опухолями (n=4) параллельно выполняли селективную ангиографию для контроля абляции питающих сосудов (Рисунок 10).

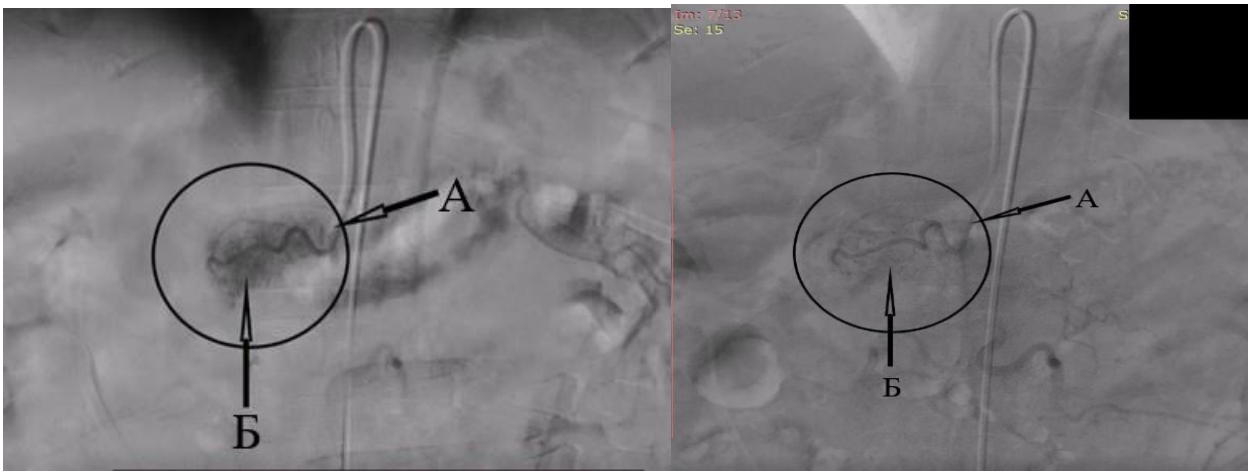
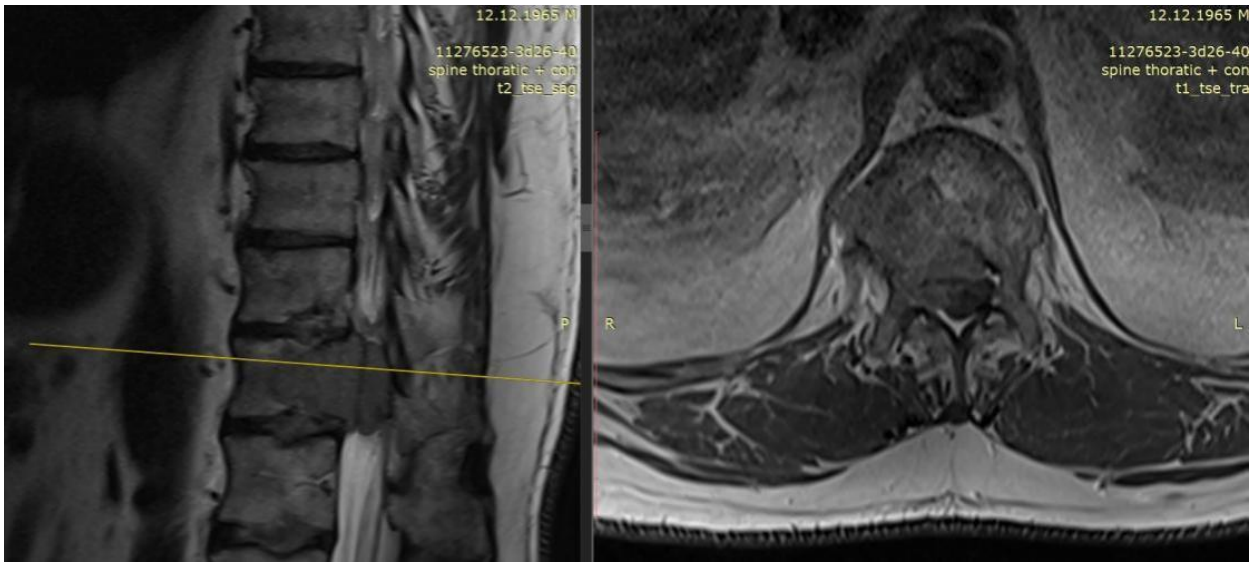


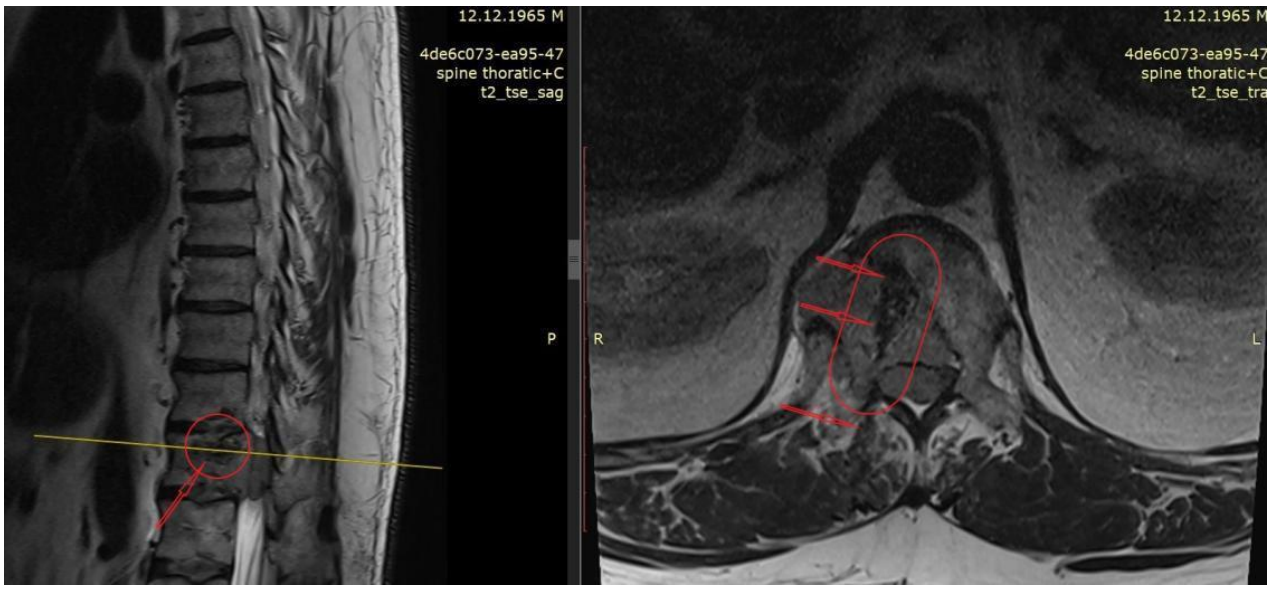
Рисунок 10 – Ангиография до и во время выполнения процедуры на метастазе низкодифференцированной эпителиальной опухоли на уровне Th12 позвонка. После лазерной вапоризации прослеживается сегментарная артерия (А) на уровне Th11-Th12 позвонков, сосудистая сеть опухоли менее выраженная (Б)

После процедуры всем пациентам выполняли контрольную МРТ с контрастированием (Рисунок 11, 12) для оценки степени девитализации и уменьшения объема узла.



А Б

Рисунок 11 – МРТ до первого этапа. А – сагиттальный срез, Б – аксиальный срез



А Б

Рисунок 12 – МРТ после первого этапа. А— сагиттальный срез, Б— аксиальный срез

2.6.2 Второй этап: микрохирургическое удаление остатков опухоли

Второй этап выполняли под эндотрахеальным наркозом. Доступ осуществляли с учетом локализации опухоли, предпочтение отдавали гемиламинэктомии (по возможности). Под операционным микроскопом выполняли ревизию, идентификацию опухоли и ее взаимоотношений с дуральным мешком и корешками.

Лазерное излучение к опухоли подавалось на 1 этапе транскутанно через стерильный кварцевый световод диаметром 300 мкм с использованием иглы G11 типа Ямшиди, на втором этапе – световод диаметром 500 мкм, с использованием специальной насадки, входящей в комплект к аппарату. Проводили лазерную обработку остатков опухоли с использованием импульсного режима PW2 (1000/700 мс, 5 Вт) для объемной коагуляции интраканальной части (Рисунок 13).

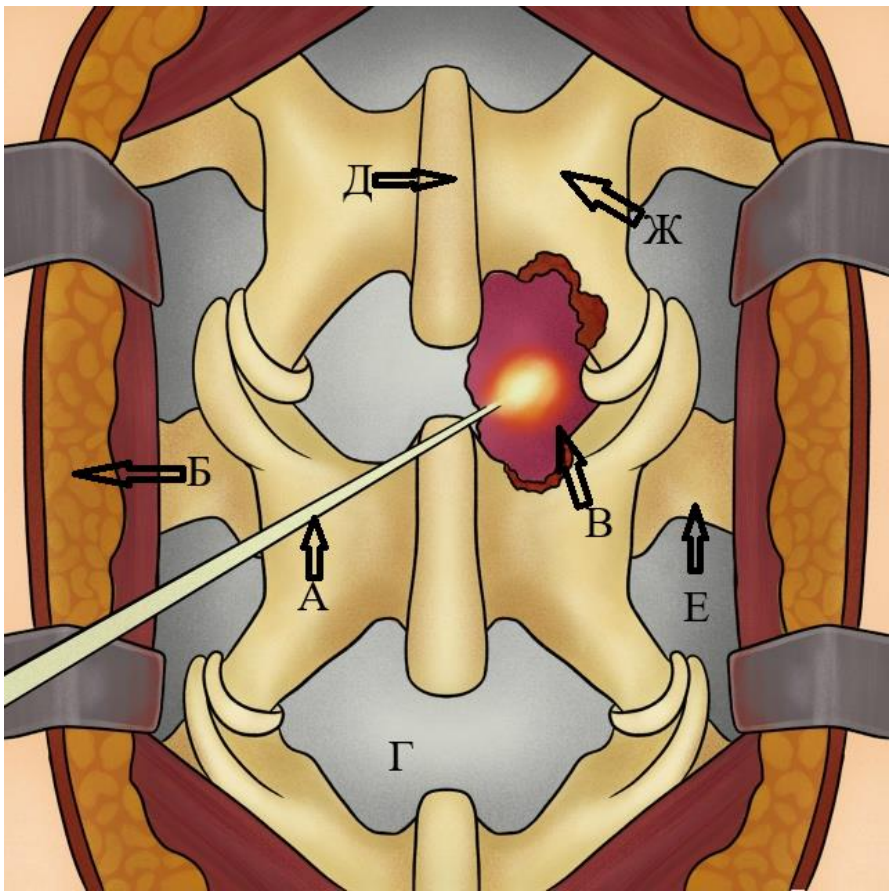


Рисунок 13 – Второй этап оперативного вмешательства: А– кварцевый световод, Б – ПЖК, В – интраканальная часть опухоли, Г – дуральный мешок, Д – остистый отросток позвонка, Е – поперечный отросток позвонка, Ж – дужка позвонка.

После лазерной обработки ткань становилась менее кровоточивой, что позволяло безопасно удалить ее микрохирургическими инструментами и ультразвуковым аспиратором (CUSA).

2.7 Методы статистической обработки полученных данных

При сопоставимой численности групп и умеренном количестве наблюдений (n=30 в каждой выборке) распределение выборочных средних можно считать близким нормальному, поэтому для межгруппового сравнения количественных показателей был использован t-критерий Уэлча для независимых выборок; для парных сравнений до и после операции применяли парный t-критерий (при отклонении распределения от нормального — критерий Уилкоксона). При расчете дисперсии применялась поправка Бесселя, что позволило получить несмещенную

оценку вариативности данных и обеспечить более высокую точность выводов при заданном объеме выборок. Для количественной оценки неопределённости эффекта дополнительно вычисляли 95% доверительный интервал для разности средних значений между группами. Помимо проверки статистической значимости различий была проведена оценка величины эффекта, для чего рассчитаны показатели d Коэна (Cohen’s d) и g Хеджеса (Hedges’ g). Последний использовался как оценка, скорректированная для конечных выборок. Это необходимо, чтобы определить не только значимость различий, но и их практическую значимость (клинический эффект). Для сравнения категориальных показателей использовался двусторонний точный критерий Фишера, для парных категориальных данных — критерий Мак-Немара. Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$. Обработка — Statistica 10, Microsoft Excel 2016 г.

ГЛАВА 3. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ЭКСТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ ОПУХОЛЕЙ С ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ

3.1 Результаты экспериментального определения оптимальных параметров лазерного воздействия

3.1.1 Сравнительная характеристика режимов лазерного излучения

Проведено 134 экспериментальных измерения на ТЭФ при непрерывном и импульсных режимах воздействия (Приложение А., Таблица А. 1.).

В результате исследования получены изменения температур в зависимости от выбранного режима. Каждый коагулянт имел внутреннюю и внешнюю площади (Рисунок 14), определяли Δ*S*, которая была в интервале от 1 до 23,4 мм. (Приложение А, Таблица А.1, А.2, А.3).

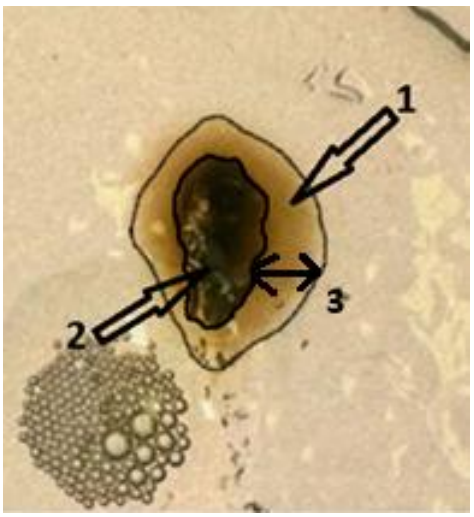


Рисунок 14 — Коагулянт после лазерного воздействия в импульсном режиме генерации с длительностью импульса 1000мс, интервалом импульсов 700мс и мощностью 5 Вт: 1– площадь внешнего коагулянта (Sвнеш.), 2– площадь внутреннего коагулянта (Sвнутр.), 3– ΔS= Sвнеш. – Sвнутр. Оптимальным является параметр наибольшего Δ*S*.

Область помутнения фантома имела овально-округлую форму. Изучение визуальных эффектов коагуляции фантома наглядно показано на макрофотографиях (Рисунки 15-23)

При наборе дозы 360 Дж В каждой группе наблюдалась определенная тенденция. Так, в группе с воздействием в непрерывном режиме при 2 Вт не был превышен гипертермический порог, что позволяет считать этот процесс безопасным, внутренняя площадь коагулянта варьировала от 1 до 2,6 мм; внешнего от 2,7 до 6,9 мм; Δ*S* составила 2 мм. В группе с воздействием в импульсном режиме (длительность - 500 мс; интервал 500 мс) та же доза набралась при мощности 4 Вт, этот режим за счет непревышения гипертермического порога также можно считать безопасным, внутренняя площадь коагулянта варьировала от 5 до 5,8 мм; внешнего от 11,2 до 15,8мм; Δ*S* составила 9,3 мм. В группе с импульсным режимом 1000/700 также при работе на 4 Вт набралось 360 Дж. Данные параметры являются безопасными, а внутренняя площадь коагулянта варьировала от 6,1 до 8,3 мм; внешнего от 15 до 18,6 мм; Δ*S* составила 8,9 мм.

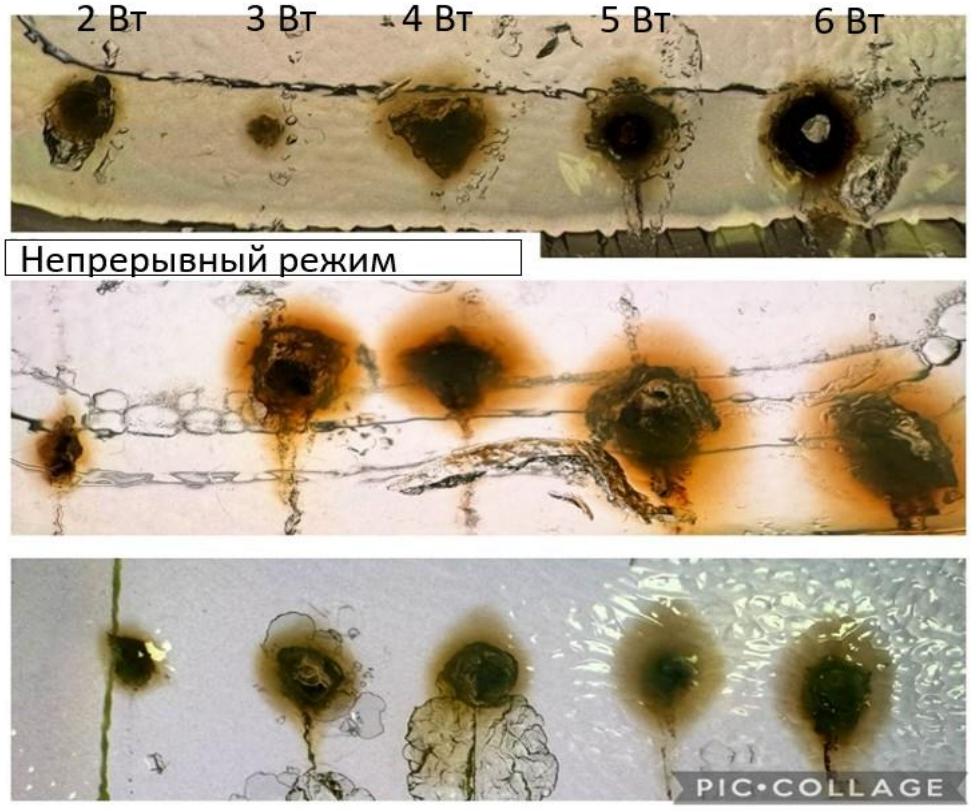


Рисунок 15 — Коагулянты после лазерного воздействия от 2 до 6 Вт в непрерывном режиме

В непрерывном режиме лазерного воздействия даже при работе на 4 Вт происходило обугливание ткани и торца световода, что делает процесс лазерного воздействия неуправляемым.

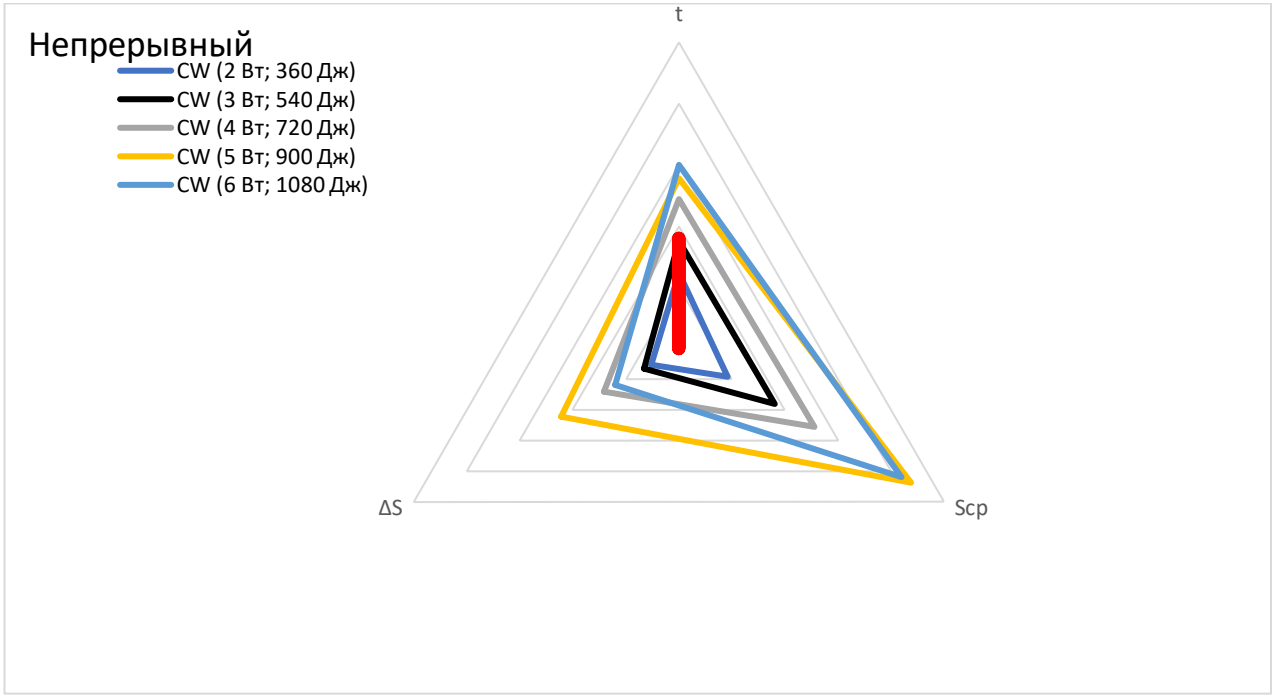


Рисунок 16 — Распределение параметров лазерного воздействия в непрерывном (CW — continuous wave) режиме: Вт — мощность лазерного излучения; Дж — суммарная энергия лазерного воздействия; t — температура в зоне воздействия, °C; Scp — средняя площадь зоны термического повреждения, мм²; ΔS — разница между площадями внешнего и внутреннего коагулянтов, мм²; красная линия — установленное предельное значение температуры.

При скважности 2 в режиме импульсного лазерного воздействия 500/500 мс температура не превышала допустимый порог, но площадь воздействия оказывалась недостаточной для эффективного влияния на опухоль.

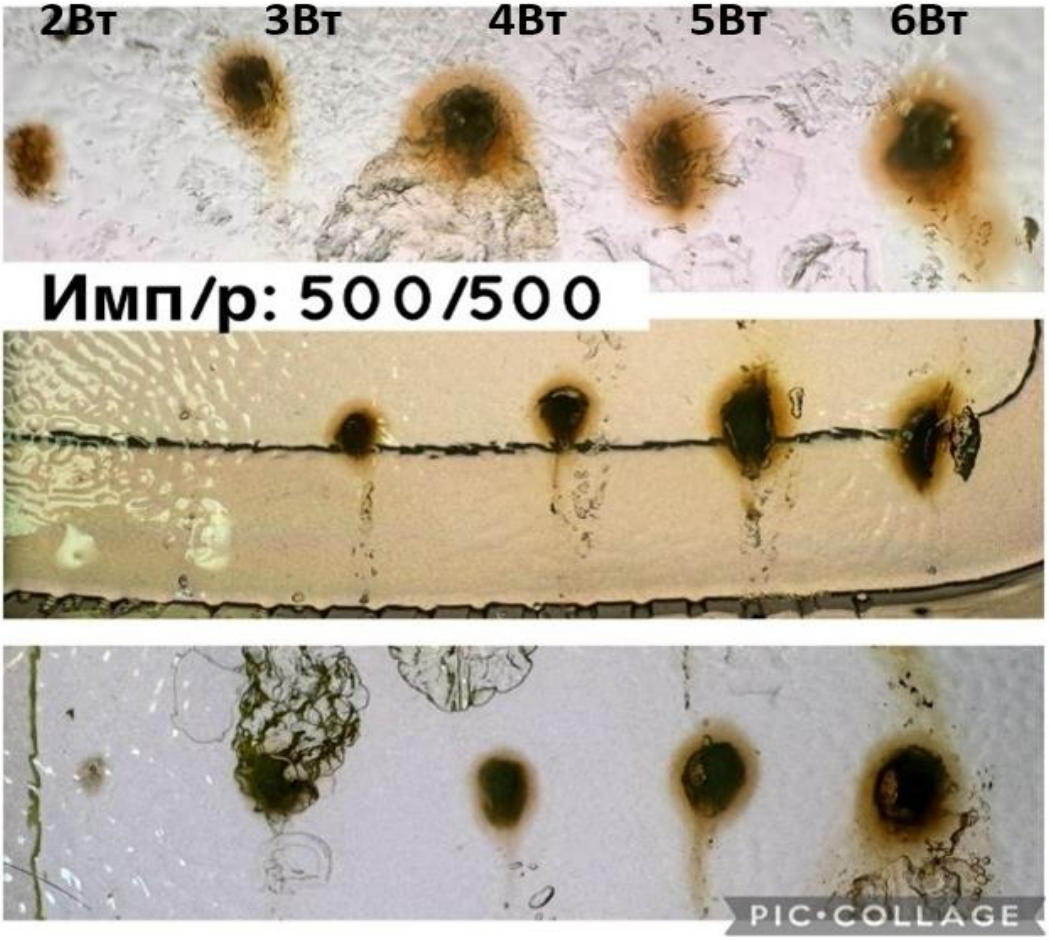


Рисунок 17 — Коагулянты после лазерного воздействия от 2 до 6 Вт в импульсном режиме 500/500 мс.

В ряде экспериментов наблюдался чрезмерный перегрев в центре коагулянта, происходила карбонизация оптоволокна.

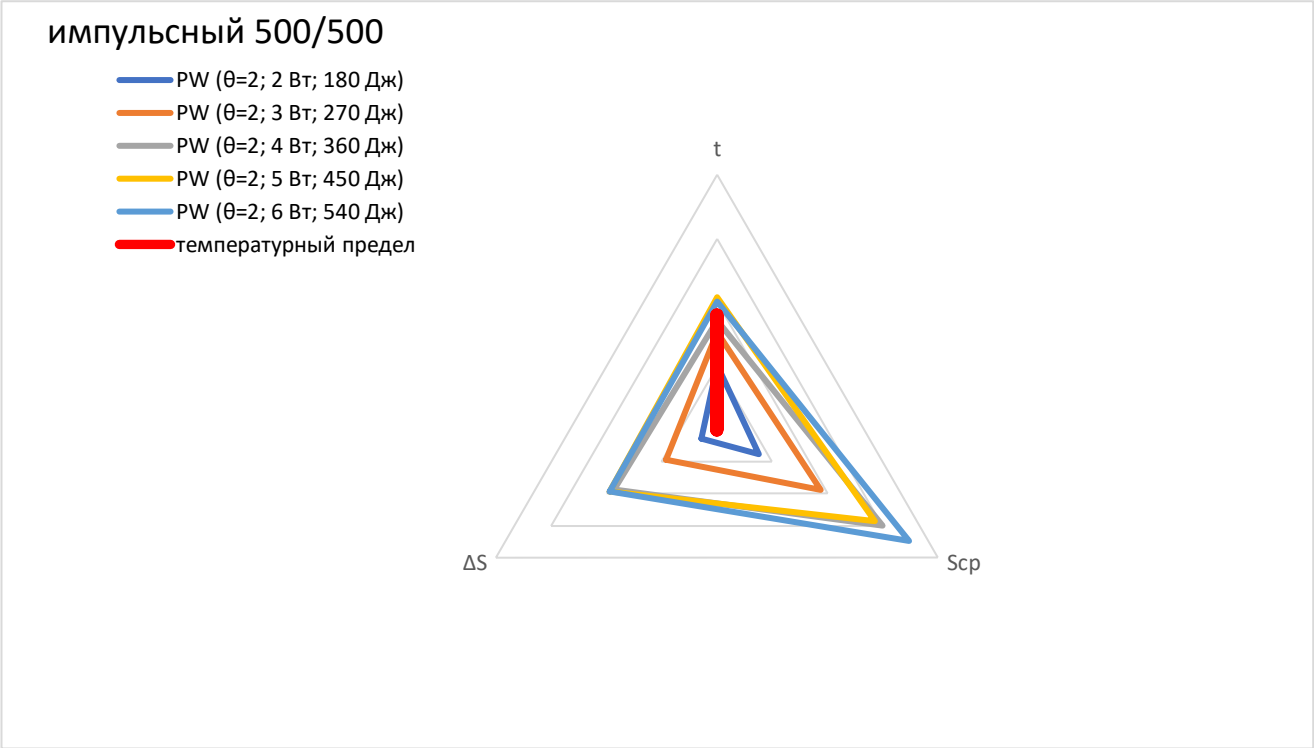


Рисунок 18 — Распределение параметров лазерного воздействия в импульсном PW (pulsed wave) режиме 500/500 мс.: Вт — мощность лазерного излучения; Дж — суммарная энергия лазерного воздействия; t — температура в зоне воздействия, °C; Scp — средняя площадь зоны термического повреждения, мм²; ΔS — разница между площадями внешнего и внутреннего коагулянтов, мм²; красной линией обозначена предельно допустимая температура.

В данном режиме минимальная ΔS (в среднем 6,94), что свидетельствует о высоком отводе тепла, однако с точки зрения клинического применения это больше недостаток, чем преимущество.

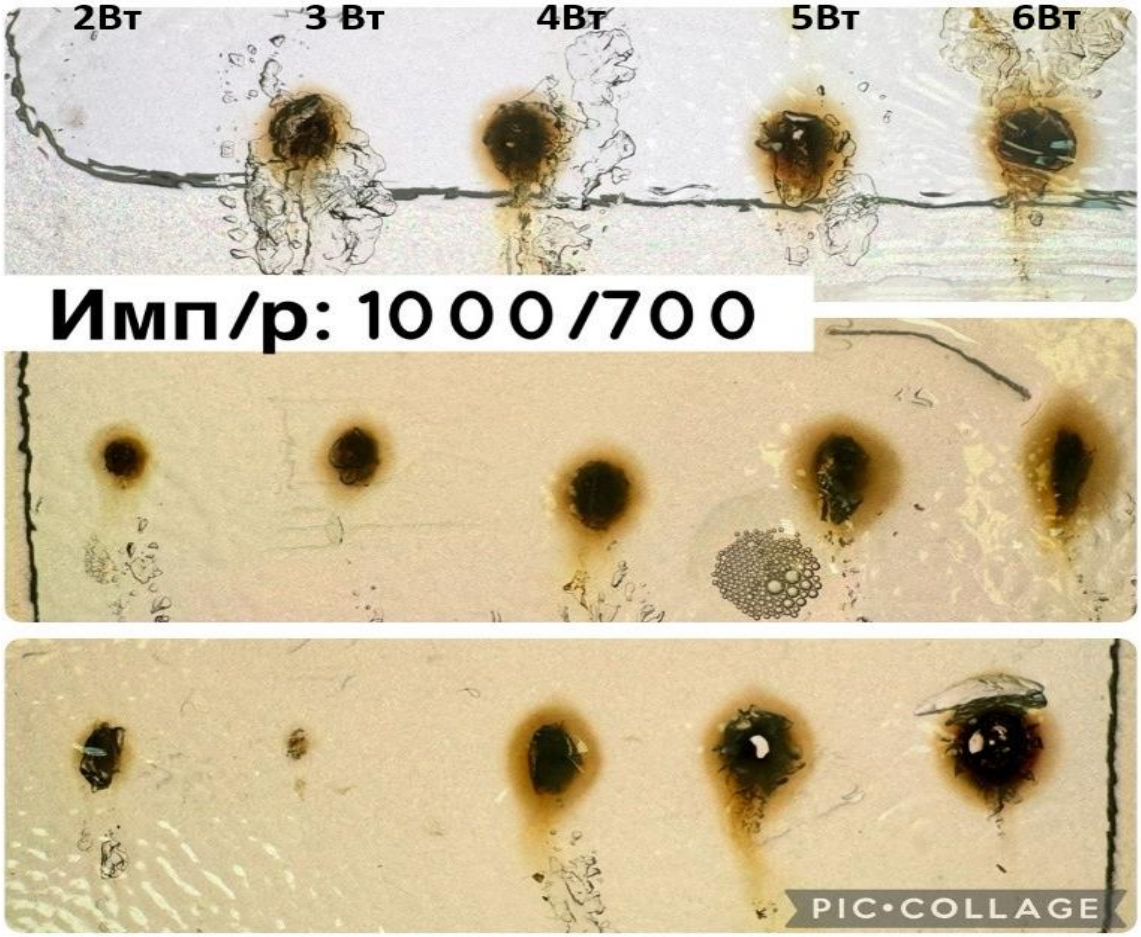


Рисунок 19 — Коагулянты после лазерного воздействия от 2 до 6 Вт в импульсном режиме 1000/700 мс.

При скважности 1,7 в режиме импульсного лазерного воздействия 1000/700 допустимый температурный порог превышен лишь при работе на 6 Вт (130,5 С°). При работе на остальных мощностях (2–5Вт) были зарегистрированы допустимые значения. За счет меньшего интервала между импульсами достигается большая ΔS, чем при скважности 2.

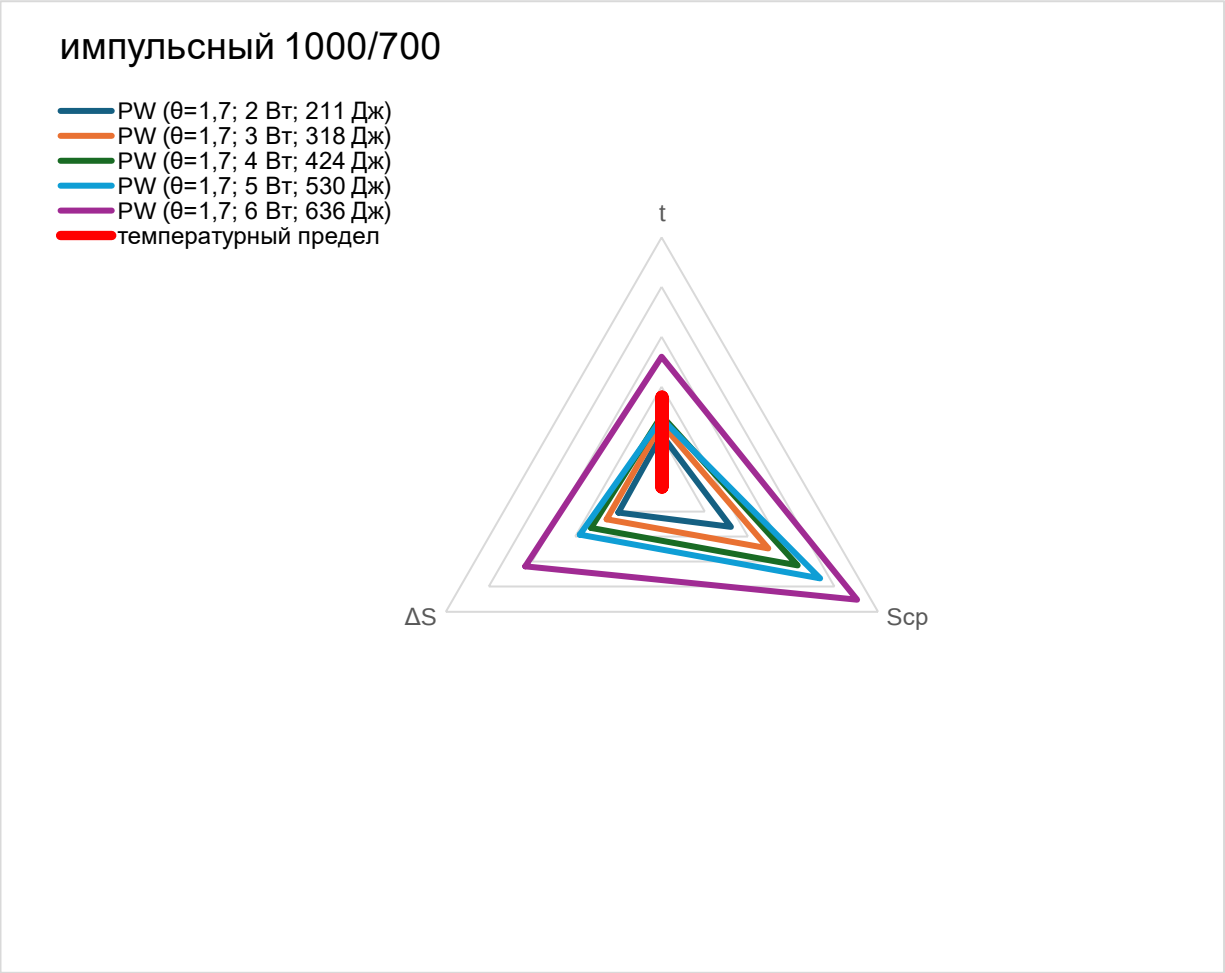


Рисунок 20 — Распределение параметров лазерного воздействия в импульсном PW (pulsed wave) режиме 1000/700 мс.: Вт — мощность лазерного излучения; Дж — суммарная энергия лазерного воздействия; t — температура в зоне воздействия, °C; Scp — средняя площадь зоны термического повреждения, мм²; ΔS — разница между площадями внешнего и внутреннего коагулянтов, мм²; красной линией обозначена предельно допустимая температура

В результате исследований подобраны оптимальные параметры для каждого из режимов (CW 3Вт., PW: 500/500 4 Вт., PW: 1000/700 5 Вт.)

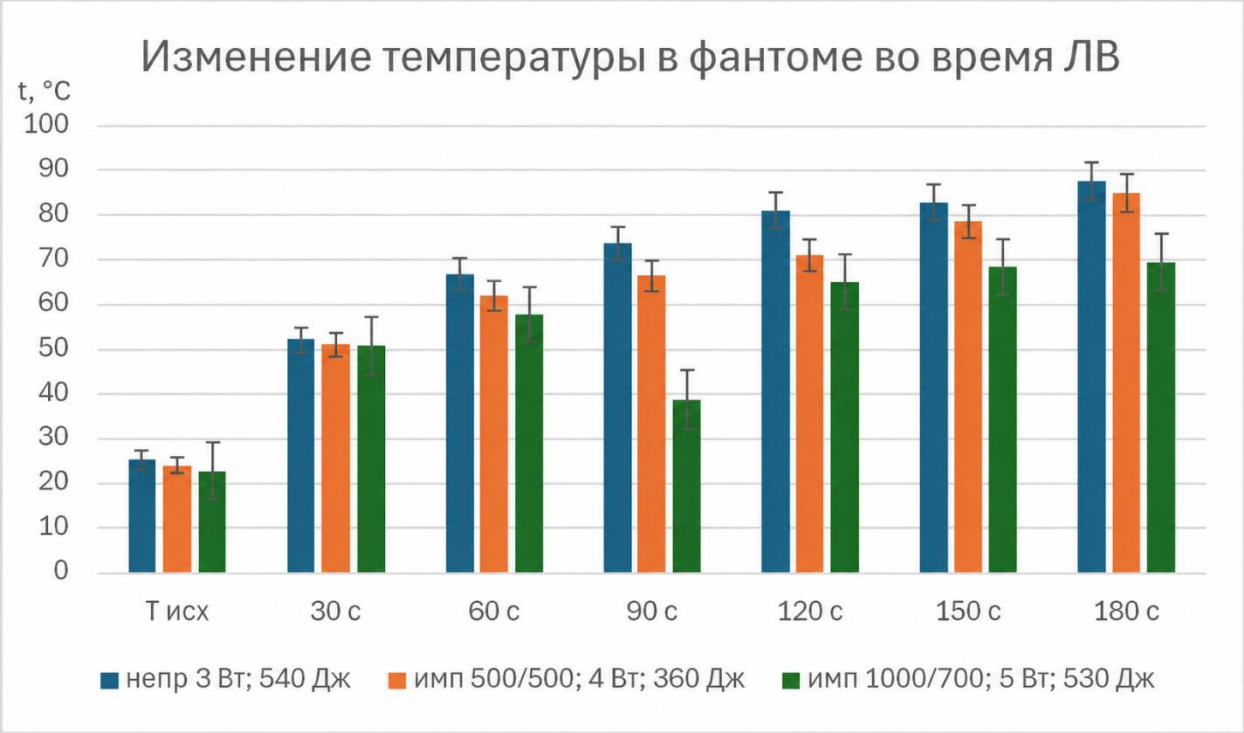


Рисунок 21 — Динамика температуры фантома при различных режимах лазерного воздействия:
Ось абсцисс: Время лазерного воздействия, с
Ось ординат: Температура фантома, °C
Примечание: CW (continuous wave) — непрерывный режим лазерного воздействия; PW (pulsed wave) — импульсный режим; 500/500 и 1000/700 мс — продолжительность импульса и паузы соответственно.

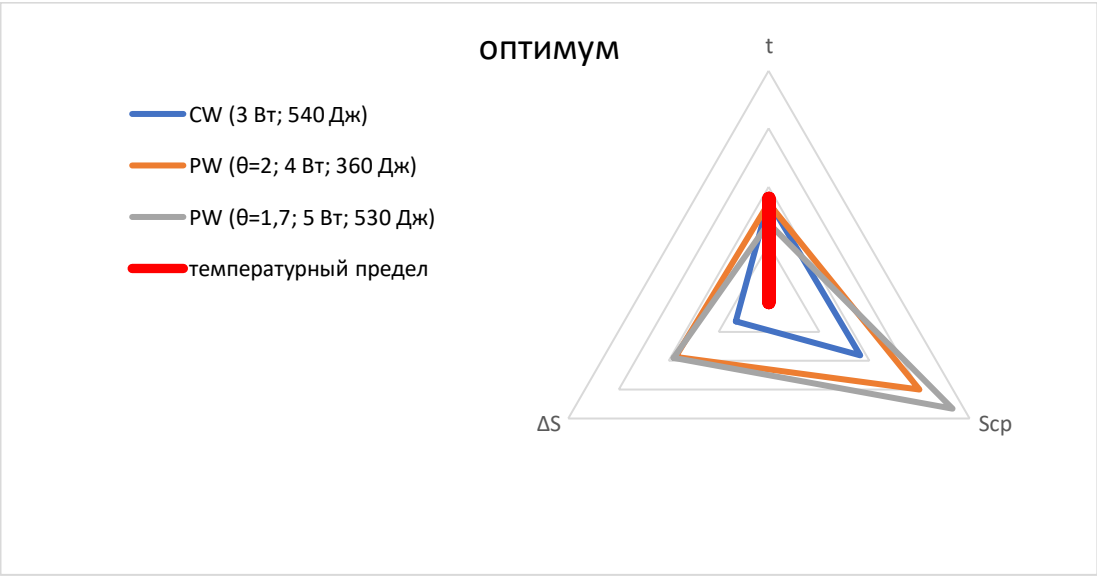


Рисунок 22 — Распределение параметров лазерного воздействия среди оптимальных режимов.
Примечание: CW (continuous wave) — непрерывный режим лазерного воздействия; PW (pulsed wave) — импульсный режим; T — прирост температуры в зоне лазерного воздействия, °C; *S*ср — средняя площадь коагулята, мм²; Δ*S* — разность между площадями внешнего и внутреннего коагулятов, мм²; красной линией обозначен предельно допустимый прирост температуры.

Предпочтительным среди оптимальных режимов считается импульсный (PW: 1000/700) со скважностью 1.7, мощность 5 Вт в связи с отсутствием превышения гипертермических порогов, наибольшего значения ΔS.

3.1.2 Выбор оптимального режима для клинического применения

С точки зрения безопасности и эффективности процедуры, лучшим среди оптимальных является режим импульсного воздействия 1000/700 5 Вт. Его использование предпочтительнее для интерстициальной термотерапии, т. к. позволяет девитализировать патологическую ткань плавным диффузным нагревом. В непрерывном режиме, даже на мощности 3 Вт, но при наборе той же дозы возникает обугливание ткани и торца световода, что делает процесс лазерного воздействия неуправляемым. В импульсном режиме (500/500мс) температура воздействия не превышает гипертермические пороги, но может оказаться неэффективной с точки зрения получения необходимого по площади коагулянта, либо потребует увеличения времени воздействия (Рисунок 23).

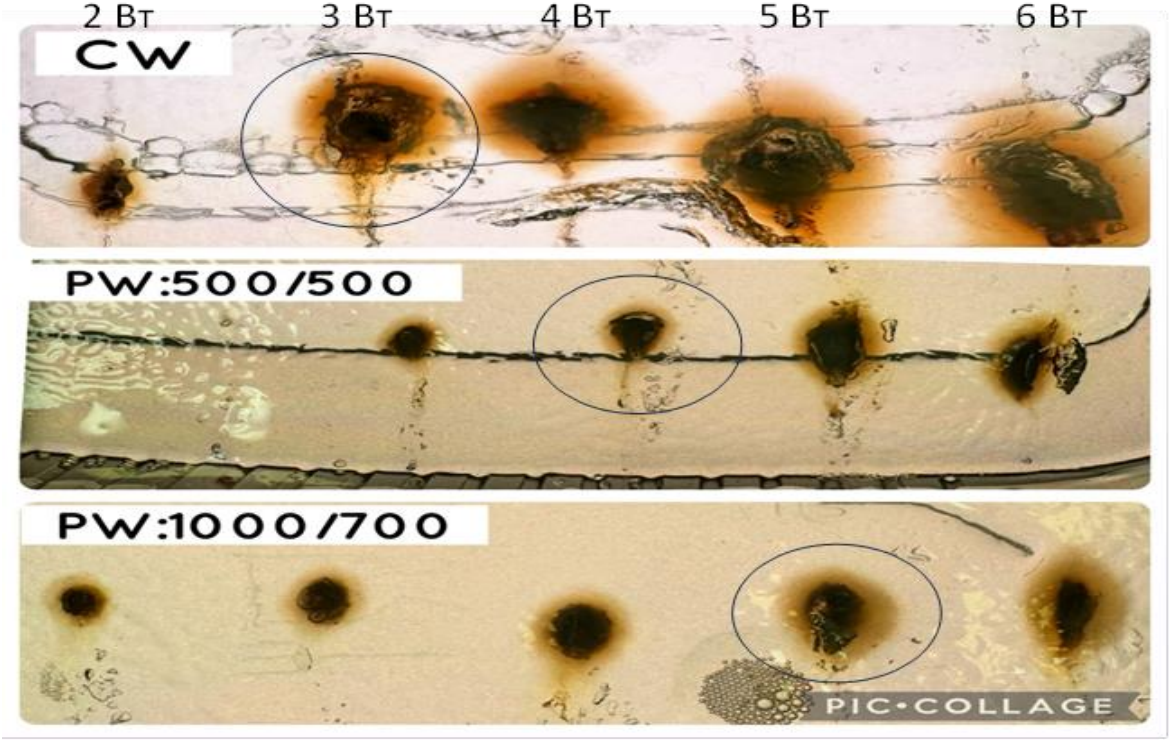


Рисунок 23 — Коагулянты после лазерного воздействия в оптимальных режимах. Выделены коагулянты оптимальных режимов лазерного воздействия

Методологическая база исследования опирается на достижения смежных областей: работы О. В. Острейко и соавт. по применению биофантомов для оценки термических эффектов лазерного излучения (λ=970 нм и 1560 нм) при варьировании параметров воздействия (Острейко О.В. и соавт., 2022); исследования М. А. Рябовой и С. А. Карпищенко в области экспериментального применения лазерных технологий на биологических тканях (свиная почка, печень), демонстрирующие возможности экстраполяции данных на клинические задачи (Карпищенко С.А. и соавт., 2021; Рябова М.А. и соавт., 2024). Зачастую в клинической практике достижение оптимальных параметров при лечении разных нозологий проводится эмпирическим путем, что на наш взгляд является существенным недостатком.

Подтверждена принципиальная возможность моделирования тепловых эффектов ЛИТТ на полиакриламидном фантоме, имитирующем биологические ткани. Прозрачность и стабильность фантома позволили визуально и количественно оценить зоны термического воздействия, а поскольку среда фантома стандартна, то можно считать, что и сам эксперимент проходил в стандартных условиях.

Благодаря выбранной методике систематизированы данные о тепловых эффектах ЛИТТ при различных режимах лазерного воздействия (непрерывный и импульсные) и мощностях (2–6 Вт). Выявлены оптимальные параметры лазерного воздействия: импульсный режим 1000/700 мс при мощности 5 Вт ($p<0,05$). Этот режим обеспечивает: контролируемый нагрев без превышения температурного порога, максимальную площадь коагулянта (ΔS) за минимальное время, снижение риска повреждения смежных анатомических структур.

Применение лазера (ЛАХТА-МИЛОН) в отличие от традиционных хирургических методов позволяет значительно снизить интраоперационную тракцию и, как следствие, минимизировать травматизацию спинного мозга и его корешков. Это приводит к менее выраженным неврологическим симптомам и улучшению качества жизни пациентов в послеоперационном периоде (Туранов С. А. и соавт, 2024).

3.2 Непосредственные результаты хирургического лечения

3.2.1 Интраоперационные показатели

Средний объем кровопотери во время удаления опухоли составил (192,6 ± 17,3) мл в исследуемой группе и (359,5 ± 16,8) мл в группе сравнения ($p<0,001$). Использование хирургического лазера при операциях по удалению опухолей в пояснично-крестцовом отделе позвоночника продемонстрировало статистически значимое снижение интраоперационной кровопотери практически в два раза: (210,5 ± 20,6) мл в исследуемой группе против (350,0 ± 21,3) мл в контрольной ($p<0,05$). Доказано явное снижение кровопотери при операции на крупных опухолях с высокой плотностью и выраженной кровоточивостью, поскольку после лазерной обработки плотность и кровоточивость новообразования значительно уменьшались, что позволяло использовать ультразвуковой дезинтегратор. Применение лазерной технологии при микрохирургическом удалении ЭМО различных локализаций и размеров способствовало увеличению общего уровня тотальных резекций на 6,7 %. Согласно нашим данным, в исследуемых группах процент полного удаления опухолей составил 100,0 % (30 пациентов) в исследуемой группе и 93,3 % (28 пациентов) в группе сравнения.

Прирост в тотальности удаления на 6,7 % напрямую связан с применением лазера ($p=0,49$): после обработки плотность и кровоточивость опухоли снижались, что позволяло использовать ультразвуковой дезинтегратор для полного удаления (Таблица 11).

Таблица 11 — Интраоперационные показатели в сравниваемых группах

Показатель	Основная группа (n=30)	Контрольная группа (n=30)	Разность средних (95% ДИ)	p	Величина эффекта (g Хеджеса)
Объем кровопотери, мл	192,6 ± 17,3	359,5 ± 16,8	-166,9 [-175,9; -157,9]	<0,001	9,50
Длительность операции, мин	125,4 ± 15,2	185,7 ± 18,3	-60,3 [-69,2; -51,5]	<0,001	3,48
Тотальные резекции, n (%)	30 (100%)	28 (93,3%)	-	0,49	-

Результаты сравнительного анализа, представленные в таблице 11, показывают, что по всем исследуемым количественным показателям значения оказались ниже в основной группе по сравнению с контрольной. С целью наглядной иллюстрации полученных различий результаты также представлены графически (Рисунки 24-27).

Для всех переменных 95% доверительные интервалы для разности средних полностью находились вне нулевого значения, что указывает на устойчивость выявленных различий и позволяет считать их не случайными колебаниями выборочных данных. Дополнительно это подтверждается результатами t-критерия: для всех анализируемых показателей были получены высокие значения статистики t при крайне низких значениях p-уровня. Это означает, что вероятность случайного возникновения наблюдаемых различий между группами статистически пренебрежимо мала.

Для оценки практической значимости выявленных различий были рассчитаны показатели величины эффекта Cohen’s d и Hedges’ g. Согласно общепринятым критериям интерпретации, полученные значения (от 3,5 до 9,5) считаются очень высокими, что свидетельствует о выраженном характере различий между группами не только на уровне статистической значимости, но и с точки зрения клинической интерпретации результатов. Дополнительной наглядной интерпретацией величины эффекта является вероятность, что случайно выбранный пациент из одной группы будет иметь более благоприятный показатель, чем пациент из другой группы. Для наблюдаемых величин эффекта эта вероятность приближается к единице, то есть случайный пациент из исследуемой группы с

высокой вероятностью (99,4%−100%) демонстрирует более благоприятные значения показателей по сравнению с пациентом из контрольной группы.

Далее последовательно рассмотрим результаты анализа для каждого из исследуемых показателей.

Средний объём интраоперационной кровопотери (рис. 24) в исследуемой группе оказался существенно ниже, чем в контрольной (в среднем, на 166,9 мл) ($p<0,001$).

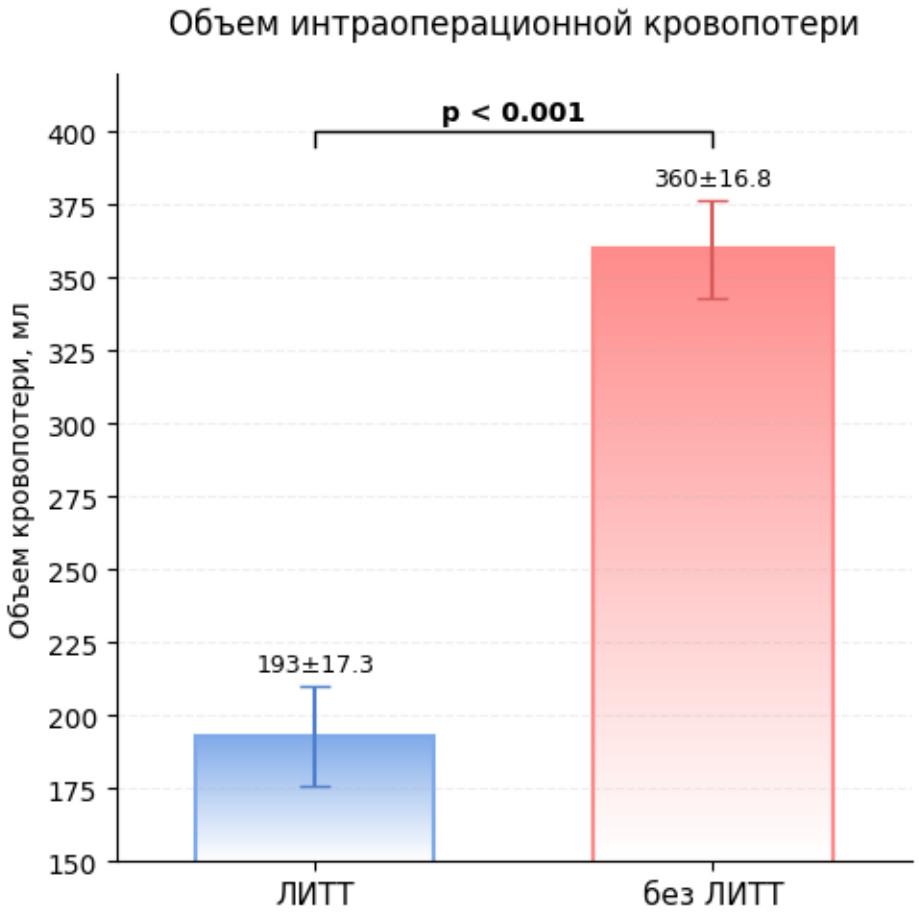


Рисунок 24 — Объём интраоперационной кровопотери

95% доверительный интервал для разности средних составил [−175,86; −157,94] мл и полностью находился в отрицательной области, что указывает на устойчивость полученного различия и исключает его случайный характер. При сравнении групп по t-критерию Уэлча было получено значение $t = −37,27$ ($p < 0,001$), что подтверждает статистическую значимость различий. Величина эффекта также оказалась исключительно высокой (Hedges' $g = −9,50$): фактически речь идёт не просто о значимом различии, а о почти полном разделении распределений

показателя между группами. Иными словами, использование ЛИТТ ассоциировано не с незначительным сдвигом, а с резким снижением интраоперационной кровопотери.

Средняя длительность операции была заметно меньше в исследуемой группе, эта разница проиллюстрирована гистограммой на рисунке 25.

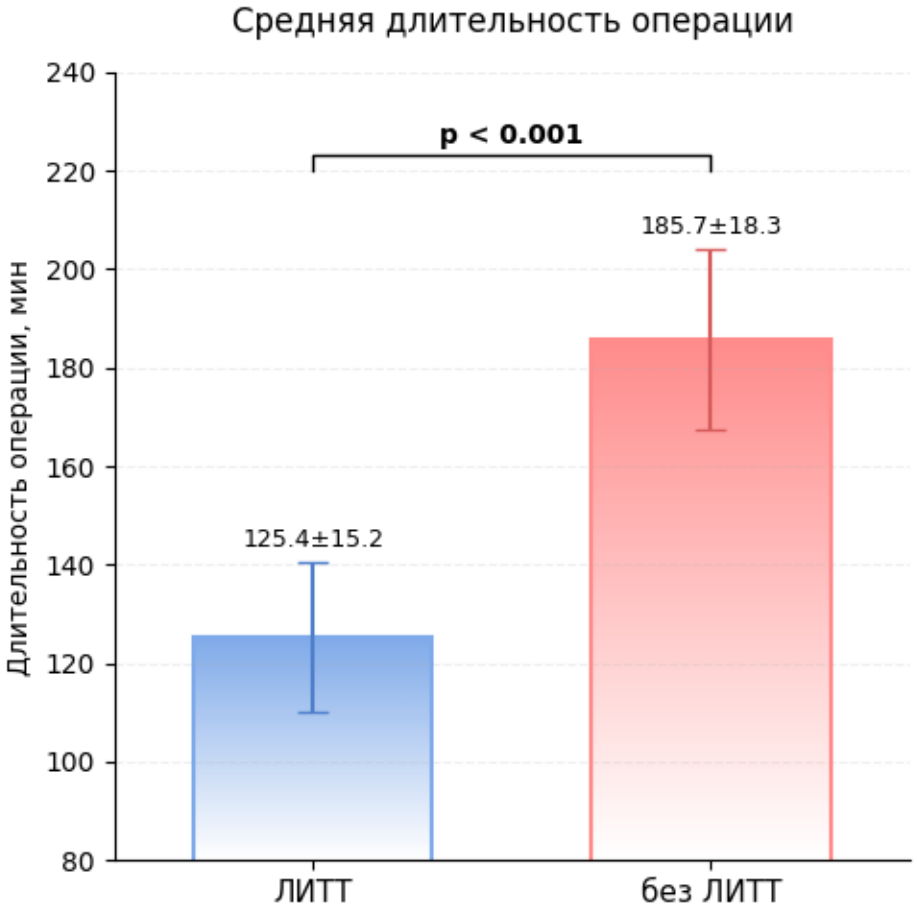


Рисунок 25 – Длительность операции

Операции с применением ЛИТТ в среднем занимают на час (60,3мин) меньше времени. 95% доверительный интервал для разности средних составил [−69,15; −51,45] минут и не пересекал нулевое значение, что подтверждает устойчивость различий. Значение t-критерия Уэлча составило −13,65 ($p < 0,001$), следовательно, вероятность случайного происхождения выявленного различия пренебрежимо мала. Значение $g = −3,48$ соответствует очень большому эффекту, что позволяет говорить о клинически ощутимом сокращении продолжительности хирургического вмешательства. Сокращение длительности операции на 32 % (−60,3 мин) снижает риск осложнений, связанных с длительным наркозом ($p<0,001$).

3.2.2 Динамика неврологического статуса в раннем послеоперационном периоде

Таблица 12 — Динамика неврологического статуса по шкале Frankel

Градация Frankel	Основная группа (n=30)		Контрольная группа (n=30)	
	До операции	После операции	До операции	После операции
A	2 (6,7%)	0	3 (10,0%)	2 (6,7%)
B	5 (16,7%)	1 (3,3%)	6 (20,0%)	4 (13,3%)
C	10 (33,3%)	4 (13,3%)	9 (30,0%)	8 (26,7%)
D	11 (36,7%)	12 (40,0%)	10 (33,3%)	11 (36,7%)
E	2 (6,7%)	13 (43,3%)	2 (6,7%)	5 (16,7%)

Примечание: сопоставимость групп до операции: $\chi^2 = 0,39$; df = 4; p = 0,98 (незначимы). Различия после операции по полному распределению: $\chi^2 = 8,73$; df = 4; p = 0,068 (на границе значимости). Полное восстановление (E) после операции: 43,3% против 16,7%; точный критерий Фишера p = 0,047. Удовлетворительный исход (D+E) после операции: 73,3% против 53,3%; точный критерий Фишера p = 0,025.

Результаты в основной группе: A (0 %, n = 0): во всех наблюдениях был хотя бы минимальный регресс неврологического дефицита; B (3,3 %, n = 1): резкое снижение числа пациентов с неполным нарушением чувствительности и отсутствием произвольных движений; C (13,3 %, n = 4): уменьшение числа пациентов с выраженным парезом и силой мышц < 3 баллов; D (40,0 %, n = 12): увеличение числа пациентов с силой мышц ≥ 3 баллов и возможностью ходьбы; E (43,3 %, n = 13): почти половина исследуемой группы достигла полного восстановления неврологических функций.

Результаты в контрольной группе: A (6,7 %, n = 2): у двух пациентов неврологический статус не улучшился; B (13,3 %, n = 4) и C (26,7 %, n = 8): число пациентов с грубым дефицитом выше, чем в основной группе; D (36,7 %, n = 11) и E (16,7 %, n = 5): меньшая частота значительного улучшения по сравнению с основной группой.

Таблица 13 — Распределение наблюдений по баллам модифицированной шкалы Neurological Scoring System (Klekamp & Samii, 1993) после операции

Группа	Всего, n	0–2 балла (тяжёлые нарушения), n	%	3–4 балла (умеренные нарушения), n	%	5–6 баллов (лёгкие нарушения), n	%	7–8 баллов (минимальные нарушения), n	%
Основная (n = 30)	30	0	0,0	2	6,7	14	46,7	14	46,7
Контрольная (n = 30)	30	2	6,7	8	26,7	12	40,0	8	26,7
Всего (n = 60)	60	2	3,3	10	16,7	26	43,3	22	36,7

Примечания: сравнение результатов до и после операции проводилось по сокращённой модификации шкалы NSS, включающей четыре ключевых клинических домена: сенсорные нарушения, болевой синдром, двигательные нарушения, функции тазовых органов (мочевого пузыря и кишечника). Каждый домен оценивали по трём градациям: 0 баллов — функция утрачена; 1 балл — функция значительно нарушена; 2 балла — функция сохранена либо минимально нарушена. Суммарный балл по четырём доменам варьировал от 0 до 8. При интерпретации результатов выделяли четыре категории тяжести неврологических расстройств: 0–2 балла — тяжёлые нарушения; 3–4 балла — умеренные нарушения; 5–6 баллов — лёгкие нарушения; 7–8 баллов — минимальные нарушения.

Таблица 14 — Результаты по шкале NSS в основной группе

Уровень NSS	До операции	После операции	Динамика	p
0–2 балла	13,3% (n = 4)	0,0% (n= 0)	–13,3 %	<0,05
3–4 балла	40,0% (n= 12)	6,7% (n= 2)	–33,3 %	<0,05
5–6 баллов	33,3% (n= 10)	46,7% (n= 14)	+13,4 %	<0,05
7–8 баллов	13,3% (n = 4)	46,7% (n= 14)	+33,4 %	<0,05

Таблица 15 — Результаты по шкале NSS в контрольной группе

Уровень NSS	До операции	После операции	Динамика	p
0–2 балла	16,7% (n= 5)	6,7 % (n= 2)	–10,0 %	<0,05
3–4 балла	46,7% (n= 14)	26,7 % (n= 8)	–20,0 %	<0,05
5–6 баллов	30,0% (n= 9)	40,0 % (n= 12)	+10,0 %	<0,05
7–8 баллов	6,7% (n= 2)	26,7 % (n= 8)	+20,0 %	<0,05

В основной группе не осталось наблюдений с тяжёлыми нарушениями (0–2 балла): с 13,3 % до 0 %, резкое снижение числа пациентов с умеренными нарушениями (3–4 балла) на 33,3 % (с 40,0 % до 6,7 %), значительный рост числа пациентов с лёгкими и минимальными нарушениями: 5–6 баллов: +13,4 % (до 46,7 %); 7–8 баллов: +33,4 % (до 46,7 %). Суммарно 93,4 % наблюдений достигли уровня 5–8 баллов, что отражает значительное улучшение неврологического статуса.

В контрольной группе было умеренное улучшение: число наблюдений с 0–2 баллами снизилась на 10,0 %, с 3–4 баллами — на 20,0 %, рост числа наблюдений с 5–6 баллами (+10,0 %) и 7–8 баллами (+20,0 %). Однако сохраняется 6,7 % наблюдений с тяжёлыми нарушениями и 26,7 % с умеренными.

В основной группе 46,7 % пациентов достигли 7–8 баллов (минимальные нарушения), в контрольной — 26,7 %.

Число наблюдений с 5–8 баллами в исследуемой группе в 1,6 раза выше, чем в контрольной (93,4 % и 66,7 %).

В контрольной группе 33,4 % пациентов остаются в категориях 0–4 баллов, требуя дополнительной реабилитации.

3.2.3 Динамика болевого синдрома и качества жизни

Таблица 16 — Динамика болевого синдрома по ВАШ (баллы, M±SD)

Срок	Основная группа	Контрольная группа	p
До операции	6,8 ± 1,2	6,9 ± 1,1	0,82
3-и сутки после операции	2,1 ± 0,3	4,8 ± 0,4	<0,001
7-е сутки после операции	1,3 ± 0,2	3,5 ± 0,3	<0,001

Интенсивность болевого синдрома по шкале ВАШ различалась между группами как на 3-и, так и на 7-е сутки после операции (Рисунок 26).

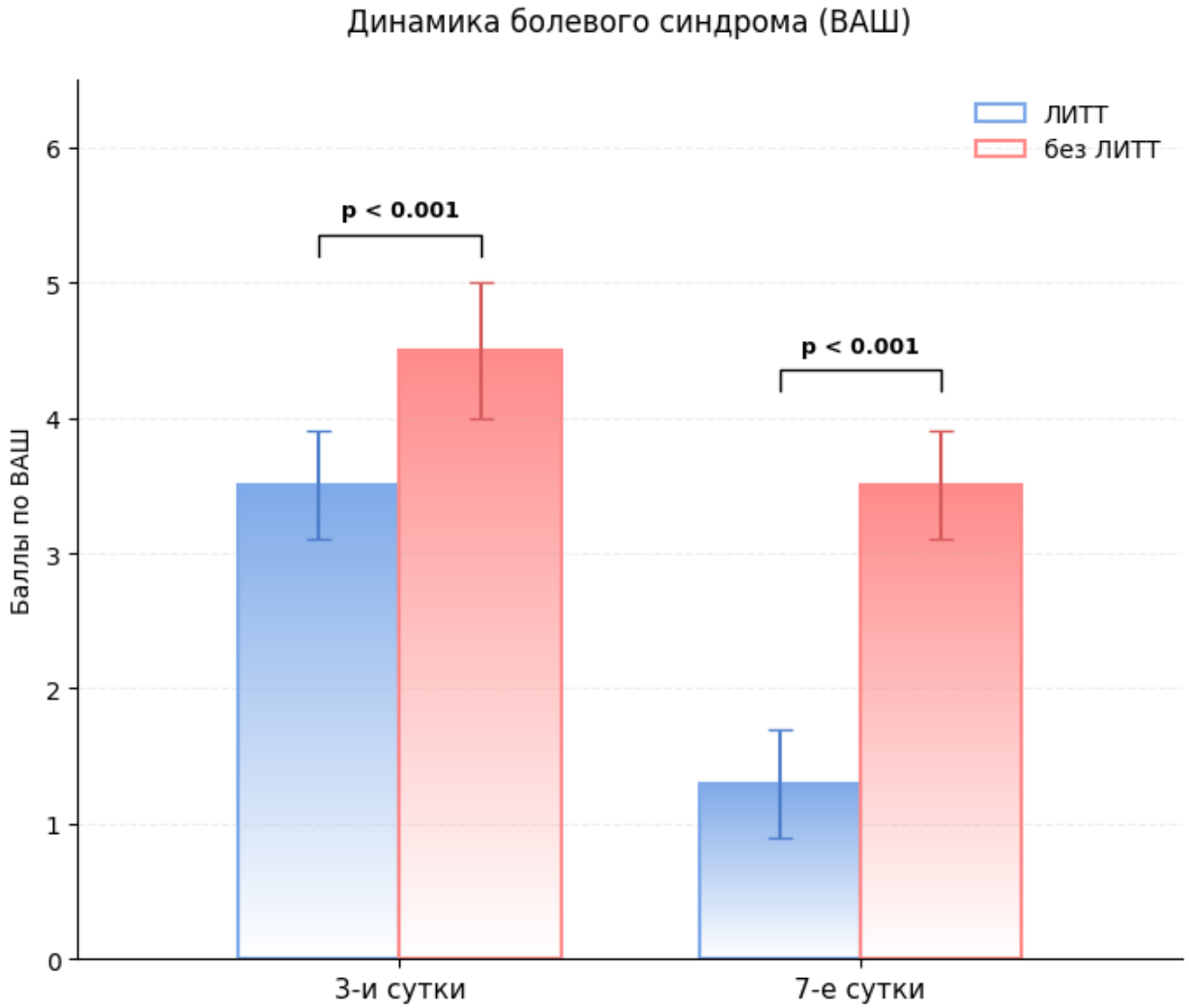


Рисунок 26 — Динамика болевого синдрома по ВАШ

На 3-и сутки средний показатель в основной группе составил 2,1±0,3 балла, тогда как в контрольной — 4,8±0,4 балла; разность средних равнялась −2,7 балла, а 95% доверительный интервал — [−2,89; −2,51]. На 7-е сутки различие сохранялось: 1,3±0,2 балла в группе ЛИТТ против 3,5±0,3 балла в контрольной, разность средних

— −2,2 балла, 95% доверительный интервал — [−2,33; −2,07]. В обоих случаях различия были статистически значимыми: t = −29,08 на 3-и сутки и t = −32,86 на 7-е сутки (p < 0,001). Величина эффекта также оказалась исключительно высокой: Hedges’ g = −7,41 на 3-и сутки и −8,37 на 7-е сутки. Можно утверждать, что различия между группами носят системный характер. Особенно показателен результат на 7-е сутки: в группе ЛИТТ интенсивность боли фактически приближается к минимальным значениям, тогда как в контрольной группе сохраняется клинически ощутимый болевой синдром. Снижение боли связано с минимальной травматизацией тканей при ЛИТТ, уменьшением отёка и воспаления, меньшим объёмом интраоперационных тракционных движений, способных повредить невральные структуры (Таблица 16).

Таблица 17 — Распределение пациентов по уровню инвалидизации (ODI) после операции

Группа	Всего (n)	0–20 % (минимальная инвалидность)	%	21–40 % (умеренная инвалидность)	%	41–60 % (выраженная инвалидность)	%	61–80 % (тяжёлая инвалидность)	%	81–100 % (полная инвалидность)	%
Исследуемая (n = 30)	30	14	46,7	11	36,7	4	13,3	1	3,3	0	0,0
Контрольная (n = 30)	30	6	20,0	12	40,0	8	26,7	3	10,0	1	3,3
Всего (n = 60)	60	20	33,3	23	38,3	12	20,0	4	6,7	1	1,7
Примечание: сравнение до и после операции											

Таблица 18 — Уровень инвалидизации в основной группе до и после операции

Уровень инвалидности	До операции	После операции	Изменение
0–20 %	6,7 % (n = 2)	46,7 % (n = 14)	+40,0 %
21–40 %	26,7 % (n = 8)	36,7 % (n = 11)	+10,0 %
41–60 %	40,0 % (n = 12)	13,3 % (n = 4)	–26,7 %
61–80 %	20,0 % (n = 6)	3,3 % (n = 1)	–16,7 %
81–100 %	6,7 % (n = 2)	0,0 % (n = 0)	–6,7 %

Таблица 19 — Уровень инвалидизации в контрольной группе до и после операции

Уровень инвалидности	До операции	После операции	Изменение
0–20 %	3,3 % (n = 1)	20,0 % (n = 6)	+16,7 %
21–40 %	30,0 % (n = 9)	40,0 % (n = 12)	+16,7 %
41–60 %	36,7 % (n = 11)	26,7 % (n = 8)	–16,6 %
61–80 %	23,3 % (n = 7)	10,0 % (n = 3)	–13,3 %
81–100 %	6,7 % (n = 2)	3,3 % (n = 1)	–3,4 %

Основная группа показала резкий рост числа наблюдений с минимальной инвалидностью (0–20 %) — с 6,7 % до 46,7 % (+40,0 %), снижение числа наблюдений с выраженной и тяжёлой инвалидностью (41–80 %) на 43,3 % (с 60,0 % до 16,6 %), регресс случаев полной инвалидности (81–100 %). Большинство пациентов (83,3 %) достигли уровней 0–40 %, что соответствует минимальной или умеренной инвалидности. Контрольная группа показала умеренное улучшение: число наблюдений с 0–20 % выросло на 16,7 % (с 3,3 % до 20,0 %). Число пациентов с 21–40 % увеличилось на 16,7 % (с 23,3 % до 40,0 %). Сокращение числа выраженной инвалидности с 36,7% до 26,7%. Динамика внутри контрольной группы статистически значимой не была ($p > 0,05$); у 13,3% наблюдений сохранялись тяжёлая или полная инвалидность (61–100%).

Общее распределение:

Число наблюдений с минимальной инвалидностью выросло с 5,0 % до 33,3 % ($p<0,05$). Число умеренной инвалидности увеличилось с 28,3 % до 38,3 % ($p>0,05$). Значительное снижение доли выраженной, тяжёлой и полной инвалидности: с 66,7 % до 28,3 % ($p<0,05$).

Таблица 20 — Распределение наблюдений по шкале Карновского после операции

Группа	Всего, n	100 %, n	%	90 %, n	%	80 %, n	%	70 %, n	%	60 %, n	%
Исследуемая (n = 30, с ЛИТТ)	30	8	26,7	14	46,7	6	20,0	2	6,7	0	0,0
Контрольная (n = 30)	30	2	6,7	10	33,3	11	36,7	5	16,7	2	6,7
Всего (n = 60)	60	10	16,7	24	40,0	17	28,3	7	11,7	2	3,3
Примечание: сравнение до и после операции											

Таблица 21 — Результаты по шкале Карновского в основной группе

Уровень Карновского	До операции	После операции	Изменение
100 %	3,3 % (n = 1)	26,7 % (n = 8)	+23,4 %
90 %	16,7 % (n =5)	46,7 % (n = 14)	+30,0 %
80 %	33,3 % (n = 10)	20,0 % (n = 6)	–13,3 %
70 %	36,7 % (n = 11)	6,7 % (n = 2)	–30,0 %
60 %	10,0 % (n = 3)	0,0 % (n = 0)	–10,0 %

Таблица 22 — Результаты по шкале Карновского в контрольной группе

Уровень Карновского	До операции	После операции	Изменение
100 %	0,0 % (n = 0)	6,7 % (n = 2)	+6,7 %
90 %	13,3 % (n = 4)	33,3 % (n = 10)	+20,0 %
80 %	40,0 % (n = 12)	36,7 % (n = 11)	–3,3 %
70 %	33,3 % (n = 10)	16,7 % (n = 5)	–16,6 %
60 %	13,3 % (n = 4)	6,7 % (n = 2)	–6,6 %

В основной группе наблюдался рост числа наблюдений с 100 %: с 3,3 % до 26,7 % (+23,4 %), значительное увеличение категории 90 %: с 16,7 % до 46,7 % (+30,0 %)- пациенты могут вести нормальную жизнь с минимальными ограничениями, сокращение числа 70 % на 30,0 % (с 36,7 % до 6,7 %) и полное исчезновение категории 60 % (нуждаемость в помощи).

Большинство пациентов (73,4 %) достигли уровней 90–100 %, что отражает высокую функциональную активность после лечения.

В контрольной группе было умеренное улучшение: число 100 % выросло на 6,7 % (с 0 % до 6,7 %), 90 % - на 20,0 % (до 33,3 %), снижение числа 70 % на 16,6 % и 60 % на 6,6 %, но сохранение пациентов в этих категориях, преобладают уровни 80–90 % (70,0 %), что указывает на остаточные ограничения активности.

В основной группе число наблюдений с 100 % в 4 раза выше, чем в контрольной (26,7 % против 6,7 %).

Число 90–100 % в исследуемой группе составляет 73,4 %, в контрольной - 40,0%.

В контрольной группе 23,4 % пациентов остаются в категориях 60–70 %, требуя дополнительной реабилитации.

Для анализа выраженности неврологических нарушений мы использовали систему неврологических измерений (Neurological Scoring System), предложенную

в 1993г. J. Klekamp и M. Samii (Klekamp J., Samii M., 1993) для оценки неврологического статуса пациентов с патологией спинного мозга.

3.2.4 Сроки госпитализации и послеоперационные осложнения

Таблица 23 – Сроки госпитализации

Показатель	Основная группа	Контрольная группа	p-уровень
Длительность пребывания в стационаре, дни	9,5 ± 1,1	14,2 ± 1,4	<0,001

Длительность госпитализации в стационарном отделении в основной группе также оказалась значительно меньше, что графически представлено гистограммой на рисунке 27.

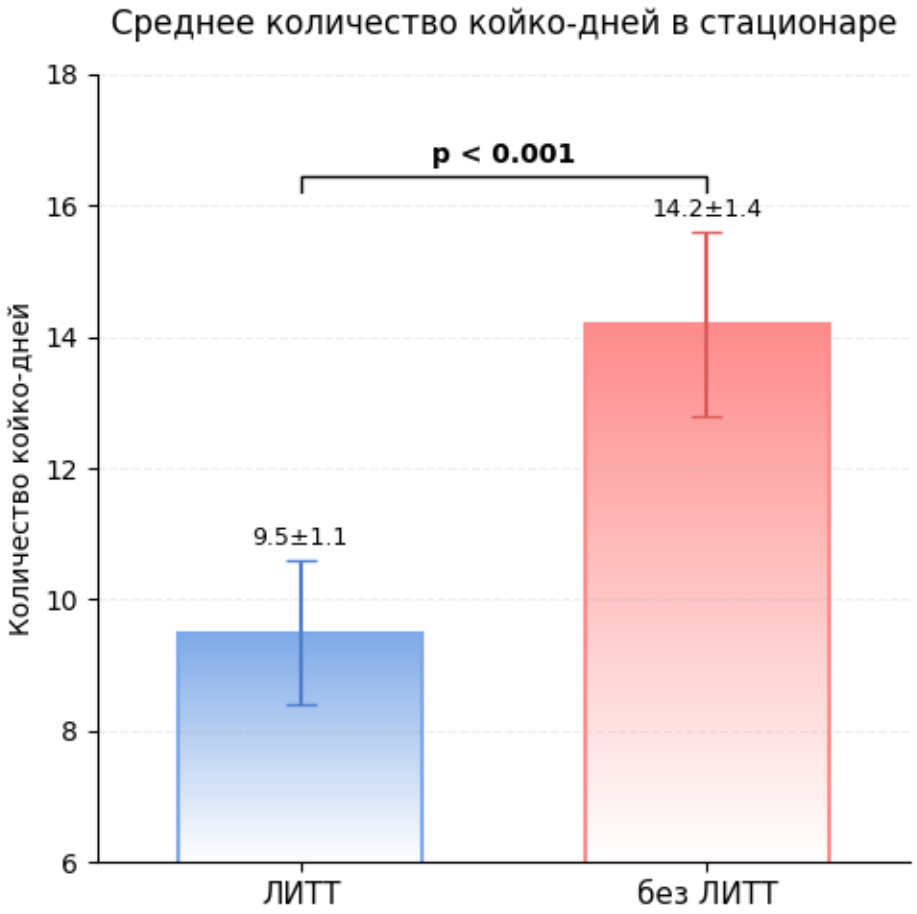


Рисунок 27 — Число койко-дней в стационаре

Разность средних достигала −4,7 дня. 95% доверительный интервал [−5,36; −4,04] указывает на стабильность выявленного результата. Статистическое

сравнение групп показало значение $t = -14{,}22$ ($p < 0{,}001$). Величина эффекта также была высокой (Hedges' $g = -3{,}62$), поэтому выявленное сокращение длительности стационарного лечения следует рассматривать не как формальный статистический результат, а как практически значимое преимущество метода. С прикладной точки зрения уменьшение срока госпитализации почти на пять суток представляет самостоятельный аргумент в пользу организационной и экономической целесообразности применения ЛИТТ. Уменьшение койко-дней снижает нагрузку на стационар и экономические затраты (Таблица 24).

Таблица 24 — Послеоперационные осложнения

Вид осложнения	Основная группа (n=30)	Контрольная группа (n=30)	p
Ликворея	1 (3,3%)	2 (6,7%)	1,000
Раневая инфекция	0	1 (3,3%)	1,000
Тромбоэмболические осложнения	0	0	-
Летальность	0	0	-

В основной группе ликворея зарегистрирована у 1 пациента (3,3%), в контрольной — у 2 пациентов (6,7%). Раневая инфекция выявлена у 1 пациента контрольной группы (3,3%); в основной группе случаев раневой инфекции не зарегистрировано. Статистически значимых межгрупповых различий по частоте ликвореи и раневой инфекции не выявлено (двусторонний точный критерий Фишера, $p = 1{,}000$ для каждого сравнения). Тромбоэмболические осложнения и летальные исходы в обеих группах за анализируемый период отсутствовали.

3.2.5 Анализ неврологического восстановления в зависимости от гистологического типа опухоли

Для более детального понимания эффекта ЛИТТ был проведен анализ результатов лечения отдельно в подгруппах пациентов с доброкачественными опухолями и метастазами (Таблица 25, 26).

Таблица 25 — Динамика неврологического статуса у пациентов с доброкачественными опухолями (n=27)

Показатель	Основная группа (n=11)	Контрольная группа (n=16)	p
NSS до операции	5,4 ± 1,0	5,1 ± 1,2	0,48
NSS после операции	7,2 ± 0,6	6,4 ± 0,9	0,01
Прирост NSS	+1,8 ± 0,5	+1,3 ± 0,6	0,03

Таблица 26 — Динамика неврологического статуса у пациентов с метастазами (n=33)

Показатель	Основная группа (n=19)	Контрольная группа (n=14)	p
NSS до операции	4,3 ± 1,3	3,9 ± 1,4	0,42
NSS после операции	6,1 ± 1,1	5,0 ± 1,3	0,01
Прирост NSS	+1,8 ± 0,7	+1,1 ± 0,6	0,005

Анализ показал, что положительный эффект от применения ЛИТТ в отношении восстановления неврологических функций (прирост NSS) наблюдается в обеих подгруппах, однако его характер различается. У пациентов с метастазами основным клиническим эффектом был более быстрый и полный регресс болевого синдрома (ВАШ 1,4±0,3 против 3,8±0,5 в контроле, $p<0,001$ на 7-е сутки), тогда как у пациентов с доброкачественными опухолями более выраженным было восстановление именно двигательных функций и чувствительности, что отразилось в более высоких показателях NSS и Frankel.

3.3 Результаты применения двухэтапной методики лазерной интерстициальной термотерапии

У всех пациентов основной группы успешно выполнен первый этап ЛИТТ. По данным контрольной МРТ после первого этапа у 27 (90%) пациентов отмечено уменьшение объема паравертебрального узла (в среднем на 15-20%) и изменение характера накопления контраста. У 3 пациентов с кистозным компонентом отмечено изменение структуры (уплотнение стенок кист).

У 4 пациентов с гиперваскулярными метастазами по данным ангиографии после лазерной абляции зафиксировано значительное обеднение сосудистого рисунка (регресс васкуляризации на 50-70%).

Интраоперационно во всех случаях отмечено снижение кровоточивости опухолевой ткани после лазерной обработки. У 8 пациентов с локализацией опухоли на уровне C5-Th1 удалось сохранить функционально значимый корешок благодаря четкой визуализации границ после лазерной коагуляции.

На основании проведенного исследования разработан клинический алгоритм персонифицированного хирургического лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями позвоночника, имеющими паравертебральный компонент (Рисунок 28).

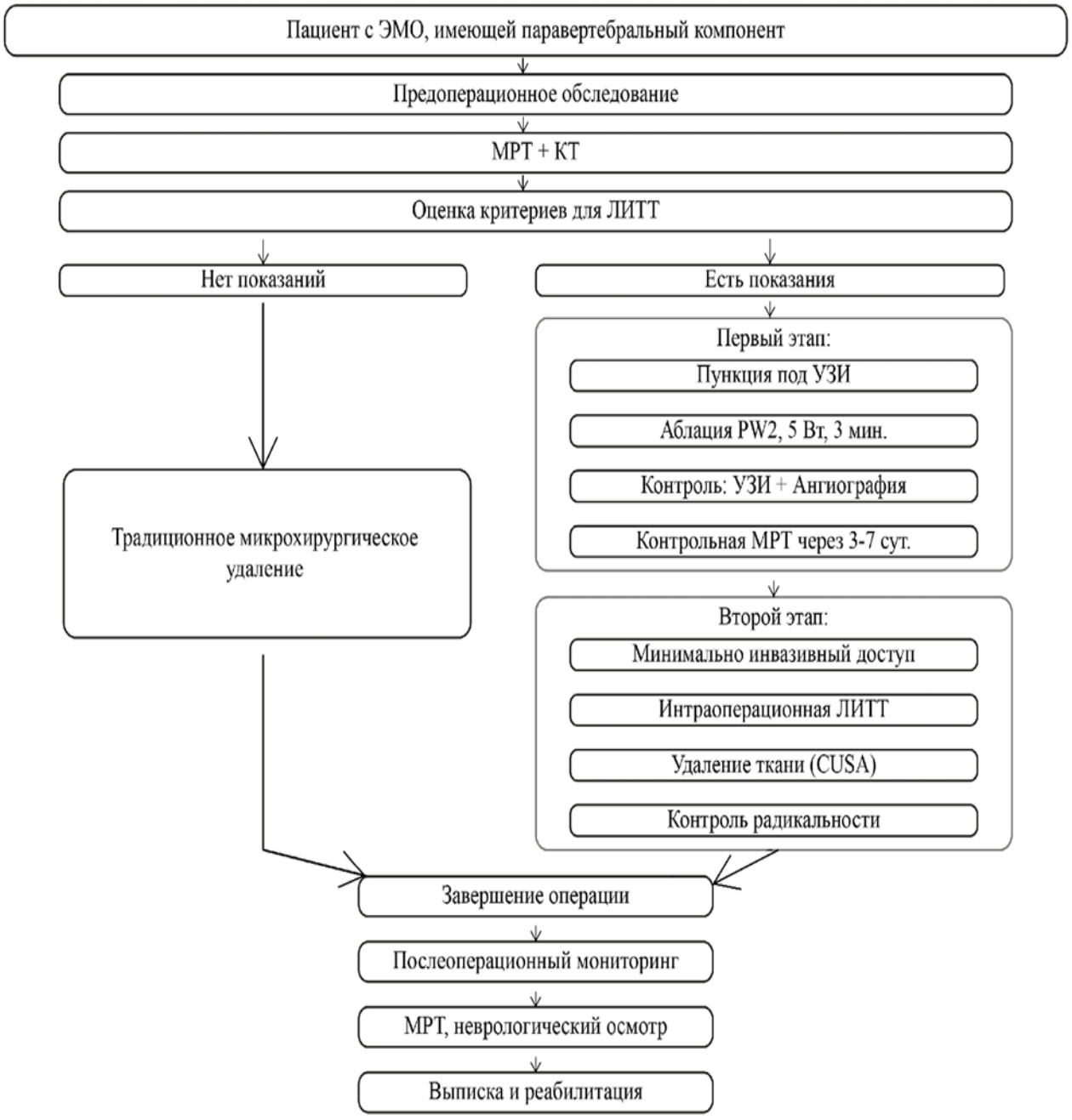


Рисунок 28 — Алгоритм выбора тактики хирургического лечения для пациентов с ЭМО

Алгоритм позволяет индивидуализировать хирургическую тактику с учётом характеристик опухоли, неврологического статуса и стабильности позвоночника. При наличии показаний применяется двухэтапное лечение: ЛИТТ с последующим микрохирургическим удалением опухоли, что снижает травматичность вмешательства.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным литературы, опухоли спинного мозга составляют 10–15 % всех новообразований центральной нервной системы (Shobeiri P., 2023; Liu H., 2024). Среди них особую категорию составляют ЭМО с бифокальным ростом — гантелевидные и метастатические опухоли, характеризующиеся распространением в позвоночный канал и паравертебральное пространство. Такие новообразования отличаются высокой васкуляризацией, плотной связью с функционально значимыми невральными структурами и сложностью радикального удаления (Mo K. et al., 2021).

Традиционные микрохирургические подходы сопряжены с рядом существенных ограничений. Обширная резекция костно-связочных структур и мобилизация мягких тканей могут приводить к нестабильности позвоночно-двигательного сегмента и удлинению реабилитационного периода (Бывальцев В. А. с соавт., 2014; Mirza A.B. et al., 2025). Интраоперационная кровопотеря, особенно при гиперваскуляризированных опухолях, остаётся значимой проблемой, повышающей риск осложнений и ограничивающей возможности хирурга по достижению радикальности. В этих условиях приоритетом становится поиск методов, позволяющих минимизировать хирургическую агрессию при сохранении онкологического радикализма.

ЛИТТ представляет собой перспективное направление, сочетающее локальность воздействия, минимальную инвазивность и возможность контроля процесса деструкции опухолевой ткани. Однако существующие протоколы применения ЛИТТ имеют существенные ограничения: большинство исследований описывают интраоперационное использование метода без предварительной подготовки паравертебрального компонента, а процедуры зачастую требуют сложного и дорогостоящего интраоперационного МРТ-мониторинга (Nakatsuka A. et al., 2004; Sharma et al., 2016; Tatsui C. E. et al., 2015; Jonathan S.V. et al., 2026). В отечественной практике применение лазерных технологий при спинальной патологии представлено единичными клиническими случаями, преимущественно с

использованием Nd:YAG-лазеров (Ступак В. В. с соавт., 2014; Елисеенко И. А. с соавт., 2021). Отсутствие стандартизированных протоколов применения полупроводниковых лазеров (в частности, с длиной волны 970 нм) для лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, а также эмпирический подбор параметров воздействия определяют необходимость проведения целенаправленных экспериментальных и клинических исследований.

Экспериментальное моделирование на тканеэквивалентном фантоме позволяет объективизировать выбор оптимальных параметров лазерного воздействия (импульсный режим 1000/700 мс, мощность 5 Вт), обеспечивающих максимальную площадь коагуляционного некроза при минимальном риске карбонизации и повреждения окружающих тканей.

Экспериментальная часть исследования, выполненная на полиакриламидном тканеэквивалентном фантоме, имела ключевое значение для стандартизации параметров лазерного воздействия. Использование фантома позволило исключить влияние биологических факторов (вариабельность кровотока, индивидуальную реакцию тканей) и сосредоточиться на физических аспектах взаимодействия лазерного излучения с тканью. Полиакриламид был выбран как материал, близкий по теплофизическим свойствам к мягким тканям, что обеспечило высокую степень экстраполяции результатов на клиническую практику.

Выбранные параметры — импульсный режим со скважностью 1,7 (1000 мс импульс / 700 мс пауза) и мощность 5 Вт — были определены как оптимальные на основании анализа площади коагуляционного некроза (ΔS до 10,7 мм) и температурного профиля (средняя температура 78,2 °C). Импульсный режим обеспечивает чередование фаз нагрева и охлаждения, что предотвращает перегрев и карбонизацию тканей — критически важный фактор при работе вблизи спинного мозга и нервных корешков. Непрерывный режим, напротив, ассоциирован с быстрым повышением температуры и риском неконтролируемого распространения зоны термического повреждения.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, демонстрирующих преимущества импульсного режима при проведении ЛИТТ. Так,

в работах A. Nakatsuka et al. (2004) и M. P. Goetz et al. (2004) подчёркивается важность контроля температуры для предотвращения повреждения здоровых тканей. В то же время, в отличие от этих исследований, где мониторинг осуществляется с помощью интраоперационной МРТ, в настоящей работе акцент сделан на предварительной стандартизации параметров на фантоме, что позволяет снизить зависимость от дорогостоящего оборудования и повысить воспроизводимость методики.

Отсутствие карбонизации при выбранных параметрах подтверждает безопасность режима для клинического применения. Температура до 80 °C является достаточной для коагуляции белков и некроза опухолевых клеток, но не приводит к обугливанию тканей, которое может затруднить дальнейшее хирургическое вмешательство и повысить риск инфекционных осложнений.

Двухэтапная методика хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, включающая предварительную транскутанную лазерную абляцию экстравертебрального узла, позволяет снизить его объём и васкуляризацию, что создаёт благоприятные условия для последующего микрохирургического этапа.

Разработанная двухэтапная методика представляет собой принципиально новый подход к лечению ЭМО с паравертебральным компонентом. Ключевым отличием от существующих протоколов является выполнение предоперационной транскутанной лазерной абляции паравертебрального узла под ультразвуковым и ангиографическим контролем. Это позволяет редуцировать объём опухоли на 15–20 % и снизить её васкуляризацию на 50–70 % ($p < 0,05$) до начала основного этапа операции.

Снижение объёма опухоли облегчает доступ к интраканальному компоненту и уменьшает необходимость обширной резекции костных структур. Уменьшение васкуляризации напрямую влияет на интраоперационную кровопотерю, снижая риск гемодинамических нарушений и необходимости переливания крови. Кроме того, деваскуляризация опухоли способствует более чёткой визуализации границ новообразования и окружающих невральных структур, что повышает точность микрохирургического удаления.

Важным аспектом методики является выбор методов контроля. Ультразвуковая навигация обеспечивает визуализацию паравертебрального узла и позиционирование световода, а ангиография позволяет оценить динамику васкуляризации опухоли после ЛИТТ. Такой комбинированный подход повышает безопасность вмешательства и снижает риск повреждения магистральных сосудов.

Патентование методики (патент РФ № 2846156, 2024 г.) подтверждает её новизну и потенциальную применимость в широкой клинической практике. В отличие от интраоперационных протоколов ЛИТТ, требующих сложного МРТ-контроля, предложенная методика может быть реализована в условиях стандартного нейрохирургического отделения, что расширяет её доступность.

Клинические результаты подтверждают эффективность подготовительного этапа: снижение объёма и васкуляризации опухоли создаёт благоприятные условия для микрохирургического этапа, позволяя достичь большей радикальности удаления при сопоставимом уровне осложнений.

Применение ЛИТТ у пациентов с ЭМО достоверно снижает интраоперационную кровопотерю (в 1,9 раза), сокращает время операции (на 32 %) и сроки госпитализации (на 4,7 дня) по сравнению с традиционным лечением, а также способствует более раннему регрессу болевого синдрома и неврологического дефицита, не влияя на радикальность удаления.

Снижение интраоперационной кровопотери напрямую связано с деваскуляризацией опухоли на первом этапе. Это не только улучшает условия для хирургического вмешательства, но и снижает потребность в гемотрансфузиях, минимизируя риск связанных с ними осложнений.

Сокращение длительности операции обусловлено уменьшением объёма резекции и упрощением доступа к опухоли. Меньшая травматизация тканей и сокращение времени ишемии невральных структур способствуют более быстрому восстановлению неврологических функций.

Радикальность удаления опухоли в основной группе составила 100 %, в контрольной — 93,3 % ($p = 0,49$), что подтверждает отсутствие негативного влияния ЛИТТ на онкологические результаты. Более того, предварительная абляция

паравертебрального узла позволила достичь тотального удаления опухоли даже в случаях сложной анатомии, где традиционный подход мог привести к субтотальной резекции.

Динамика неврологического статуса и болевого синдрома также свидетельствует в пользу разработанной методики. Доля пациентов с минимальными неврологическими нарушениями (7–8 баллов по шкале NSS) в основной группе составила 46,7 % и 26,7 % в контрольной. Интенсивность боли по шкале ВАШ на 7-е сутки была в 2,7 раза ниже в основной группе ($1,3 \pm 0,2$ и $3,5 \pm 0,3$ балла, $p < 0,001$), причём наиболее выраженный эффект наблюдался у пациентов с метастатическими поражениями. Это может быть связано с деструктурирующим воздействием ЛИТТ на болевые рецепторы и снижением перифокального отёка.

Сокращение сроков госпитализации на 4,7 дня отражает комплексный эффект методики: меньшую операционную травму, более быстрый регресс неврологического дефицита и болевого синдрома, а также снижение потребности в интенсивной послеоперационной терапии. При этом частота послеоперационных осложнений в основной группе не увеличилась, что подтверждает безопасность двухэтапного подхода.

Результаты проведённого исследования сопоставимы с данными мировой литературы, но имеют ряд существенных отличий, определяющих их научную и практическую новизну.

Проведенное экспериментальное исследование позволило впервые для полупроводникового лазера с длиной волны 970 нм определить оптимальные параметры воздействия применительно к спинальным опухолям. Выбор импульсного режима 1000/700 мс с мощностью 5 Вт основан на стремлении избежать карбонизации, которая, как отмечают В.В. Ступак и соавт., делает процесс неуправляемым и повышает риск повреждения окружающих структур. Исследования, посвящённые применению Nd:YAG-лазеров в спинальной хирургии, демонстрируют снижение кровопотери и улучшение исходов, но не предлагают стандартизированных протоколов параметров воздействия

(Ступак В. В. с соавт., 2014, 2003; Елисеенко И. А. с соавт., 2021). В настоящей работе впервые проведена объективизация параметров ЛИТТ на тканеэквивалентном фантоме, что позволило стандартизировать методику и повысить её воспроизводимость.

Полученные данные о зонах коагуляции (ΔS до 10,7 мм) сопоставимы с результатами исследований О.В. Острейко и соавт. (Острейко О. В. с соавт., 2022) и М.А. Рябовой и соавт. (Рябова М.А. с соавт., 2024). Более высокая эффективность импульсного режима PW2 по сравнению с PW1 объясняется оптимальным соотношением времени нагрева и паузы, что позволяет накапливать тепло в ткани, не достигая критических температур.

В работах, посвящённых применению ЛИТТ в нейроонкологии, большое внимание уделяется интраоперационному использованию метода под контролем МРТ (Nakatsuka A. et al., 2004; Tatsui C. E. et al., 2015). Такие протоколы демонстрируют эффективность ЛИТТ, но требуют дорогостоящего оборудования и сложной организации операционной. В настоящем исследовании акцент сделан на предоперационной транскутанной абляции с использованием ультразвуковой и ангиографической навигации, что делает методику более доступной для широкого внедрения.

По данным J. Zhang et al. (2017) и K. Mo et al. (2021), при удалении гиперваскуляризированных опухолей интраоперационная кровопотеря может достигать 500–800 мл, что значительно превышает показатели основной группы в настоящем исследовании (192,6 ± 17,3 мл). Это подтверждает эффективность предварительной деваскуляризации опухоли с помощью ЛИТТ. Полученные результаты демонстрируют значительные преимущества разработанной методики перед традиционным микрохирургическим удалением. Снижение интраоперационной кровопотери в 1,9 раза по сравнению с контрольной группой является клинически значимым, так как уменьшает потребность в гемотрансфузиях ($p<0,05$).

Для сравнения: в исследовании P. Celli и соавт. (Celli P., 2002) средняя кровопотеря при удалении шванном составляла 300-400 мл, в работе Г.Б.

Григорьева (Григорьев Г. Б., 2023) – 350-450 мл. Таким образом, наши результаты (192 мл) сопоставимы с лучшими мировыми показателями. Важно подчеркнуть, что в работе Celli (Celli P., 2002) анализировались преимущественно небольшие интрадуральные опухоли, тогда как в наше исследование включались пациенты с паравертебральным компонентом, которые априори являются более сложной когортой. Мы полагаем, что достигнутое снижение кровопотери связано не только с прямым коагулирующим эффектом лазера, но и с предварительной деваскуляризацией паравертебрального узла на первом этапе, что не применялось в других исследованиях.

Сокращение времени операции на 60 минут (32%) обусловлено не только снижением кровопотери, но и улучшением визуализации границ опухоли после лазерной обработки. Этот результат превосходит данные, представленные в работах по минимально инвазивной хирургии спинальных опухолей, где сокращение времени операции обычно не превышает 15-20% (Sánchez J. A. S., 2020; Liao D., 2023).

Сравнение с результатами микрохирургического лечения без применения ЛИТТ показывает преимущества двухэтапного подхода по всем ключевым параметрам: кровопотеря, длительность операции, сроки госпитализации, динамика неврологического и болевого синдромов. При этом радикальность удаления опухоли остаётся на сопоставимом уровне, что исключает компромисс между эффективностью и безопасностью.

Частота тотальных резекций в основной группе (100%) не имела статистических различий с контрольной группой (93,3%), что согласуется с данными литературы (Бывальцев В. А., 2018; Guerrero-Suarez P. D., 2018). Однако важно отметить, что в основной группе тотальное удаление достигнуто у всех пациентов, включая случаи с крупными и гиперваскулярными опухолями.

Особую ценность представляют результаты, полученные у пациентов с метастатическими поражениями, где анальгетический эффект ЛИТТ был наиболее выражен. Это открывает перспективы для использования методики в паллиативной нейроонкологии, где контроль болевого синдрома является одной из главных задач.

Ключевым отличием нашей методики является двухэтапный подход. Ближайшим аналогом является «разделительная хирургия» (separation surgery) (Gerszten P. C., 2005 Greco C., 2015), однако в нашем случае разделение достигается не механической резекцией, а термической абляцией, что менее травматично.

Частота сохранения функционально значимых корешков в основной группе (у 8 из 8 пациентов с риском повреждения) выше, чем в среднем по литературе (от 28% до 77%) (Kim P., 1989; Fedaravičius A., 2020; Mo K., 2022). Например, в исследовании P. Celli (Celli P., 2002) при резекции корешка, вовлеченного в опухоль, стойкий неврологический дефицит развился у 27% пациентов, а в нашей серии мы не наблюдали грубого дефицита ни в одном случае. Мы связываем это с возможностью более четкой визуализации границ между опухолью и корешком после лазерной коагуляции и снижением тракции при удалении. Лазерная обработка, по-видимому, создает зону «термического отграничения», позволяющую проводить диссекцию опухоли, не повреждая эпиневрий.

Проведённое обсуждение подтверждает обоснованность и эффективность разработанной двухэтапной методики ЛИТТ для лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями позвоночника с паравертебральным компонентом. Экспериментальное моделирование позволило стандартизировать параметры лазерного воздействия, обеспечив максимальную эффективность при минимальном риске осложнений. Клиническое применение методики продемонстрировало значимое снижение интраоперационной кровопотери, сокращение времени операции и сроков госпитализации, а также более быстрый регресс неврологического и болевого синдромов без ущерба для радикальности удаления опухоли.

Сопоставление с данными мировой литературы подтверждает новизну предложенного подхода и его преимущества перед существующими протоколами ЛИТТ. Практическая значимость работы заключается в разработке стандартизированного алгоритма, который может быть внедрён в клиническую практику нейрохирургических отделений и способствовать улучшению результатов лечения пациентов с ЭМО.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение показаний к применению методики, проведение многоцентровых исследований для подтверждения полученных результатов и изучение долгосрочных онкологических исходов, включая частоту рецидивов и выживаемость пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи современной нейрохирургии – оптимизации хирургического лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент. Актуальность работы обусловлена высокой долей ЭМО в структуре опухолей центральной нервной системы — 10–15 % (Shobeiri P., 2023; Liu H., 2024), а также особенностями клинического течения новообразований с бифокальным ростом. Гантелевидные и метастатические опухоли, характеризующиеся распространением в позвоночный канал и паравертебральное пространство, представляют особую сложность для радикального удаления. Такие опухоли сопряжены с высоким риском интраоперационной кровопотери, обусловленной гиперваскуляризацией новообразований, а также с вероятностью повреждения невральных структур из-за плотной связи опухоли с корешками и оболочками спинного мозга (Mo K. et al., 2021).

Традиционные открытые вмешательства зачастую требуют обширной резекции костно-связочных структур и мобилизации мягких тканей, что может приводить к нестабильности позвоночно-двигательного сегмента и удлинению реабилитационного периода (Бывальцев В. А. с соавт., 2014; Bach F. et al., 1990). В современных условиях приоритетным направлением спинальной онкохирургии становится минимизация хирургической агрессии при одновременном сохранении радикальности удаления опухоли. В этом контексте особый интерес представляет ЛИТТ, обеспечивающая локальное термическое воздействие на опухолевую ткань с минимальным повреждением окружающих структур. Метод обладает рядом преимуществ: локальностью воздействия, возможностью многократного применения, совместимостью с другими видами противоопухолевой терапии (Goetz M. P. et al., 2004; Nakatsuka A. et al., 2004).

Вместе с тем существующие подходы к применению ЛИТТ имеют существенные ограничения. Большинство зарубежных исследований описывают интраоперационное использование метода без предварительной подготовки

паравертебрального компонента опухоли, при этом процедуры требуют сложного и дорогостоящего интраоперационного МРТ-мониторинга (Nakatsuka A. et al., 2004; Sharma et al., 2016; Tatsui C. E. et al., 2015). В отечественной литературе представлены лишь единичные клинические случаи применения лазерных технологий при спинальной патологии, преимущественно с использованием Nd:YAG-лазеров (Ступак В. В. с соавт., 2014; Елисеенко И. А. с соавт., 2021). Отсутствие стандартизированных протоколов применения полупроводниковых лазеров (в частности, с длиной волны 970 нм) для лечения ЭМО с паравертебральным компонентом, а также эмпирический подбор параметров воздействия определяют высокую научную и практическую значимость проведённого исследования.

Клинический материал исследования сформирован на базе РНХИ им. проф. А. Л. Поленова и включает данные о 60 пациентах с ЭМО позвоночника с паравертебральным компонентом, оперированных в период с 2015 по 2025 год. Дизайн работы выполнен в формате комбинированного (экспериментального и клинического) нерандомизированного контролируемого исследования. Клиническая часть включала ретроспективный анализ историй болезни пациентов, оперированных до 2021 года, и проспективное наблюдение пациентов, оперированных с 2021 по 2025 год.

Критерии включения позволили сформировать однородную выборку, отражающую типичную клиническую популяцию пациентов с высоким операционным риском. В исследование вошли пациенты старше 18 лет с подтверждённой по данным МРТ экстрамедуллярной опухолью позвоночника с паравертебральным компонентом, размером паравертебрального узла более 2,5 см и признаками гиперваскуляризации опухоли. Особое внимание уделялось пациентам пожилого возраста и лицам с тяжёлой сопутствующей патологией, а также случаям локализации опухоли в зонах высокого риска повреждения функционально значимых корешков (C5–Th1, L3–S1). Критерии исключения позволили минимизировать влияние факторов, потенциально снижающих эффективность лазерного воздействия: декомпенсированная соматическая

патология, а также наличие кальцинированных опухолей по данным КТ, для которых лазерная абляция малоэффективна.

Пациенты были разделены на две группы: основную (n = 30) — с применением разработанной двухэтапной методики ЛИТТ с использованием лазера (ЛАХТА-МИЛОН) (λ = 970 нм), и контрольную (n = 30) — с традиционным микрохирургическим удалением без лазерного воздействия. Группы были сопоставимы по полу, возрасту, локализации и гистологическому типу опухолей, а также исходному неврологическому статусу. Распределение опухолей по отделам позвоночника также не имело статистически значимых различий (p= 0,95): в обеих группах преобладала локализация в грудном отделе (46,7 % и 43,3 %), суммарная доля грудного и пояснично-крестцового отделов превышала 70 %, что соответствует типичной клинической картине экстрамедуллярных опухолей.

Экспериментальная часть исследования, проведённая на полиакриламидном тканеэквивалентном фантоме, позволила определить оптимальные параметры лазерного излучения для интерстициальной термотерапии. Установлено, что импульсный режим со скважностью 1,7 (1000 мс импульс / 700 мс пауза) и мощностью 5 Вт обеспечивает максимальную площадь коагуляционного некроза (ΔS до 10,7 мм) при контролируемом нагреве и отсутствии карбонизации тканей. Статистическая значимость полученных результатов подтверждена ($p < 0,05$). На основании этих данных был разработан и запатентован (патент РФ № 2846156, 2024 г.) двухэтапный способ хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом. Ключевой особенностью методики является предоперационная транскутанная лазерная абляция паравертебрального узла под ультразвуковым и ангиографическим контролем, позволяющая редуцировать объём опухоли на 15–20 % и снизить её васкуляризацию на 50–70 % ($p < 0,05$) перед основным этапом хирургического вмешательства.

Клиническая апробация разработанной методики продемонстрировала её высокую эффективность. Применение двухэтапного подхода позволило статистически значимо снизить интраоперационную кровопотерю в 1,9 раза: в основной группе этот показатель составил 192,6 ± 17,3 мл против 359,5 ± 16,8 мл в

контрольной группе. Одновременно отмечено сокращение длительности операции на 32 %: среднее время вмешательства в основной группе составило 125,4 ± 15,2 мин против 185,7 ± 18,3 мин в контрольной группе. При этом радикальность удаления опухоли в основной группе достигла 100 %, в контрольной — 93,3 % ($p = 0,49$), что свидетельствует о сохранении онкологического радикализма при снижении операционной травмы.

Важным клиническим преимуществом разработанной методики стал более быстрый и полный регресс неврологического дефицита. Доля пациентов с минимальными неврологическими нарушениями (7–8 баллов по шкале NSS) в основной группе составила 46,7 %, тогда как в контрольной группе этот показатель был существенно ниже — 26,7 %. Интенсивность болевого синдрома по шкале ВАШ на 7-е сутки после операции в основной группе была в 2,7 раза ниже по сравнению с контрольной группой: 1,3 ± 0,2 балла против 3,5 ± 0,3 балла ($p < 0,001$). Особенно выраженный анальгетический эффект наблюдался у пациентов с метастатическими поражениями ($p < 0,001$), что может быть связано с деструктурирующим воздействием ЛИТТ на болевые рецепторы и снижением перифокального отёка.

Внедрение разработанного алгоритма выбора тактики хирургического лечения позволило существенно сократить сроки госпитализации: в основной группе средняя длительность пребывания в стационаре составила 9,5 ± 1,1 дня против 14,2 ± 1,4 дня в контрольной группе, то есть на 4,7 дня меньше ($p < 0,001$). При этом не было отмечено увеличения частоты послеоперационных осложнений в основной группе, что подтверждает безопасность применения двухэтапной методики.

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод о том, что разработанная двухэтапная методика ЛИТТ является эффективным и безопасным методом хирургического лечения пациентов с ЭМО с паравертебральным компонентом. Методика сочетает преимущества малоинвазивного воздействия и радикальности хирургического лечения, способствует снижению операционной травматизации, ускорению восстановления неврологических функций и

сокращению сроков стационарного лечения. Достигнутые результаты подтверждают целесообразность применения полупроводниковых лазеров с длиной волны 970 нм в лечении данной патологии.

Практическая значимость работы заключается в разработке стандартизированного алгоритма применения ЛИТТ, который может быть внедрён в клиническую практику нейрохирургических отделений. Разработанный протокол включает чёткие критерии отбора пациентов, оптимальные параметры лазерного воздействия, последовательность этапов операции и критерии оценки эффективности вмешательства.

Перспективы дальнейшего развития данного направления связаны с расширением показаний к применению двухэтапной ЛИТТ, включая пациентов с более сложными анатомическими вариантами опухолей и сопутствующими заболеваниями. Целесообразно проведение многоцентровых исследований для подтверждения полученных результатов на большей выборке пациентов. Также перспективным представляется изучение долгосрочных онкологических результатов применения методики, включая частоту рецидивов и выживаемость пациентов с метастатическими поражениями.

Таким образом, результаты проведённого исследования подтверждают эффективность и безопасность разработанной двухэтапной методики ЛИТТ в лечении пациентов с экстрамедуллярными опухолями позвоночника с паравертебральным компонентом. Полученные данные могут служить основой для формирования стандартизированных протоколов применения лазерных технологий в спинальной нейроонкологии, а также для дальнейшего совершенствования алгоритмов выбора тактики лечения данной категории пациентов.

ВЫВОДЫ

1. В эксперименте на полиакриламидном тканеэквивалентном фантоме установлено, что оптимальными параметрами лазерного излучения (длина волны 970 нм) ($p<0,05$) для интерстициальной термотерапии экстрамедуллярных опухолей является импульсный режим со скважностью 1,7 (1000 мс импульс / 700 мс пауза) и мощностью 5 Вт. Данный режим обеспечивает максимальную площадь коагуляционного некроза (ΔS до 10,7 мм) при контролируемом нагреве и отсутствии карбонизации тканей.

2. Разработанный двухэтапный способ хирургического лечения ЭМО с паравертебральным компонентом (патент РФ № 2846156, 2024г.) заключается в предоперационной транскутанной лазерной абляции экстравертебрального узла под ультразвуковым и ангиографическим контролем, что позволяет редуцировать объем (на 15-20%) и васкуляризацию (на 50-70%) опухоли на первом этапе ($p<0,05$).

3. Применение разработанной методики у 30 пациентов позволило статистически значимо ($p<0,001$) снизить интраоперационную кровопотерю (в 1,9 раза: 192,6±17,3 мл против 359,5±16,8 мл) и сократить длительность оперативного вмешательства (на 32%: 125,4±15,2 мин против 185,7±18,3 мин) по сравнению с группой контроля, при сохранении сопоставимой радикальности удаления (100% против 93,3%, $p=0,49$).

4. Использование ЛИТТ способствует более быстрому и полному регрессу неврологического дефицита: число пациентов с минимальными неврологическими нарушениями (7-8 баллов по шкале NSS) в основной группе была выше (46,7% и 26,7% в контроле), интенсивность болевого синдрома по ВАШ на 7-е сутки в основной группе была в 2,7 раза ниже (1,3±0,2 балла против 3,5±0,3 балла, $p<0,001$), анальгетический эффект в большей степени выражен при метастазах ($p<0,001$).

5. Разработанный алгоритм выбора тактики хирургического лечения, основанный на двухэтапном способе воздействия с применением разработанной методики позволяет сократить сроки госпитализации на 4,7 дня (9,5±1,1 дня против

14,2±1,4 дня, p<0,001) и не сопровождается увеличением частоты послеоперационных осложнений.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При планировании хирургического лечения пациентов с ЭМО, особенно с паравертебральным компонентом и признаками гиперваскуляризации, целесообразно рассматривать применение двухэтапной методики ЛИТТ с использованием полупроводникового лазера (λ=970 нм).

2. Рекомендуемые параметры лазерного воздействия:

– для транскутанной абляции: импульсный режим 1000/700 мс, мощность 5 Вт, экспозиция 3 минуты, контроль по УЗИ;

– для интраоперационной обработки: импульсный режим 1000/700 мс, мощность 5 Вт

3. Первый этап необходимо выполнять за 3-7 суток до открытого вмешательства (необходимый срок для образования некроза) с контрольной МРТ,

при гиперваскулярных опухолях целесообразно дополнять первый этап селективной ангиографией.

4. Пациентам с высоким операционным риском двухэтапная методика ЛИТТ может быть рекомендована как метод выбора.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Целесообразно изучение отдаленных результатов лечения (5-10 лет) и частоты рецидивов после применения ЛИТТ, исследование возможностей фотодинамической терапии в комбинации с ЛИТТ для дополнительного воздействия на опухолевые клетки.

Необходимо комбинирование ЛИТТ с флуоресцентной диагностикой для улучшения визуализации границ опухоли и разработка роботизированных систем для точного позиционирования лазерного световода с исследованием эффективности ЛИТТ при интрамедуллярных опухолях спинного мозга на экспериментальных моделях, миниатюризация лазерного оборудования для расширения возможностей его применения в малоинвазивной хирургии.

Создание обучающих модулей для нейрохирургов по технике применения ЛИТТ, включая симуляционные тренинги.

Дальнейшее проведение многоцентрового рандомизированного исследования.

Ограничения исследования и перспективные направления

Настоящее исследование имеет ряд ограничений:

1. Нерандомизированный дизайн.
2. Относительно небольшой объем выборки (n=60).
3. Ограниченный период наблюдения (до 1 года).
4. Ограничения экспериментальной модели (отсутствие микроциркуляции ТЭФ).

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

Изучение отдаленных результатов;

Разработка роботизированных систем для позиционирования световода;

Исследование возможностей ЛИТТ при других типах спинальных опухолей.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВАШ – визуально-аналоговая шкала

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

КТ – компьютерная томография

ЛИТТ – лазерная интерстициальная термотерапия

МПО – межпозвонковое отверстие

МРТ – магнитно-резонансная томография

МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография

ПЖК – подкожно-жировая клетчатка

РЧА – радиочастотная абляция

СМ – спинной мозг

СМЖ – спинномозговая жидкость

СРХП – стереотаксическая радиохирургия позвоночника

ТМО – твердая мозговая оболочка

ТЭФ – тканеэквивалентный фантом

УЗИ – ультразвуковое исследование

ЭМО – экстрамедуллярные опухоли

CUSA – Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator (ультразвуковой хирургический аспиратор)

CW – Continuous Wave — непрерывная волна (непрерывный режим лазерного воздействия)

ECOG – Eastern Cooperative Oncology Group (шкала функционального статуса)

NSS – Neurological Scoring System (система неврологической оценки)

ODI – Oswestry Disability Index (индекс нарушений жизнедеятельности Освестри)

PW – Pulse Wave – импульсная волна (импульсный режим лазерного воздействия)

SINS – Spine Instability Neoplastic Score (шкала нестабильности позвоночника при неоплазиях)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ отдаленных результатов хирургического лечения пациентов с интрадуральными опухолями спинного мозга / В.А. Бывальцев, И.А. Степанов, Е.Г. Белых [и др.] // Вестник РАМН. – 2018. – Т. 73, № 2. – С. 88–95.

2. Басков, А.В. Техника и принципы хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночника : практическое руководство / А.В. Басков, И.А. Борщенко. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 131 с.

3. Блок-резекция гигантской невриномы грудного отдела позвоночника с использованием трансторакального экстраплеврального доступа: редкое клиническое наблюдение и обзор литературы / И.Ю. Лисицкий, А.В. Лычагин, А.Ю. Заров [и др.] // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2023. – Т. 87, № 1. – С. 84–89.

4. Голанов, А.В. Радиохирургическое лечение нейрохирургических пациентов (к 20-летию нейрорадиохирургии в России) / А.В. Голанов, Д.Ю. Усачев, А. Н. Коновалов // Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко. – 2025. – Т. 89, № 6. – С. 7–15.

5. Голанов, А.В. Стереотаксическое облучение менингиом и неврином спинальной локализации / А. В. Голанов, Н. А. Коновалов, Н. А. Антипина [и др.] // Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко. – 2015. – Т. 79, № 1. – С. 4–13.

6. Григорьев, Г.Б. Интрадуральные экстрамедуллярные опухоли: клинико-диагностическая характеристика и анализ исходов хирургического лечения : дис. канд. мед. наук / Григорьев Г. Б. – Санкт-Петербург, 2023. – 133с.

7. Доброкачественные экстрамедуллярные опухоли спинного мозга на уровне краниовертебрального перехода: систематический обзор / С.В. Капровой, Н.А. Коновалов, Р.А. Оноприенко, И.А. Степанов // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2022. – Т. 86, № 4. – С. 96–103.

8. Евзиков, Г.Ю. Хирургическое лечение интрадуральных экстрамедуллярных спинальных опухолей / Г.Ю. Евзиков, В.Г. Фомичев // Нейрохирургия. – 2004. – № 2. – С. 3–6.

9. Карпищенко, С.А. Экспериментальное исследование термических эффектов диодного лазера с длиной волны 970 нм с целью разработки методики лазерной редукции возвышения перегородки носа (NSB-nasal swell body) / С.А. Карпищенко, М.Ю. Улупов, А.Ф. Гиндрюк // Вестник оториноларингологии. – 2021. – Т. 86, № 4. – С. 54–58.

10. Лазер 1,55 мкм в лечении храпа / М.А. Рябова, С.А. Карпищенко, М.Ю. Улупов, А.Р. Фаизова // Лазерная медицина. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 49–50.

11. Лутков, М. А. Хирургическое лечение гигантской невриномы шейного и грудного отделов позвоночника / М. А. Лутков, А. О. Дубских // Уральский медицинский журнал. – 2018. – № 11. – С. 53–56.

12. Мигрирующая невринома конского хвоста (случай из практики) / Ю.А. Шулёв, В.Л. Рычков, А.В. Трашин [и др.] // Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова. – 2012. – Т. IV, № 1. – С. 76–78.

13. Могила, В.В. Общая характеристика опухолей спинного мозга у взрослых / В.В. Могила, О.В. Волкодав, И.В. Фурсов // Таврический медико-биологический вестник. – 2017. – Т. 20, № 3-1. – С. 120–124.

14. Нейрофиброматоз II типа: новые перспективы в лечении (клиническое наблюдение) / Е.С. Макашова, С.В. Золотова, В.В. Костюченко [и др.] // Нейрохирургия. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 109–118.

15. Новый взгляд на хирургическое лечение «гантелевидных» нейрогенных опухолей пояснично-крестцового отдела позвоночника / А.В. Кудзиев, А.З. Гагиев, С.А. Туранов, А.Ю. Орлов // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 38–46.

16. Одномоментное удаление невриномы правого спинномозгового корешка S1 с экстравертебральным ретроперитонеальным распространением задним срединным и лапароскопическим доступом (клиническое наблюдение) / Д.Н. Панченков, А.А. Каландари, З.А. Абдулкеримов [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2021. – № 6. – С. 86–90.

17. Опыт хирургического лечения больных с опухолями позвоночника и спинного мозга в специализированном стационаре / В.П. Орлов, С.М. Идричан,

М.Н. Кравцов [и др.] // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2014. – Т. 2, № 46. – С. 63–66.

18. Осложнения хирургического удаления опухолей спинного мозга / В.В. Ступак, И.В. Пендюрин, С.В. Мишинов, И.А. Васильев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7-2. – С. 210–216.

19. Поздний рецидив невриномы спинного мозга после одномоментного тотального удаления / И.А. Васильев, В.В. Ступак, С.Б. Цветовский [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 100–105.

20. Предварительные результаты лазерной интерстициальной термотерапии в лечении объемных образований позвоночника / С.А. Туранов, А.В. Иваненко, А.В. Кудзиев [и др.] // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. – 2024. – Т. XVI, № 4. – С. 90–101.

21. Применение биофантомов для оценки термических эффектов лазерного излучения с длинами волн 970 нм и 1560 нм при разных режимах воздействия / О.В. Острейко, М.А. Галкин, Г.В. Папаян [и др.] // Biomedical Photonics. – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 12–22.

22. Применение импульсных режимов лазера с длиной волны 445 нм в фонохирургии / М.А. Рябова, С.А. Карпищенко, М.Ю. Улупов, В.А. Степанова // Лазерная медицина. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 47–48.

23. Применение минимально-инвазивных доступов для удаления интрадуральных экстрамедуллярных опухолей спинного мозга / Н.А. Коновалов, И.Н. Шевелев, А.Г. Назаренко [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2014. – Т. 78, № 6. – С. 24–36.

24. Принципы диагностики и лечения первичных экстрамедуллярных опухолей спинного мозга / А.В. Яриков, А.О. Дубских, И.И. Смирнов [и др.] // Врач. – 2022. – № 11. – С. 27–34.

25. Разработка метода стабилизации позвоночно-двигательного сегмента после поясничной микродискэктомии / В.П. Орлов, О.Н. Озерянская, С.Д. Мирзаметов [и др.] // Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова. – 2021. – Т. XIII, № 1. – С. 35–42.

26. Результаты хирургического лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями типа песочных часов / В. В. Ступак, С. В. Шабанов, И. В. Пендюрин [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2014. – № 4. – С. 65–71.

27. Сегментарный нейрофиброматоз с компрессией спинного мозга на шейном уровне. Обзор литературы и случай из практики / Д. А. Гуляев, И. Ю. Белов, Д. В. Низолин [и др.] // Сибирский онкологический журнал. – 2021. – Т. 20, № 6. – С. 158–163.

28. Скоромец, А.А. Топическая диагностика заболеваний нервной системы / А. А. Скоромец, А. П. Скоромец, Т. А. Скоромец. – Санкт-Петербург: Политехника, 2012. – 623 с.

29. Сороковиков, В.А. Экстрамедуллярные опухоли спинного мозга – подходы к хирургическому лечению / В.А. Сороковиков, А. И. Яруллина // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2015. – № 4. – С. 89–91.

30. Сочетание шванномы и эпендимомы конского хвоста спинного мозга / М. Н. Кравцов, С. Д. Мирзаметов, Г. М. Иванов [и др.] // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2021. – Т. 85, № 2. – С. 75–79.

31. Способ профилактики рецидива менингиомы спинного мозга : № 2240844 / В. В. Ступак, С. Г. Струц, В. А. Сороковиков [и др.] ; патентообладатель Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии : заявл. 10.02.2003 : опубл. 27.11.2004. – 6 с.

32. Способ удаления опухоли спинного мозга типа "песочные часы": Патент № RU 2197305 / В. В. Ступак, Д. В. Ковалев, А. П. Майоров [и др.]; патентообладатель Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии : заявл. 23.01.2001 : опубл. 27.01.2003. – 9 с.

33. Сравнение минимально инвазивного и традиционного хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей краниовертебрального перехода / С.В. Капровой, Н.А. Коновалов, Р.А. Оноприенко [и др.] // Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко. – 2025. – Т. 89, № 5. – С. 64–70.

34. Стереотаксическое облучение новообразований спинальной локализации. Обзор литературы и опыт НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н. Н.

Бурденко Минздрава России. Часть 1: Радиохирургическое лечение доброкачественных первичных опухолей и сосудистых мальформаций спинного мозга и позвоночника / А. В. Голанов, Н. А. Антипина, Е. Р. Ветлова [и др.] // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2023. – Т. 6, № 3. – С. 9–23.

35. Тактика и результаты хирургического лечения пациентов с первичными опухолями позвоночника / А. О. Гуща, Н. А. Коновалов, С. О. Арестов [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т. 12, № 3. – С. 72–82.

36. Факторы, влияющие на исход хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей спинного мозга: мультицентровое исследование / В. А. Бывальцев, В. А. Сороковиков, В. В. Дамдинов [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2014. – Т. 78, № 6. – С. 15–23.

37. Факторы, влияющие на развитие рецидивов и продолженный рост первичных экстрамедуллярных опухолей, удаленных с использованием неодимового лазера / И. А. Елисеенко, С. Г. Струц, В. Л. Лукинов [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 91–100.

38. 30-day postoperative sepsis risk factors following laminectomy for intradural extramedullary tumors / K. Mo, A. Gupta, H. A. Farii [et al.] // Journal of Spine Surgery. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 204.

39. A comparison of spinal laser interstitial thermotherapy with open surgery for metastatic thoracic epidural spinal cord compression / D. C. Almeida Bastos, R. G. Everson, B. F. de Oliveira Santos [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2020. – Vol. 33. – P. 667-675.

40. A novel use of the intraoperative MRI for metastatic spine tumors: laser interstitial thermal therapy for percutaneous treatment of epidural metastatic spine disease / J. G. Thomas, W. N. Al-Holou, D. C. de Almeida Bastos [et al.] // Neurosurgery Clinics of North America. – 2017. – Vol. 28. – P. 513–524.

41. Abbe, R. Spinal surgery – a report of eight cases / R. Abbe. – New York : Trow's Printing and Bookbinding Co., 1890. – 31 p.

42. Ablative Techniques for the Management of Osseous Spine Metastases: A Narrative Review / Z. Pennington, J. M. Morris, A. Elsamadicy [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14, № 18. – P. 6358.

43. Advances in Metastatic Disease Spinal Oncology: Novel Technology Without Forgetting the Fundamentals of Surgical Treatment / H. Jain, R. Ahluwalia, I. Laufer, S. L. Zuckerman // Neurospine. – 2025. – Vol. 22, № 3. – P. 829–845.

44. Amadasu, E. Characterization and Treatment of Spinal Tumors / E. Amadasu, E. Panther, B. Lucke-Wold // Intensive Care Research. – 2022. – Vol. 2, № 3–4. – P. 76–95.

45. Anatomical location dictating major surgical complications for intradural extramedullary spinal tumors: a 10-year single-institutional experience / A. I. Mehta, O. Adogwa, I. O. Karikari [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2013. – Vol. 19, № 6. – P. 701–707.

46. Applications of endoscopic techniques in spinal oncology: a systematic review of the contemporary literature / S. Patel, M. F. Khan, R. Gensler [et al.] // Journal of Clinical Neuroscience. – 2025. – Vol. 136. – P. 111232.

47. Bilsky, M. Surgical approach to epidural spinal cord compression / M. Bilsky, M. Smith // Hematology/Oncology Clinics of North America. – 2006. – Vol. 20, № 6. – P. 1307–1317.

48. C2 neurofibromas in neurofibromatosis type 1: genetic and imaging characteristics / M. Waqar, S. Huson, D. G. Evans [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2018. – Vol. 30, № 1. – P. 126–132.

49. Cavelier, S. Mechanical properties of porcine spinal dura mater and pericranium / S. Cavelier, R. D. Quarrington, C. F. Jones // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2022. – Vol. 126. – P. 105056.

50. Celli, P. Treatment of relevant nerve roots involved in nerve sheath tumors: removal or preservation? / P. Celli // Neurosurgery. – 2002. – Vol. 51, № 3. – P. 684-692.

51. Central Nervous System Metastases: Diagnosis and Treatment. – 2020. – 826 p.

52. Cerebrospinal fluid leakage after intradural spinal surgery in children / E. M. Slot, T. P. van Doormaal, K. M. van Baarsen [et al.] // Child's Nervous System. – 2023. – Vol. 39, № 4. – P. 1013-1019.

53. Cerebrospinal fluid leaks following intradural spinal surgery – Risk factors and clinical management / M. Lenschow, M. Perrech, S. Telentschak [et al.] // Frontiers in Surgery. – 2022. – Vol. 9. – P. 962028.

54. Chang, C. Resection of cervical extra-intraspinal neuromas through the enlarged intervertebral foramen: Results in 34 case series patients / C. Chang, X.-M. Che, M.-G. Zhang// Frontiers in Surgery. – 2023. – Vol. 9. – P. 945857.

55. Chung, A.S. Minimally Invasive Intradural Tumor Resection / A. S. Chung, K. Chang, J. C. Liu // World Neurosurgery. – 2021. – Vol. 145. – P. 243.

56. Clarke, M.J. Cerebrospinal fluid happens / M. J. Clarke, W. E. Krauss // World Neurosurgery. – 2015. – Vol. 83. – P. 308-310.

57. Clinical characteristics and long-term outcomes for patients who undergo cytoreductive surgery for thoracic meningiomas: a retrospective analysis / L. Ampie, M. H. Snyder, J. F. Dominguez [et al.] // Neurosurgical Focus. – 2021. – Vol. 50, № 5. – P. E18.

58. Clinical characteristics and long-term surgical outcome of spinal myxopapillary ependymoma: a French cohort of 101 patients / A. S. Montero, S. Tran, A. Amelot [et al.] // Journal of Neuro-Oncology. – 2021. – Vol. 152, № 3. – P. 491–499.

59. Clinical outcome of intradural extramedullary spinal cord tumors: A single-center retrospective analytical study / P. Patel, D. Mehendiratta, V. Bhambhu [et al.] // Surgical Neurology International. – 2021. – Vol. 12. – P. 145.

60. Cole, J.S. Metastatic epidural spinal cord compression / J. S. Cole, R. A. Patchell // The Lancet Neurology. – 2008. – Vol. 7, № 5. – P. 459–466.

61. Combined use of percutaneous cryoablation and vertebroplasty with 3D rotational angiograph in treatment of single vertebral metastasis: comparison with vertebroplasty / S. Masala, M. Chiocchi, A. Taglieri [et al.] // Neuroradiology. – 2013. – Vol. 55, № 2. – P. 193–200.

62. Comparison of symptomatic cerebral spinal fluid leak between patients undergoing minimally invasive versus open lumbar foraminotomy, discectomy, or laminectomy / A. P. Wong, P. Shih, T. R. Smith [et al.] // World Neurosurgery. – 2014. – Vol. 81. – P. 634-640.

63. Direct decompressive surgical resection in the treatment of spinal cord compression caused by metastatic cancer: a randomised trial / R. A. Patchell, P. A. Tibbs, W. F. Regine [et al.] // The Lancet. – 2005. – Vol. 366, № 9486. – P. 643–648.

64. Elsberg, C. A. Some aspects of the diagnosis and surgical treatment of tumors of the spinal cord: with a study of the end results in a series of 119 operations / C. A. Elsberg // Annals of Surgery. – 1925. – Vol. 81, № 6. – P. 1057–1073.

65. Emerging Issues Questioning the Current Treatment Strategies for Lumbar Disc Herniation / Z. Y. Wan, H. Shan, T. F. Liu [et al.] // Frontiers in Surgery. – 2022. – Vol. 9. – P. 814531.

66. Emerging percutaneous ablative and radiosurgical techniques for treatment of spinal metastases / M. Hadzipasic, A. M. Giantini-Larsen, C. E. Tatsui, J. H. Shin // Neurosurgery Clinics of North America. – 2020. – Vol. 31, № 1. – P. 141–150. –

67. Epidemiological features of spinal intradural tumors, a single-center clinical study in Beijing, China / L. Liu, L. Shi, Y. Su [et al.] // BMC Musculoskeletal Disorders. – 2024. – Vol. 25, № 1. – P. 613.

68. Extended length of stay in open versus minimally invasive surgery with robotic-assisted sub-analysis for spinal nerve sheath tumor resection: a nationwide analysis / T. Khalilullah, A. K. Ghaith, X. Yang [et al.] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – P. 30309.

69. Fachrisal, I. Functional outcome in intradural extramedullary tumor patients: Case series / I. Fachrisal, E. Setiawan, S. S. Alhuraiby // Annals of Medicine and Surgery. – 2020. – Vol. 54. – P. 71–73.

70. Factors predicting clinical impairment after surgery for cervical spinal schwannoma / K. Yamane, T. Takigawa, M. Tanaka [et al.] // Acta Medica Okayama. – 2013. – Vol. 67, № 6. – P. 343–349.

71. Functional outcome after surgical treatment of spinal meningioma / C. Hohenberger, C. Gugg, N. O. Schmidt [et al.] // Journal of Clinical Neuroscience. – 2020. – Vol. 77. – P. 62–66.

72. George, B. Pathology and surgery around the vertebral artery / B. George, M. Bruneau, R. Spetzler. – Paris : Springer, 2011. – 677 p.

73. Giant invasive spinal schwannomas: definition and surgical management / K. Sridhar, R. Ramamurthi, M. C. Vasudevan [et al.] // Journal of Neurosurgery. – 2001. – Vol. 94, № 2 Suppl. – P. 210–215.

74. Gilbert, R.W. Epidural spinal cord compression from metastatic tumor: diagnosis and treatment / R. W. Gilbert, J. H. Kim, J. B. Posner // Annals of Neurology. – 1978. – Vol. 3, № 1. – P. 40–51.

75. Gowers, W.R. A case of tumour of the spinal cord. Removal; Recovery / W. R. Gowers, V. Horsley // Medico-Chirurgical Transactions. – 1888. – Vol. 53. – P. 377–428.

76. Hemilaminectomy for Spinal Cord Intradural Tumors: An Institutional Experience / R. KrishnanKutty, S.B. Sreemathyamma, J.L. Sivanandapanicker [et al.] // Asian Journal of Neurosurgery. – 2018. – Vol. 13, № 3. – P. 760–765.

77. Hemilaminectomy for the removal of the spinal tumors: An analysis of 901 patients / D. Liao, D. Li, R. Wang [et al.] // Frontiers in Neurology. – 2023. – Vol. 13. – P. 1094073.

78. Hernandez, N.S. Feasibility of unilateral hemilaminectomy utilizing a Williams retractor for the resection of intradural-extramedullary spinal neoplasms / N. S. Hernandez, K. M. George, M. Yang // Neurochirurgie. – 2022. – Vol. 68, № 1. – P. 4-10.

79. Incidence and Survival of Patients With Malignant Primary Spinal Cord Tumors: A Population-Based Analysis / H. Liu, L. Duan, Z. Li [et al.] // Neurospine. – 2024. – Vol. 21, № 2. – P. 588–595.

80. Intradural Extramedullary Spinal Metastases from Non-neurogenic Primary Tumors: A Systematic Review / P. Palmisciano, A.L. Chen, M. Sharma [et al.] // Anticancer Research. – 2022. – Vol. 42, № 7. – P. 3251-3259.

81. Intradural spinal tumors: 10-years surgical experience in a single institution / P.D. Guerrero-Suarez, E. Magdaleno-Estrella, P. Guerrero-López [et al.] // Clinical Neurology and Neurosurgery. – 2018. – Vol. 169. – P. 98–102.

82. Intramedullary schwannoma of conus medullaris with syringomyelia / M. Karatay, E. Koktekir, Y. Erdem [et al.] // Asian Journal of Surgery. – 2017. – Vol. 40, № 3. – P. 240–242.

83. Kitov, B. Analysis of characteristics and surgical outcome of intradural extramedullary tumors – a retrospective cohort study of 52 patients / B. Kitov, G. Apostolov, A. Davarski // Folia Medica. – 2022. – Vol. 64, № 4. – P. 609–616.

84. Klekamp, J. Surgery of Spinal Tumors / J. Klekamp, M. Samii. – Heidelberg : Springer Berlin, 2007. – 526 p.

85. Koeller, K.K. Intradural Extramedullary Spinal Neoplasms: Radiologic-Pathologic Correlation / K. K. Koeller, R. Y. Shih // Radiographics. – 2019. – Vol. 39, № 2. – P. 468–490.

86. Kumar, V. Unilateral Hemilaminectomy for the Excision of Intradural Extramedullary Spinal Tumors: A Beginner's Challenges / V. Kumar, A. K. Upadhyay // Turkish Neurosurgery. – 2021. – Vol. 31, № 2. – P. 161–166.

87. Laminectomy versus Unilateral Hemilaminectomy for the Removal of Intraspinal Schwannoma: Experience of a Single Institution and Review of Literature / M. Dobran, R. Paracino, D. Nasi [et al.] // Journal of Neurological Surgery. Part A, Central European Neurosurgery. – 2021. – Vol. 82, № 6. – P. 552-555.

88. Laser interstitial thermal therapy for newly diagnosed and recurrent glioblastoma / J.G. Thomas, G.Rao, Y. Kew [et al.] // Neurosurgical Focus. – 2016. – Vol. 41, № 4. – P. E12.

89. Laser interstitial thermal therapy in the management of brain metastasis and radiation necrosis after radiosurgery: an overview / M. Sharma, S. Balasubramanian, D. Silva [et al.] // Expert Review of Neurotherapeutics. – 2016. – Vol. 16, № 2. – P. 223–232.

90. Laser interstitial thermotherapy (LITT) for the treatment of tumors of the brain and spine: a brief review / C. Chen, I. Lee, C. Tatsui [et al.] // Journal of Neuro-Oncology. – 2021. – Vol. 151, № 3. – P. 429–442.

91. Ledbetter, L.N. Imaging of Intraspinal Tumors / L. N. Ledbetter, J. D. Leever // Radiologic Clinics of North America. – 2019. – Vol. 57, № 2. – P. 341–357.

92. Lessons Learned from a Migratory Intradural Extramedullary Schwannoma: A Case Report with Review of the Literature / V. Aggarwal, C. Maheshwari, A. Narang [et al.] // World Neurosurgery. – 2019. – Vol. 126. – P. 508–512.

93. Local disease control for spinal metastases following "separation surgery" and adjuvant hypofractionated or high-dose single-fraction stereotactic radiosurgery: outcome analysis in 186 patients / I. Laufer, J. B. Iorgulescu, T. Chapman [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2013. – Vol. 18, № 3. – P. 207–214.

94. Long-term surgical outcomes of cervical dumbbell neurinomas / M. Nakamura, A. Iwanami, O. Tsuji [et al.] // Journal of Orthopaedic Science. – 2013. – Vol. 18, № 1. – P. 8–13.

95. Lot, G. Cervical neuromas with extradural components: surgical management in a series of 57 patients / G. Lot, B. George // Neurosurgery. – 1997. – Vol. 41, № 4. – P. 820-822.

96. Management of patients with spine tumor strengthened by a dedicated multidisciplinary spine tumor board: a 15-year single-institutional experience / M. Mann, N. Annable, T. M. Emch [et al.] // World Neurosurgery. – 2023. – Vol. S1878-8750, № 23. – P. 00434-5.

97. Management of spinal meningiomas: surgical results and a review of the literature / M. Setzer, H. Vatter, G. Marquardt [et al.] // Neurosurgical Focus. – 2007. – Vol. 23, № 4. – P. E14.

98. Management of spinal tumors in neurofibromatosis type 2 patients / A. Nowak, T. Dziedzic, T. Czernicki [et al.] // Neurologia i Neurochirurgia Polska. – 2016. – Vol. 50, № 1. – P. 31–35.

99. Metastatic spinal cord compression. Occurrence, symptoms, clinical presentations and prognosis in 398 patients with spinal cord compression / F. Bach, B. H. Larsen, K. Rohde [et al.] // Acta Neurochirurgica. – 1990. – Vol. 107, № 1–2. – P. 37–43.

100. Microsurgical Resection of Intraspinal Benign Tumors Using Non-Expansile Tubular Access / J.A.S. Sánchez, M.E.S. García, S.S. Solís [et al.] // World Neurosurgery. – 2020. – Vol. 133. – P. e97-e104.

101. Minimally invasive paramedian transmuscular approach for intracanal tumors: case series, microsurgical technique and outcomes / M.I. Ocampo-Navia, M. Agudelo-Arrieta, J.A. Sierra-Peña [et al.] // European Spine Journal. – 2026. – Vol. 35. – P. 4329–4341.

102. Minimally Invasive Surgery for Intradural Extramedullary Spinal Tumors: A Comprehensive Review with Illustrative Clinical Cases / M. Pham, K. Chang, J. Liu [et al.] // World Spinal Column Journal. – 2016. – Vol. 7. – P. 84–96.

103. Minimally invasive tubular removal of spinal schwannoma and neurofibroma – a case series of 49 patients and review of the literature / K. Argiti, R. Watzlawick, M. Hohenhaus [et al.] // Neurosurgical Review. – 2024. – Vol. 47, № 1. – P. 418.

104. Minimally invasive versus open surgery for patients undergoing intradural extramedullary spinal cord tumor resection: A systematic review and meta-analysis / A. Helal, Y. U. Yolcu, A. Kamath [et al.] // Clinical Neurology and Neurosurgery. – 2022. – Vol. 214. – P. 107176.

105. Moore-Palhares, D. 30 Gy in 4 stereotactic body radiotherapy (SBRT) fractions for complex spinal metastases: mature outcomes supporting this novel regimen / D. Moore-Palhares, A. Sahgal, K. Liang Zeng [et al.] // Neuro-Oncology Advances. – 2023. – Vol. 5, № 1. – P. vdad087.

106. Moses, Z.B. Benign Intradural and Paraspinal Nerve Sheath Tumors: Advanced Surgical Techniques / Z.B. Moses, O. Barzilai, J.E. O'Toole // Neurosurgery Clinics of North America. – 2020. – Vol. 31, № 2. – P. 221–229.

107. Moshref, R. Intradural Extramedullary Lesions in the Cervical Spine in Neurofibromatosis / R. Moshref, A. Mirdad // American Journal of Case Reports. – 2021. – Vol. 13, № 22. – P. 933090.

108. Multisegmental diffuse intradural extramedullary ependymoma. An extremely rare case / G. Guarnieri, M. Tecame, R. Izzo [et al.] // The Neuroradiology Journal. – 2014. – Vol. 27, № 2. – P. 179-185.

109. Narayan, S. Clinicopathological Study of Intradural Extramedullary Spinal Tumors and Its Correlation With Functional Outcome / S. Narayan, S. V. Rege, R. Gupta // Cureus. – 2021. – Vol. 13, № 6. – P. e15733.

110. Neurofibroma and Meningioma within a Single Dumbbell-Shaped Tumor at the Same Cervical Level without Neurofibromatosis: A Case Report and Literature Review / Z. Zhan, X. Yan, W. Nie [et al.] // World Neurosurgery. – 2019. – Vol. 130. – P. 1–6.

111. Neurological outcome after resection of spinal schwannoma / C. Hohenberger, J. Hinterleitner, N. O. Schmidt [et al.] // Clinical Neurology and Neurosurgery. – 2020. – Vol. 198. – P. 106127.

112. Ohry, A. Charles Albert Elsberg (1871–1948) and his forgotten contributions to the treatment of Spinal Cord Injured patients / A. Ohry // Spinal Cord Series and Cases. – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 77.

113. Onofrio, B. M. Intradural extramedullary spinal cord tumors / B. M. Onofrio // Clinical Neurosurgery. – 1978. – Vol. 25. – P. 540–555.

114. Paraplegia due to Thoracic Mobile Schwannoma after Myelography / A. Honda, Y. Iizuka, T. Mieda [et al.] // Case Reports in Orthopedics. – 2020. – Vol. 14. – P. 6709819.

115. Percutaneous cryoablation and vertebroplasty: a case report / S. Masala, M. Roselli, G. Manenti [et al.] // CardioVascular and Interventional Radiology. – 2008. – Vol. 31, № 3. – P. 669–672.

116. Percutaneous image-guided radiofrequency ablation of painful metastases involving bone: a multicenter study / M. P. Goetz, M. R. Callstrom, J. W. Charboneau [et al.] // Journal of Clinical Oncology. – 2004. – Vol. 22, № 2. – P. 300–306.

117. Percutaneous radiofrequency ablation of painful spinal tumors adjacent to the spinal cord with real-time monitoring of spinal canal temperature: a prospective study / A. Nakatsuka, K. Yamakado, H. Takaki [et al.] // CardioVascular and Interventional Radiology. – 2009. – Vol. 32, № 1. – P. 70–75.

118. Peritoneal metastasis of third ventricular atypical teratoid/rhabdoid tumor after VP shunt implantation for unexplained hydrocephalus / Y. P. Han, Y. Zhao, X. G. He [et al.] // World Journal of Pediatrics. – 2012. – Vol. 8. – P. 367-370.

119. Phase I/II study of stereotactic body radiotherapy for spinal metastasis and its pattern of failure / E. L. Chang, A. S. Shiu, E. Mendel [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2007. – Vol. 7, № 2. – P. 151–160.

120. Posterior Approach for a Ventral Intradural Extramedullary Meningioma / E. Solli, V. Dodson, F. Jumah [et al.] // Operative Neurosurgery (Hagerstown). – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. e50.

121. Postoperative meningitis after spinal surgery: A review of 21 cases from 20,178 patients / T. Y. Lin, W. J. Chen, M. K. Hsieh [et al.] // BMC Infectious Diseases. – 2014. – Vol. 14. – P. 220.

122. Preliminary Review of Spine Tumor Radiologic, Intra-Operative and Histopathology Findings, Addis Ababa, Ethiopia / M. T. Bezu, A. S. Nour, T. G. Tefera [et al.] // Ethiopian Journal of Health Sciences. – 2022. – Vol. 32, Spec Iss 1. – P. 41–46.

123. Primary Benign Tumors of the Spinal Canal / J. A. Carlos-Escalante, Á. A. Paz-López, B. Cacho-Díaz [et al.] // World Neurosurgery. – 2022. – Vol. 164. – P. 178–198.

124. Pure endoscopic minimally invasive surgery with a non expandable tubular retractor for intradural extramedullary spinal tumors / G. Zhang, B. Jia, P. Wang [et al.] // Experimental and Therapeutic Medicine. – 2023. – Vol. 25, № 3. – P. 137.

125. Radiofrequency ablation combined with bone cement injection for the treatment of bone malignancies / A. Nakatsuka, K. Yamakado, M. Maeda [et al.] // Journal of Vascular and Interventional Radiology. – 2004. – Vol. 15, № 7. – P. 707–712.

126. Radiosurgery for spinal metastases: clinical experience in 500 cases from a single institution / P.C. Gerszten, S.A. Burton, C. Ozhasoglu [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2007. – Vol. 32, № 2. – P. 193–199.

127. Ramani, P. S. Textbook on thoracic spine / P. S. Ramani. – New Delhi : Jaypee Brothers Medical Publishers, 2016. – P. 17–33.

128. Resection of cervical spinal neurinoma including affected nerve root: recovery of neurological deficit in 15 cases / T. Miura, K. Nakamura, H. Tanaka [et al.] // Acta Orthopaedica Scandinavica. – 1998. – Vol. 69, № 3. – P. 280-282.

129. Results of spinal fusion after spinal nerve sheath tumor resection / M. Safaee, T. Oh, N.M. Barbaro [et al.] // World Neurosurgery. – 2016. – Vol. 90. – P. 6–13.

130. Results of surgical treatment of cervical dumbbell tumors: surgical approach and development of an anatomic classification system / L. Jiang, Y. Lv, X. G. Liu [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2009. – Vol. 34, № 12. – P. 1307-1314.

131. Risk factors for cerebrospinal fluid leakage after spinal tumor surgery: a systematic review and meta-analysis / M. Yang, J. Huang, Y. Yang [et al.] // Translational Cancer Research. – 2026. – Vol. 15, № 5. – P. 424.

132. Sacrifice of Involved Nerve Root during Surgical Resection of Foraminal and/or Dumbbell Spinal Neurinomas / A. Vandenbulcke, G. F. D'Onofrio, G. Capo [et al.] // Brain Sciences. – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 109.

133. Santos, R. C. Benefits of spinal meningioma resection / R. C. Santos, R. A. Gepp // Surgical Neurology International. – 2018. – Vol. 9. – P. 16.

134. Seppälä, M.T. Long-term outcome after removal of spinal schwannoma: a clinicopathological study of 187 cases / M. T. Seppälä, M.J. Haltia, R. J. Sankila // Journal of Neurosurgery. – 1995. – Vol. 83, № 4. – P. 621-626.

135. Shape Factor of the Spinal Cord: A Possible Predictor of Surgical Outcome for Intradural Extramedullary Spinal Tumors in the Thoracic Spine / Y. Matsumoto, H. Saiwai, K. Iida [et al.] // Global Spine Journal. – 2022. – Vol. 12, № 7. – P. 1462–1467.

136. Single root multiple spinal schwannomas: Case report, treatment strategy and review of literature / A. Fedaravičius, A. Michaeli, V. Diomin [et al.] // International Journal of Surgery Case Reports. – 2020. – Vol. 74. – P. 113-116.

137. Slin'ko, E.I. Intradural ventral and ventrolateral tumors of the spinal cord: surgical treatment and results / E.I. Slin'ko, I.I. Al-Qashqish // Neurosurgical Focus. – 2004. – Vol. 17, № 1. – P. 1–8.

138. Spinal instrumentation length affects adjacent segment range of motion and intradiscal pressure / C. Liebsch, P. Obid, M. Vogt [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 31124.

139. Spinal laser interstitial thermal therapy for treatment of chordoma: single-center experience and literature review / S.V. Jonathan, J.W. Chen, K. Wu [et al.] // Journal of Neuro-Oncology. – 2026. – Vol. 179, № 2. – P. 59.

140. Spinal laser interstitial thermal therapy: a novel alternative to surgery for metastatic epidural spinal cord compression / C. E. Tatsui, S. H. Lee, B. Amini [et al.] // Neurosurgery. – 2016. – Vol. 79, Suppl. 1. – P. S73–S82.

141. Spinal laser interstitial thermal therapy: single-center experience and outcomes in the first 120 cases / D.C.A. Bastos, R.A. Vega, J.I. Traylor [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2020. – Vol. 34, № 3. – P. 354–363.

142. Spinal Meningioma Surgery through the Ages-Single-Center Experience over Three Decades / H.H. Gull, M. Chihi, O. Gembruch [et al.] // Medicina (Kaunas). – 2022. – Vol. 28, № 58(11). – P. 1549.

143. Spinal metastases: from conventional fractionated radiotherapy to single-dose SBRT / C. Greco, O. Pares, N. Pimentel [et al.] // Reports of Practical Oncology and Radiotherapy. – 2015. – Vol. 20, № 6. – P. 454–463.

144. Spinal pseudomeningocele closure: capsulofascial interposition technique / J.J. Ng, J.D. Blum, D.Y. Cho [et al.] // Child's Nervous System. – 2023. – Vol. 39, № 4. – P. 1045-1049.

145. Spinal schwannoma causes acute subarachnoid haemorrhage: A case report and literature review / P. Chen, Y. Guo, R. Huang [et al.] // Neurochirurgie. – 2021. – Vol. 67, № 5. – P. 495–499.

146. Stereotactic Radiosurgery for Postoperative Spine Malignancy: A Systematic Review and International Stereotactic Radiosurgery Society Practice Guidelines / S.

Faruqi, H. Chen, L. Fariselli [et al.] // Practical Radiation Oncology. – 2022. – Vol. 12, № 2. – P. 65–78.

147. Stereotactic radiosurgery for spinal metastases from renal cell carcinoma / P. C. Gerszten, S. A. Burton, C. Ozhasoglu [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2005. – Vol. 3, № 4. – P. 288–295.

148. Subtotal resection of cervical dumbbell schwannomas: radiographic predictors for surgical considerations / S. M. Ryu, S. K. Kim, J. H. Park [et al.] // World Neurosurgery. – 2019. – Vol. 121. – P. 661–669.

149. Surgery of spinal nerve schwannoma. Risk of neurological deficit after resection of involved root / P. Kim, M.J. Ebersold, B.M. Onofrio [et al.] // Journal of Neurosurgery. – 1989. – Vol. 71, № 6. – P. 810-814.

150. Surgical management of solitary nerve sheath tumors of the cervical spine: a retrospective case analysis based on tumor location and extension / J. Abe, T. Takami, K. Naito [et al.] // Neurologia Medico-Chirurgica (Tokyo). – 2014. – Vol. 54, № 11. – P. 924-929.

151. Surgical Management of Spinal Meningiomas: Focus on Unilateral Posterior Approach and Anterior Localization / J. Onken, K. Obermüller, F. Staub-Bartelt [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2018. – Vol. 30, № 3. – P. 308–313.

152. Surgical management of spinal schwannomas arising from the first and second cervical roots: results of a cumulative case series / F. Corrivetti, R. Roperto, R. Sufianov [et al.] // Journal of Craniovertebral Junction and Spine. – 2023. – Vol. 14, № 4. – P. 426–432.

153. Systematic Review Comparing Open Versus Minimally Invasive Surgical Management of Intradural Extramedullary Tumours (IDEM) / A. B. Mirza, A. Georgiannakis, F. Fayez [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14, № 5. – P. 1671.

154. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary / D.N. Louis, A. Perry, P. Wesseling [et al.] // Neuro-Oncology. – 2021. – Vol. 23, № 8. – P. 1231–1251.

155. The Epidemiology of Brain and Spinal Cord Tumors / P. Shobeiri, H. Seyedmirzaei, A. H. Kalantari [et al.] // Adv Exp Med Biol. - 2023. – Vol. 1394. – P. 19–39.

156. The NOMS framework: approach to the treatment of spinal metastatic tumors / I. Laufer, D. G. Rubin, E. Lis [et al.] // The Oncologist. – 2013. – Vol. 18, № 6. – P. 744–751.

157. The Optimal Surgical Approach to Intradural Spinal Tumors: Laminectomy or Hemilaminectomy? / A. Goodarzi, J. Clouse, T. Capizzano [et al.] // Cureus. – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. e7084.

158. Tomasian, A. Spine metastases: thermal ablation and augmentation / A. Tomasian, J. W. Jennings // Skeletal Radiology. – 2023. – Vol. 52, № 10. – P. 1921–1928.

159. Transforaminal Resection of Cervical Dumbbell Schwannomas in Patients with Additional Tumors / J. Zhang, X.H. Zhang, Z.F. Wang [et al.] // World Neurosurgery. – 2017. – Vol. 98. – P. 768–773.

160. Tumialán, L. M. Anatomic Basis for Minimally Invasive Resection of Intradural Extramedullary Lesions in Thoracic Spine / L. M. Tumialán, N. Theodore, M. Narayanan // World Neurosurgery. – 2018. – Vol. 109. – P. 770–777.

161. Unilateral partial hemi-laminectomy for the removal of extra- and intramedullary tumours and AVMs / M. G. Yasargil, B. I. Tranmer, T. E. Adamson [et al.] // Advances and Technical Standards in Neurosurgery. – 1991. – Vol. 18. – P. 113–132.

162. Utilization of laser interstitial thermotherapy guided by realtime thermal MRI as an alternative to separation surgery in the management of spinal metastasis / C. E. Tatsui, R. J. Stafford, J. Li [et al.] // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2015. – Vol. 23, № 4. – P. 400–411.

163. Weber, C. Health care costs of incidental durotomies and postoperative cerebrospinal fluid leaks after elective spinal surgery / C. Weber, J. Piek, D. Gunawan // European Spine Journal. – 2015. – Vol. 24. – P. 2065-2068.

164. Xu, X. CT and MRI presentation of intradural epidural angiolipoma of the thoracic spinal canal (with a case report) / X. Xu, H. Chen, F. Chen // Radiology Case Reports. – 2023. – Vol. 18, № 5. – P. 1721–1726.

165. Zheng, G. B. Diagnostic value of MRI in coexistence of schwannoma and meningioma mimicking a single dumbbell-shaped tumor in high cervical level. Case series and literature review / G. B. Zheng, Z. H. Hong, Z. Wang // Journal of Spinal Cord Medicine. – 2023. – Vol. 46, № 2. – P. 326–331.

Приложение А

Таблица А.1 – Параметры лазерного воздействия в разных режимах генерации

Группа	Доза (Дж.)	Температура исходная	Температура 30 сек	Температура 60 сек	Температура 90 сек	Температура 120 сек	Температура 150 сек	Температура 180 сек	S внутренняя	S внешняя	ΔS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
доза			60	120	180	240	300	360			
непрерывный 2 Вт	360	25,2	36,2	43,3	47,8	50,7	52,3	54,3	1,97	2,99	1,0
непрерывный 2 Вт	360	25,5	25	33,2	38,7	42,2	43,7	46,2	0,98	2,66	1,7
непрерывный 2 Вт	360	26,5	49,6	59,4	62,5	65,4	67,4	68	2,63	4,63	2,0
непрерывный 2 Вт	360	26	43,2	52,1	54,1	57	58,3	61,7	2,04	6,86	4,8
непрерывный 2 Вт	360	24	38,5	47,7	59,1	63,9	66,7	69,7	2,5	5,95	3,5
среднее		25,5	38,5	47,2	52,4	55,8	57,7	60,0	2,0	4,6	2,6
дельта		0,9	13,0	21,7	27,0	30,4	32,2	34,5			
медиана								61,7	2,0	4,6	2,0
медиана(мин)								46,1	1,0	2,7	1,0
медиана(макс)								69,7	2,6	6,9	4,8
доза			90	180	270	360	450	540			
непрерывный 3 ВТ	540	26	66,5	87,8	111	148	150	150	4,51	8,8	4,3

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
непрерывный 3 Вт	540	29	65,6	74,6	81,4	88,9	96	104	5,77	12,32	6,6
непрерывный 3 ВТ	540	25	45,7	56,4	60,1	62,9	64,3	67,2	3,83	6,57	2,7
непрерывный 3 ВТ	540	26,5	52,4	66,3	74	81,7	83,5	87,9	6,4	14,3	7,9
непрерывный 3 ВТ	540	24,2	39,4	48,7	57,4	63,7	65,8	66,6	5,8	9,05	3,3
среднее		26,14	53,92	66,76	76,78	89,04	91,92	95,14	5,262	10,208	4,9
дельта			27,78	40,62	50,64	62,9	65,78	69			
медиана		26	52,4	66,3	74	81,7	83,5	87,9	5,77	9,05	4,29
медиана(мин)		24,2	39,4	48,7	57,4	62,9	64,3	66,6	3,83	6,57	2,74
медиана(макс)		29	66,5	87,8	111	148	150	150	6,4	14,3	7,9
доза			120	240	360	480	600	720			
непрерывный 4 Вт	720	28,1	31,8	37,3	42,4	63	89	150	5,91	11,45	5,5
непрерывный 4 Вт	720	28,6	30,7	38	59	78	98	150	6,8	10,65	3,9
непрерывный 4 Вт	720	25	67,1	80,4	84,1	92,4	106	122	4,97	18,35	13,4
непрерывный 4 Вт	720	26	61,2	74,7	84,9	90,8	99	104	5,3	28,7	23,4
непрерывный 4 Вт	720	24	57,3	72,3	78,7	80,9	83,4	85,3	5,73	12,79	7,1
среднее		26,34	49,62	60,54	69,82	81,02	95,08	122,26	5,742	16,388	10,6
дельта			23,28	34,2	43,48	54,68	68,74	95,92			
медиана								122	5,73	12,79	7,1
медиана(мин)								85,3	4,97	10,65	3,85
медиана(макс)								150	6,8	28,7	23,4

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Доза			150	300	450	600	750	900			
непрерывный 5 Вт	900	25,0	70,0	91,0	103,0	109,0	112,0	131,0	10,8	18,9	8,1
непрерывный 5 Вт	900	26	45	77	89	101	98	150	6,51	15,4	8,9
непрерывный 5 Вт	900	25,1	80,9	122	150	150	150	150	9,09	23,73	14,6
непрерывный 5 Вт	900	26	86,6	86,7	85,3	87,2	82,5	85,5	15,11	24,2	9,1
непрерывный 5 Вт	900	23,5	68	79,8	88,1	101	119	139	14,5	21,9	7,4
среднее		25,1	70,1	91,3	103,1	109,6	112,3	131,1	11,2	20,8	9,6
дельта			45,0	66,2	78,0	84,5	87,2	106,0			
медиана								139,0	10,8	21,9	8,9
медиана(мин)								85,5	6,5	15,4	7,4
медиана(макс)								150,0	15,1	24,2	14,6
доза			180	360	540	720	900	1080			
непрерывный 6 Вт	1080	27,9	61	79	88	103	134	150	16,6	20,7	4,1
непрерывный 6 Вт	1080	27,7	56	68	70,3	88	150	150	15	21	6,0
непрерывный 6 Вт	1080	28,4	111	150	150	150	150	150	13,58	23,09	9,5
непрерывный 6 Вт	1080	24	69,5	73,4	74,9	87,8	93,7	86,3	15,8	25,61	9,8
непрерывный 6 Вт	1080	23	68,1	77,8	91,2	107	137	150	14,9	19,7	4,8
среднее		26,2	73,12	89,64	94,88	107,16	132,94	137,26	15,176	22,02	6,8
дельта			46,92	63,44	68,68	80,96	106,74	111,06			

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
медиана								150	15	21	6
медиана(мин)								86,3	13,58	19,7	4,1
медиана(макс)								150	16,6	25,61	9,81
доза			30	60	90	120	150	180			
импульсный 500/500 2Вт	180	24	39,3	44,2	47,5	48,5	49,7	50,6	2,81	4,4	1,6
импульсный 500/500 2Вт	180	25,6	36,2	44,3	53,4	55,8	56,6	58	2,81	4,4	1,6
импульсный 500/500 2Вт	180	23	32,1	37,4	40,3	42,4	43,8	44,6	0,17	1,05	0,9
импульсный 500/500 2Вт	180	24,2	35,9	42,0	47,1	48,9	50,0	51,1	1,9	3,3	1,4
среднее		24,2	35,9	42,0	47,1	48,9	50,0	51,1	1,9	3,3	1,4
дельта			11,7	17,8	22,9	24,7	25,8	26,9			
медиана								50,8	2,4	3,8	1,5
медиана(мин)								44,6	0,2	1,1	0,9
медиана(макс)								58,0	2,8	4,4	1,6
доза			45	90	135	180	225	270			
импульсный 500/500 3 Вт	270	24	47,2	54,7	62,2	67,3	77,3	81,5	4,65	9,64	5,0
импульсный 500/500 3 Вт	270	25,2	47,7	55,5	61,8	67,8	74,3	80,9	4,65	9,64	5,0
импульсный 500/500 3 Вт	270	24	31,8	41,5	45,7	48,9	51,2	54,5	5,63	7,96	2,3
импульсный 500/500 3 Вт	270	24,4	42,2	50,6	56,6	61,3	67,6	72,3	5,0	9,1	4,1
среднее		24,4	42,2	50,6	56,6	61,3	67,6	72,3	5,0	9,1	4,1

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дельта			17,8	26,2	32,2	36,9	43,2	47,9			
медиана								76,6	4,8	9,4	4,5
медиана(мин)								54,5	4,7	8,0	2,3
медиана(макс)								81,5	5,6	9,6	5,0
доза			60	120	180	240	300	360			
импульсный 500/500 4 Вт	360	25	50,1	60,6	64,9	69,8	76,3	83,3	5,81	15,76	10,0
импульсный 500/500 4 Вт	360	25	51,4	67,5	73,2	81,4	94,2	106	5,81	15,76	10,0
импульсный 500/500 4 Вт	360	24	52,9	60,7	65,5	68,7	72,9	75,3	4,96	11,24	6,3
импульсный 500/500 4 Вт	360	24,0	51,0	62,0	67,0	73,0	81,1	88,2	5,5	14,3	8,7
среднее		24,5	51,4	62,7	67,7	73,2	81,1	88,2	5,5	14,3	8,7
дельта			26,9	38,2	43,2	48,7	56,6	63,7			
медиана		24,5	51,2	61,4	66,3	71,4	78,7	85,8	5,7	15,0	9,3
медиана(мин)		24,0	50,1	60,6	64,9	68,7	72,9	75,3	5,0	11,2	6,3
медиана(макс)		25,0	52,9	67,5	73,2	81,4	94,2	106,0	5,8	15,8	10,0
доза			75	150	225	300	375	450			
импульсный 500/500 5 Вт	450	25,5	57,1	65,8	73,3	82	98,1	121	4,16	13,84	9,7
импульсный 500/500 5 Вт	450	25	76,6	80,9	80	76,3	78,7	81	4,16	13,84	9,7
импульсный 500/500 5 Вт	450	24	60	70	77,7	89,1	97,4	106	6,98	16,6	9,6
импульсный 500/500 5 Вт	450	24,8	64,5	72,2	77,0	82,4	91,4	102,0	5,1	14,8	9,7
среднее		24,8	64,6	72,2	77,0	82,5	91,4	102,5	5,1	14,8	9,7
дельта			39,7	47,4	52,2	57,6	66,6	77,7			

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
медиана								104,0	4,6	14,3	9,7
медиана(мин)								81,0	4,2	13,8	9,6
медиана(макс)								121,0	7,0	16,6	9,7
доза			90	180	270	360	450	540			
импульсный 500/500 6 Вт	540	23,9	57	74,4	79,7	84,4	86,4	87,9	7,29	16,58	9,3
импульсный 500/500 6 Вт	540	25	59,5	72,5	78,5	83,1	89,1	92,6	7,29	16,58	9,3
импульсный 500/500 6 Вт	540	24	66,8	79,5	88,3	105	117	145	9,98	21,57	11,6
импульсный 500/500 6 Вт	540	24,3	61,1	75,5	82,2	90,8	97,5	108,5	8,2	18,2	10,1
среднее		24,3	61,1	75,5	82,2	90,8	97,5	108,5	8,2	18,2	10,1
дельта			36,8	51,2	57,9	66,5	73,2	84,2			
медиана								100,6	7,7	17,4	9,7
медиана(мин)								87,9	7,3	16,6	9,3
медиана(макс)								145,0	10,0	21,6	11,6
доза			35	71	106	141	176	212			
импульсный 1000/700 2 Вт	211	25	45,9	55,5	58,6	62,9	67	69	3,14	7,33	4,2
импульсный 1000/700 2 Вт	211	24	33,8	40,1	45,3	49,8	50,9	51,9	1,98	7,76	5,8
импульсный 1000/700 2 Вт	211	24	33,2	33,8	36,6	38,3	40,1	40,8	3,13	9,53	6,4
импульсный 1000/700 2 Вт	211	24	37	43	46	50	52	53	2,75	8,21	5,5
среднее		24,25	37,48	43,10	46,63	50,25	52,50	53,68	2,75	8,21	5,5
дельта			13,23	18,85	22,38	26,00	28,25	29,43			
медиана								52,45	2,94	7,98	5,62

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
медиана(мин)								40,80	1,98	7,33	4,19
медиана(макс)								69,00	3,14	9,53	6,40
доза			53	106	159	212	265	318			
импульсный 1000/700 3 Вт	318	26,5	35,6	48,6	54,1	46,5	68,5	89,6	4,41	10,8	6,4
импульсный 1000/700 3 Вт	318	26,3	42,8	56	61,7	63,1	64,7	67,9	6,09	13,5	7,4
импульсный 1000/700 3 Вт	318	24,9	40,4	48,3	52,5	55,9	57,7	58,5	6,53	12,3	5,8
импульсный 1000/700 3 Вт	318	25,9	39,6	48,3	52,8	55,2	57,0	58,7	5,7	12,2	6,5
среднее		25,9	39,6	50,3	55,3	55,2	62,0	68,7	5,7	12,2	6,5
дельта			13,7	24,4	29,4	29,3	36,1	42,8			
медиана								63,3	5,9	12,3	6,5
медиана(мин)								58,5	4,4	10,8	5,8
медиана(макс)								89,6	6,5	13,5	7,4
доза			71	141	212	282	353	424			
импульсный 1000/700 4 Вт	424	26	43,3	51,4	54,4	59,3	60,9	67	6,11	14,97	8,9
импульсный 1000/700 4 Вт	424	24	51,5	60,6	65,4	71,9	76,8	73,2	8,3	18,6	10,3
импульсный 1000/700 4 Вт	424	24,6	48,9	57,7	62,4	63,6	64,9	69,9	7,58	15,19	7,6
импульсный 1000/700 4 Вт	424	24,9	54,6	66,6	74,1	78,3	86,9	76,0	7,3	16,3	8,9
среднее		24,9	49,6	59,1	64,1	68,3	72,4	71,5	7,3	16,3	8,9
дельта			24,7	34,2	39,2	43,4	47,5	46,7			
медиана								71,6	7,5	15,7	8,9
медиана(мин)								67,0	6,1	15,0	7,6

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
медиана(макс)								76,0	8,3	18,6	10,3
доза			88	176	265	353	441	529			
импульсный 1000/700 5 Вт	530	25,3	36,1	43,3	47,8	50,7	52,3	54,3	6,37	18,33	12,0
импульсный 1000/700 5 Вт	530	25,5	25,0	33,3	38,6	42,2	43,8	46,1	8,8	17,9	9,1
импульсный 1000/700 5 Вт	530	24,6	52,2	58,6	63,3	65,5	68,1	68,6	9,01	19,7	10,7
импульсный 1000/700 5 вт	530	22,2	49,9	56,6	61,0	65,1	68,2	70,7	9,7	21,3	11,6
импульсный 1000/700 5 вт	530	20	58,3	64,1	67,9	74,2	78	150	6,9	15,8	8,9
импульсный 1000/700 5 вт	530	20	63,5	68,4	71,1	74,9	77,4	79,8	7,5	18,9	11,4
среднее		22,9	47,5	54,0	58,3	62,1	64,6	78,2	8,0	18,7	10,7
дельта			24,6	31,1	35,3	39,2	41,7	55,3			
медиана		23,4	51,0	57,6	62,2	65,3	68,1	69,6	8,0	18,7	10,7
медиана(мин)		20,0	25,0	33,3	38,6	42,2	43,8	46,1	6,4	15,8	8,9
медиана(макс)		25,5	63,5	68,4	71,1	74,9	78,0	150,0	9,7	21,3	12,0
доза			106	212	318	424	529	635			
импульсный 1000/700 6 Вт	636	23	56	82	88	98	101	111	9,1	22,8	13,7
импульсный 1000/700 6 Вт	636	26	55	77	80	99	121	150	5,61	22,35	16,7
импульсный 1000/700 6 Вт	636	25	66,6	78,6	88,6	101	132	150	6,7	21,1	14,4
импульсный 1000/700 6 Вт	636	24,5	52,3	62	65,4	70,6	75,1	78	6,83	23,47	16,6
среднее		24,625	57,475	74,9	80,5	92,15	107,275	122,25	7,06	22,43	15,4

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дельта			32,85	50,275	55,875	67,525	82,65	97,625			
медиана								130,5	6,765	22,575	15,52
медиана(мин)								78	5,61	21,1	13,7
медиана(макс)								150	9,1	23,47	16,74

Таблица А.2 – Изменение температуры в разных режимах генерации

группа	параметр	Интервал измерения температуры (сек.) Исход-ный	30	60	90	120	150	180
1	2	3	4	5	6	7	8	0
CW 2 Вт	Доза излучения Дж	0	60	120	120	240	300	360
	Температура (M±SD)°C	(25,5±0,9)	(38,5±9,1)	(47,2±9,8)	(52,4±9,5)	(55,8±9,6)	(55,8±9,6)	(60,0±9,8)
CW 3 Вт	Доза излучения Дж	0	90	180	270	360	450	540
	Температура (M±SD)°C	(26,14±1,83)	(53,92±11,99)	(66,76±15,31)	(76,78±21,53)	(89,04±34,84)	(91,92±35,02)	(95,14±34,41)
CW 4 Вт	Доза излучения Дж	0	120	240	360	480	600	720
	Температура (M±SD)°C	(26,34±1,97)	(49,62±17,13)	(60,54±21,1)	(69,82±18,57)	(81,02±11,82)	(95,08±8,9)	(122,26±28,45)
CW 5 Вт	Доза излучения Дж	0	150	300	450	600	750	900
	Температура (M±SD)°C	(25,1±1,02)	(70,1±15,99)	(91,3±18,03)	(103,1±27,11)	(109,6±23,89)	(112,3±25,29)	(131,1±27,62)
CW 6 Вт	Доза излучения Дж	0	180	360	540	720	900	1080
	Температура (M±SD)°C	26,2	73,12	89,64	94,88	107,16	132,94	137,26

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	0
PW 500/500 2 Вт	Доза излучения Дж	0	30	60	90	120	150	180
	Температура (M±SD)°C	(24,2±1,1)	(35,9±2,9)	(42,0±3,2)	(47,1±5,4)	(48,9±5,5)	(50,0±5,2)	(51,1±5,5)
PW 500/500 3 Вт	Доза излучения Дж	0	45	90	135	180	225	270
	Температура (M±SD)°C	(24,4±0,6)	(42,2±7,4)	(50,6±6,4)	(56,6±7,7)	(61,3±8,8)	(67,6±11,7)	(72,3±12,6)
PW 500/500 4 Вт	Доза излучения Дж	0	60	120	180	240	300	360
	Температура (M±SD)°C	(24,5±0,6)	(51,4±1,2)	(62,7±3,3)	(67,7±3,8)	(73,2±5,7)	(81,1±9,3)	(88,2±13,0)
PW 500/500 5 Вт	Доза излучения Дж	0	75	150	225	300	375	450
	Температура (M±SD)°C	(24,8±0,6)	(64,6±8,6)	(72,2±6,4)	(77,0±2,8)	(82,5±5,2)	(91,4±9,0)	(102,5±16,5)
PW 500/500 6 Вт	Доза излучения Дж	0	90	180	270	360	450	540
	Температура (M±SD)°C	(24,3±0,5)	(61,1±4,2)	(75,5±3)	(82,2±4,4)	(90,8±10)	(97,5±13,8)	(108,5±25,9)
PW 1000/ 700 2 Вт	Доза излучения Дж	0	35	71	106	141	176	212
	Температура (M±SD)°C	(24,25±0,5)	(37,48±5,86)	(43,10±9,12)	(46,63±9,06)	(50,25±10,05)	(52,50±11,06)	(53,68±11,61)
PW 1000/ 700 3 Вт	Доза излучения Дж	0	53	106	159	212	265	318
	Температура (M±SD)°C	(25,9±0,7)	(39,6±3)	(50,3±3,8)	(55,3±4,3)	(55,2±6,8)	(62,0±5,6)	(68,7±14,6)
PW 1000/ 700 4 Вт	Доза излучения Дж	0	71	141	212	282	353	424
	Температура (M±SD)°C	(24,9±0,8)	(49,6±4,8)	(59,1±6,3)	(64,1±8,1)	(68,3±8,5)	(72,4±11,8)	(71,5±3,9)
PW 1000/ 700 5 Вт	Доза излучения Дж	0	88	176	265	353	441	529
	Температура (M±SD)°C	(22,9±2,55)	(47,5±14,4)	(54,0±13,27)	(58,3±12,55)	(62,1±13,08)	(64,6±13,8)	(78,2±37,17)
PW 1000/ 700 6 Вт	Доза излучения Дж	0	106	212	318	424	529	635
	Температура (M±SD)°C	(24,625±1,25)	(57,47±6,28)	(74,9±8,85)	(80,5±10,8)	(92,15±14,42)	(107,27±25)	(122,25±34,76)

Таблица А.3 Площади коагуляционных зон

Группа	S внутренняя, мм^2. M(Min-Max)	S внешняя, мм^2. M(Min-Max)	ΔS, мм^2. M (Min-Max)
CW 2 Вт	2 (1,0-2,6)	4,6 (2,7-6,9)	2,0 (1,0-4,8)
CW 3 Вт	5,77 (3,83-6,4)	9,05 (6,57-14,3)	4,29 (2,74-7,9)
CW 4 Вт	5,73 (4,97-6,8)	12,79 (10,65- 28,7)	7,1 (3,85- 23,4)
CW 5 Вт	10,8 (6,5- 15,1)	21,9 (15,4-24,2)	8,9 (7,4-14,6)
CW 6 Вт	15 (13,58-16,6)	21 (19,7-25,61)	6 (4,1-9,81)
PW 500/500 2 Вт	2,4 (0,2-2,8)	3,8 (1,1-4,4)	1,5 (0,9-1,6)
PW 500/500 3 Вт	4,8 (4,7-5,6)	9,4 (8,0-9,6)	4,5 (2,3-5,0)
PW 500/500 4 Вт	5,7 (5,0-5,8)	15 (11,2-15,8)	9,3 (6,3-10,0)
PW 500/500 5 Вт	4,6 (4,2-7,0	14,3 (13,8-16,6	9,7 (9,6-9,7
PW 500/500 6 Вт	7,7 (7,3-10,0)	17,4 (16,6-21,6)	9,7 (9,3-11,6)
PW 1000/ 700 2 Вт	2,94 (1,98-3,14)	7,98 (7,33-9,53)	5,62 (4,19-6,40)
PW 1000/ 700 3 Вт	5,9 (4,4-6,5)	12,3 (10,8-13,5)	6,5 (5,8-7,4)
PW 1000/ 700 4 Вт	7,5 (6,1-8,3)	15,7 (15,0-18,6)	8,9 (7,6-10,3)
PW 1000/ 700 5 Вт	8,2 (6,4-9,7)	18,3 (15,8-21,3)	10,7 (8,9-12,0)
PW 1000/ 700 6 Вт	6,765 (5,61-9,1)	22,575 (21,1-23,47)	15,52 (13,7-16,74)

УТВЕРЖДАЮ
Главный врач ГУЗ
«Краевая детская клиническая больница»
Комаров Владимир Владимирович

26 03 2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
Результатов научно-исследовательской работы

Название предложения для внедрения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Автор предложения: Туранов Семён Александрович, аспирант кафедры нейрохирургии ИМО «НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ

Название темы исследования, при выполнении которого сделано предложение: «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Предложение усовершенствует алгоритм лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Форма внедрения: предложение реализовано в сфере практического здравоохранения, медицинской науки в виде докладов и обучения специалистов

Уровень внедрения: местный

Наименование учреждения и его подразделения, где данное предложение используется: ГУЗ Краевая детская клиническая больница, нейрохирургическое отделение

Краткое заключение об эффективности, пользе предложения: применение результатов проведенного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент.

Заведующий нейрохирургическим отделением Титарев Д.Ю.

УТВЕРЖДАЮ
И.о. ректора Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Тихоокеанский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской федерации
д.м.н., профессор К.В. Стегний

«___»_____2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
В учебный процесс
результатов диссертационной работы аспиранта кафедры нейрохирургии ИМО
«НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ
Туранова Семёна Александровича
На тему «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Наименование предложения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Краткая аннотация: исследование направлено на усовершенствование алгоритма персонифицированного хирургического лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии. Проанализированы ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения пациентов, прооперированных с использованием традиционных и оригинальных методов, на основании динамики неврологического и функционального статуса, интраоперационных показателей, послеоперационной лучевой диагностики

Эффект от внедрения: применение результатов проведенного диссертационного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Место внедрения: Институт клинической неврологии и реабилитационной медицины ФГБОУ ВО «ТГМУ» Минздрава России

Форма внедрения: обучение в ординатуре, обучение специалистов (неврологи, нейрохирурги) на циклах профессиональной переподготовки, общего и тематического усовершенствования (при проведении лекций, практических занятий и семинаров) по теме: Опухоли спинного мозга.

Председатель:
Директор института клинической неврологии и
реабилитационной медицины ФГБОУ ВО «ТГМУ» МЗ РФ
кандидат медицинских наук Шестопалов Е.Ю.

Члены комиссии:
Доцент института клинической неврологии и
реабилитационной медицины ФГБОУ ВО «ТГМУ» МЗ РФ
кандидат медицинских наук Лантух А.В.

Доцент института клинической неврологии и
реабилитационной медицины ФГБОУ ВО «ТГМУ» МЗ РФ
кандидат медицинских наук Иванов Д.С.

УТВЕРЖДАЮ
Главный врач СПб ГБУЗ
«Елизаветинская больница»
профессор, д.м.н. Петров С.В.

«30» января 2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
Результатов научно-исследовательской работы

Название предложения для внедрения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Автор предложения: Туранов Семён Александрович, аспирант кафедры нейрохирургии ИМО «НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ

Название темы исследования, при выполнении которого сделано предложение: «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Предложение усовершенствует алгоритм лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Форма внедрения: предложение реализовано в сфере практического здравоохранения, медицинской науки в виде докладов и обучения специалистов

Уровень внедрения: местный

Наименование учреждения и его подразделения, где данное предложение используется: Санкт-Петербургское Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская больница Святой преподобномученицы Елизаветы»

Краткое заключение об эффективности, пользе предложения: применение результатов проведенного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент.

Заместитель главного врача
по хирургии, к.м.н. Чернышев Д.А.

Заведующий нейрохирургическим
отделением №1 Хубежев В.В.

Заведующий нейрохирургическим
отделением №2, к.м.н. Щербинин А.В.

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института медицинского образования
ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ
д.м.н. профессор А.М. Чармон
04 2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
В учебный процесс
Кафедры нейрохирургии с клиникой Института медицинского образования ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ результатов работы аспиранта кафедры нейрохирургии ИМО «НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ
Туранова Семёна Александровича
На тему «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Наименование предложения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Краткая аннотация: исследование направлено на усовершенствование алгоритма персонифицированного хирургического лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии. Проанализированы ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения пациентов, прооперированных с использованием традиционных и оригинальных методов, на основании динамики неврологического и функционального статуса, интраоперационных показателей, послеоперационной лучевой диагностики

Эффект от внедрения: применение результатов проведенного диссертационного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Место внедрения: кафедра нейрохирургии с клиникой Института медицинского образования ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ

Форма внедрения: обучение в ординатуре, обучение специалистов (неврологи, нейрохирурги) на циклах профессиональной переподготовки, общего и тематического усовершенствования (при проведении лекций, практических занятий и семинаров) по теме: Опухоли спинного мозга.

Председатель:
Заведующий кафедрой нейрохирургии с клиникой
Института медицинского образования
ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ
Доктор медицинских наук, профессор Улитин А.Ю

Члены комиссии:
Заведующая учебной частью кафедры нейрохирургии
с клиникой Института медицинского образования
ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ
Кандидат медицинских наук, доцент Василенко А.В.

Доцент кафедры нейрохирургии с клиникой
Института медицинского образования
ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ
Кандидат медицинских наук Петров А.Е.

Зам. директора ИМО
по учебной и методич. работе Кухарчик Г.А.

УТВЕРЖДАЮ
Директор «РНХИ им. Проф. А.Л.Поленова»
(филиал ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова»)
д.м.н., проф. РАН К.А. Самочерных

«4» 04 2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
Результатов научно-исследовательской работы

Название предложения для внедрения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Автор предложения: Туранов Семён Александрович, аспирант кафедры нейрохирургии ИМО «НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ

Название темы исследования, при выполнении которого сделано предложение: «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Предложение усовершенствует алгоритм лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Форма внедрения: предложение реализовано в сфере практического здравоохранения, медицинской науки в виде докладов и обучения специалистов

Уровень внедрения: местный

Наименование учреждения и его подразделения, где данное предложение используется: нейрохирургическое отделение №1 РНХИ им. А.Л. Поленова- филиал НМИЦ им. В.А. Алмазова

Краткое заключение об эффективности, пользе предложения: применение результатов проведенного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент.

Заведующий 1 нейрохирургическим отделением
РНХИ им. Проф. А.Л.Поленова
(филиал НМИЦ им. В.А. Алмазова) Назаров А.С.

УТВЕРЖДАЮ
Главный врач ООО «Алтайр»
А.Э.Гаспарян

26 03 2026г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
Результатов научно-исследовательской работы

Название предложения для внедрения: Улучшение результатов лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент с применением лазерной интерстициальной термотерапии

Автор предложения: Туранов Семён Александрович, аспирант кафедры нейрохирургии ИМО «НМИЦ им. В.А. Алмазова» МЗ РФ

Название темы исследования, при выполнении которого сделано предложение: «Оптимизация хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей с паравертебральным компонентом с применением лазерной интерстициальной термотерапии»

Предложение усовершенствует алгоритм лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент

Форма внедрения: предложение реализовано в сфере практического здравоохранения, медицинской науки в виде докладов и обучения специалистов

Уровень внедрения: местный

Наименование учреждения и его подразделения, где данное предложение используется: ГАУЗ Забайкальская краевая клиническая больница, нейрохирургическое отделение

Краткое заключение об эффективности, пользе предложения: применение результатов проведенного исследования позволяет повысить эффективность лечения пациентов с экстрамедуллярными опухолями, имеющими паравертебральный компонент.

Врач нейрохирург П.В. Васильев