

На правах рукописи

ГРЕБЕНЕВ

Фёдор Вячеславович

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С НЕРВАВШИМИСЯ
ЦЕРЕБРАЛЬНЫМИ АНЕВРИЗМАМИ

3.1.10. Нейрохирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

учёной степени кандидата медицинских наук

Москва – 2026

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

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Элиава Шалва Шалвович

Официальные оппоненты:

Лукияничков Виктор Александрович

доктор медицинских наук,

доцент, ФГБНУ «Российский центр неврологии и нейронаук», Институт функциональной нейрохирургии, заместитель директора

Лазарев Валерий Александрович

доктор медицинских наук,

профессор, ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, кафедра нейрохирургии, профессор кафедры

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

Защита состоится «___» _____ 2026 г. в 13.00 час на заседании диссертационного совета 21.1.031.01, созданного на базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России (125047, Москва, 4-я Тверская-Ямская, д.16).

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

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 21.1.031.01

доктор медицинских наук

Яковлев Сергей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Нервавшиеся аневризмы (НА) являются относительно распространённой патологией, имеющейся у 0,3-5% населения планеты (Chason & Hindman, 1958; Housepian & Pool, 1958; Inagawa, 2022; Iwamoto и др., 1999; Jeon и др., 2011; Rinkel и др., 1998; Stehbens, 1963, 1972; Vlak и др., 2011) При этом разрыв аневризмы (возникающий с частотой 2-16 случаев на 100000 населения в год (de Rooij и др., 2007; Feigin и др., 2003; Linn и др., 1996; Vlak и др., 2011)) в 32-67% (в зависимости от тактики лечения) приводит к летальному исходу, при этом 15% пациентов с разрывом аневризмы гибнут на догоспитальном этапе. (Нор и др., 1997; Sharma, 2020). Столь высокие цифры летальности определяют настороженность врачей в отношении данной нозологии, что в совокупности с неуклонным повышением качества и доступности нейровизуализации приводит к повышению выявляемости НА, а, следовательно, к повышению количества операций по поводу НА. Так, например, в РФ ежегодное количество оперативных вмешательств на церебральных аневризмах (ЦА) в период с 2003 до 2015 года выросло на 52,74% до 16291, при этом примерно 40% из них пришлось на НА.(Крылов и др., 2018, 2024) Исследование РИХА II показало сохранение тенденции: доля операций по поводу НА с 2017 по 2021 года увеличилась с 40% до 53%.(Крылов и др., 2024)

Основной целью хирургии НА является снижение количества аСАК в популяции и, как следствие, снижение летальности и инвалидизации (Ikawa и др., 2020) При этом проведение превентивной хирургии имеет риски различных осложнений. При микрохирургическом (МХ) лечении риски летального исхода составляют 0,0%-2,27% (Huang & You, 2019; Kerezoudis и др., 2016; Vázquez Sufuentes и др., 2024), инвалидизации 1,20%-14,85% (Goertz и др., 2018; Vázquez Sufuentes и др., 2024), возникновения различных осложнений 1,20%-27,88% (Jalbert и др., 2015; Vázquez Sufuentes и др., 2024), а доля нерадикальных операций – 3,93%-21,4%. При эндоваскулярном (ЭВ) лечении риски летального исхода составляют 0,0%-3,4% (Briganti и др., 2015; Huang & You, 2019),

инвалидизации 0,00%-5,70% (Hwang и др., 2012; Yakar и др., 2023), возникновения различных осложнений 6,95%-25,5% (Algra и др., 2019; Yakar и др., 2023), а доля нерадикально выключенных аневризм находится в диапазоне 7,4%-45% (Murayama и др., 2003; Yakar и др., 2023). При этом частота повторных операций ввиду реканализации аневризм достигает 6,9-30%. (Daileda и др., 2019; Hagen и др., 2019; Kang и др., 2006; Murayama и др., 2003; Raymond и др., 2003).

Принятие решения о тактике лечения пациента с НА представляет собой сопоставление рисков динамического наблюдения (рост и разрыв аневризмы) и рисков хирургического (МХ или ЭВ) лечения.

Что же касается рисков хирургического лечения НА, то объективная персонализированная оценка рисков хирургического лечения требует одновременного анализа большого количества различных факторов. «Классические» методы математической статистики предлагают ограниченный инструментарий для одномоментного выявления взаимосвязи между исходами хирургического вмешательства и множеством факторов, на него влияющих. Следствием этого является то, что в клинической практике нейрохирурги опираются на обобщенные данные по рискам хирургического лечения, которые могут не соответствовать рискам для конкретного пациента с его индивидуальным набором характеристик. Технологии искусственного интеллекта (ИИ), а точнее машинного обучения (МО) открывают новые возможности для решения данной проблемы.

Одним из способов объективного учёта множества особенностей конкретного клинического случая (характеристик пациента, аневризмы и операции) является создание прогностических моделей для предсказания результатов хирургии НА с применением алгоритмов МО.

Технологии МО постепенно всё больше внедряются в клиническую нейрохирургическую практику, в том числе в области лечения ЦА. Однако на данный момент в мире нет комплексной информационной системы, одновременно прогнозирующей широкий спектр результатов как микрохирургического, так и эндоваскулярного методов лечения

(функциональный статус пациента при выписке, степень исключения аневризм из кровотока, возникновение интрагоспитальных осложнений, интраоперационных разрывов и длительность госпитализации).

Внедрение технологий МО в различные области нейрохирургии, в частности, в сосудистую нейрохирургию, имеет высокий потенциал для повышения безопасности и эффективности оказания медицинской помощи пациентам с НА.

В проведённом нами пилотном проекте была создана модель прогноза плохого функционального статуса пациента после МХ лечения НА, которая показала достаточно высокие метрики качества (точность 92,5%) (Ishankulov Т.А. и др., 2022).

Наблюдение в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России одной из наиболее крупных в мире серий пациентов, которым проведено превентивное хирургическое лечение НА (как МХ, так и ЭВ), функционирование лаборатории биомедицинской информатики и искусственного интеллекта, обладающей высокопроизводительными компьютерами и специалистами с большим опытом создания моделей МО для решения задач в нейрохирургии, а также успешно завершённый пилотный проект послужили основаниями для проведения данного исследования.

Цель исследования

Научно обосновать персонализированный подход к выбору тактики лечения нервавшихся аневризм сосудов головного мозга с учётом оценки рисков и прогноза результатов хирургии с помощью технологий машинного обучения.

Задачи исследования

- 1) Провести ретроспективный анализ клинических, нейровизуализационных и хирургических факторов риска неблагоприятных результатов хирургии нервавшихся аневризм.
- 2) Разработать метод объективного выделения группы пациентов

повышенного риска превентивного хирургического лечения нервавшихся аневризм.

3) Разработать модели прогноза результатов хирургии нервавшихся аневризм головного мозга с помощью методов машинного обучения.

4) Оценить качество персонализированного прогноза результатов хирургии нервавшихся аневризм головного мозга с помощью разработанных моделей в проспективном исследовании.

5) Оценить потенциал повышения эффективности и безопасности хирургии нервавшихся аневризм на основе персонализированной оценки рисков разных методов хирургического лечения.

Научная новизна

Предложена этапность оказания медицинской лечебно-диагностической помощи пациентам с нервавшимися аневризмами.

Впервые разработан метод объективного выделения группы пациентов повышенного риска хирургического лечения и дальнейшего распределения пациентов на превентивное хирургическое лечение.

На большом объёме наблюдений созданы и оценены прогностические модели, персонализировано предсказывающие результаты и осложнения различных методов хирургического лечения пациентов с нервавшимися аневризмами сосудов головного мозга.

Впервые обоснован потенциал методов персонализированного прогноза результатов и осложнений хирургического лечения нервавшихся аневризм сосудов головного мозга для повышения эффективности и безопасности этих вмешательств.

Теоретическая и практическая значимость

Разработанные и описанные приложения персонализированного прогноза результатов микрохирургического и эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм внедрены в повседневную практику нейрохирургических отделений в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Подробно изучено влияние различных факторов на результаты хирургического лечения аневризм. Объективизировано понятие «сложной аневризмы» путём создания Индекса Сложности Аневризмы для микрохирургического (ИСАм) и эндоваскулярного (ИСАэ) методов лечения.

Разработана шкала распределения пациентов (ШРП) на превентивное хирургическое лечение ЦА, позволяющая объективно выделять группу пациентов повышенного риска хирургического лечения и провести объективный выбор уровня медицинского учреждения, в котором должно проводиться хирургическое лечение – региональный сосудистый центр (РСЦ) или же высококвалифицированный стационар, специализирующийся на лечении цереброваскулярной патологии, в том числе федеральный центр (ФЦ).

Разработано и размещено в открытом доступе 5 веб-приложений (исам.рф, исаэ.рф, acsforaneurysm.ru, <https://aneroute.nsi.ru/>, <https://utopia.nsi.ru/>), позволяющих дать персонализированную оценку рисков осложнений превентивного хирургического лечения, а также определить оптимальный для пациента уровень медицинского учреждения, где может быть проведено лечение.

Результаты, положения и выводы диссертации используются для проведения дальнейших научных исследований на базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак.Н.Н. Бурденко» Минздрава России, а также в лекционных курсах при обучении ординаторов, аспирантов и в рамках курсов повышения квалификации врачей по специальности «нейрохирургия».

Данная диссертация выполнялась в рамках государственного задания ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России на исследования и разработки «Персонализированное прогнозирование результатов хирургического лечения пациентов с нервавшими аневризмами сосудов головного мозга с использованием технологий искусственного интеллекта» (регистрационный номер (ЕГИСУ НИОКТР): 124062400018-6).

Методология и методы исследования

Методологической основой диссертационного исследования является анализ данных пациентов, которым было проведено хирургическое лечение нервавшейся аневризмы (микрохирургическое или эндоваскулярное).

В исследование вошли данные, собранные ретроспективно, а также данные, полученные проспективно в результате когортного наблюдательного неинтервенционного исследования.

В ходе исследования применяли общенаучные методы обобщения, дедукции, описательного и сравнительного статистического анализа, графические и табличные приемы визуализации данных.

Создание прогностических моделей проводили с использованием языка программирования R. Применяли алгоритмы машинного обучения, в том числе глубокого машинного обучения (нейронные сети).

Основные положения, выносимые на защиту

1) Технологии машинного обучения позволяют обобщить большие выборки медицинских данных и являются высокоточными в прогнозировании результатов и осложнений микрохирургического и эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм;

2) Использование методов машинного обучения позволяет выделять группу пациентов повышенного риска превентивного хирургического лечения с дальнейшим лечением в высококвалифицированных стационарах, специализирующихся на лечении цереброваскулярной патологии;

3) Создание прогностических моделей с использованием технологий машинного обучения является перспективным направлением при планировании хирургии нервавшихся церебральных аневризм и имеет высокий потенциал в улучшении результатов лечения, позволяя персонифицировать стратификацию рисков, оптимизировать показания к хирургическому лечению и маршрутизацию пациентов на хирургическое лечение;

Достоверность и обоснованность научных положений

О достоверности полученных результатов свидетельствуют:

1) Наличие крупной репрезентативной выборки пациентов, которая была отобрана строго в соответствии с целью и задачами исследования.

2) Глубокий анализ анамнестических данных пациентов, анатомо-морфологических характеристик аневризм, методов и особенностей хирургического лечения с двойной проверкой данных.

3) Использование современных методов статистического анализа данных.

Выводы и рекомендации получены на основе результатов исследования и полностью соответствуют его цели и задачам.

Внедрение результатов диссертации в практику

Результаты исследований внедряются в практическую деятельность 3 нейрохирургического отделения (сосудистая нейрохирургия) и 4 нейрохирургического отделения (эндоваскулярная нейрохирургия) с группой «Реконструктивная хирургия магистральных артерий головного мозга» ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие во всех этапах исследования: формулировке цели и задач исследования; составлении плана исследований; анализе опубликованных по теме диссертации научных работ; создании баз данных пациентов, подробном анализе всей изучаемой информации; хирургическом лечении пациентов с нервавшими церебральными аневризмами, в том числе в качестве ассистента нейрохирурга; проведении статистического анализа; анализе и научном обосновании полученных результатов; создании прогностических моделей; разработке веб-приложений; формулировке выводов и практических рекомендаций; публикации основных результатов диссертационного исследования.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертации были доложены и обсуждены на: Medical Informatics Europe - MIE 2022 by EFMI: "Challenges of trustable AI and added-value on health" (Ницца, 27-30 мая 2022), VII Дальневосточном медицинском молодежном форуме с международным участием (Хабаровск, 2-14 октября 2023), ICOCIMS International student Congress of Clinical Innovations and Medical Sciences (Парма, 9-11 ноября 2023), XIX Международной (XXVIII Всероссийской) Пироговской научной медицинской конференции (Москва, 21 марта 2024), X съезде нейрохирургов России (Нижний Новгород, 10-13 сентября 2024 года), IV Ежегодной научно-практической конференции «ДАГНЕЙРО» посвящённой памяти профессора Рашидбега Умахановича Умаханова (Махачкала, 06.12.2025), II Всероссийском Форуме Молодых Ученых «Медицинская Наука: Вчера, Сегодня, Завтра» (Москва, 16-17 апреля 2026), расширенном заседании проблемной комиссии «Сосудистая нейрохирургия» ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России 31.05.2025 года (протокол № 2/25).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 19 печатных работ, в которых отражены основные результаты диссертационного исследования. Из них 7 статей опубликованы в научных рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 11 – в научных рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus, 4 – в виде статей и тезисов в материалах съездов и конференций, 3 – в виде глав монографий.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 262 страницах машинописного текста, иллюстрирована 57 рисунками и 32 таблицами, состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы и 15 приложений. Список литературы содержит 226 источников, из которых 17 отечественных и 209 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

Основу диссертационного исследования составили данные пациентов, которым в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России было проведено превентивное хирургическое лечение нервавшихся аневризм сосудов головного мозга. Исследование выполнено в два этапа.

Первый этап – ретроспективное наблюдательное одноцентровое когортное исследование. В анализ включены данные пациентов, госпитализированных в период с 01.01.2017 по 01.02.2022 г. Критериями включения являлись: наличие НА сосудов головного мозга, проведение хирургического лечения одной или нескольких аневризм, наличие полных данных истории болезни и нейровизуализационных исследований, а также подписанное информированное согласие. Критериями исключения стали: хирургическое лечение по поводу рвавшейся аневризмы в период текущей госпитализации, проведение МХ лечения и наложения анастомоза в разные хирургические сессии одной госпитализации, наличие гемодинамических аневризм, ассоциированных с артериовенозными мальформациями, наличие иной интракраниальной нейрохирургической патологии, а также беременность на любом сроке. В ретроспективную группу вошли 1051 пациент, пролеченный микрохирургически, и 853 пациента, пролеченных эндоваскулярно.

Второй этап – проспективное наблюдательное одноцентровое когортное исследование с тройным слепым дизайном. Набор пациентов осуществлялся в период с 09.03.2023 по 01.02.2025 г. Критерии включения и невключения соответствовали первому этапу. В проспективную группу вошли 120 пациентов МХ группы и 133 пациента ЭВ группы.

Структура баз данных для обоих этапов включала унифицированные параметры. В микрохирургической группе оценивались 33 параметра: 10 клинико-anamнестических характеристик, 9 анатомо-морфологических характеристик (АМХ) аневризм, 7 характеристик проведенной операции и 7 результатов/осложнений. В эндоваскулярной группе суммарно оценивались 35

параметров: 13 клинико-anamнестических характеристик, 8 АМХ аневризм, 4 характеристики операции и 10 результатов/осложнений. Клинико-анамнестические данные включали пол, возраст, баллы по шкале ASA и индексу коморбидности Чарлсон (CCI), статус по модифицированной шкале Рэнкин (МШР, mRS) до операции, наличие острого нарушения мозгового кровообращения в анамнезе, приём дезагрегантных препаратов, количество функционирующих аневризм, симптоматический тип течения, факт лечения других ЦА в анамнезе, а также для ЭВ группы – атеросклероз и патологическую извитость брахиоцефальных артерий (БЦА). АМХ включали локализацию, форму, размер, наличие широкой шейки, дивертикулов, вовлечение сосудистых/нервных структур, кальцификацию/атеросклероз стенки, внутрисосудистый тромбоз и хирургический анамнез аневризмы.

Целевыми переменными (результатами/осложнениями) для МХ группы являлись: непланируемое интраоперационное кровотечение, функциональный статус по МШР при выписке, возникновение нового неврологического дефицита, наличие и тяжесть интрагоспитальных осложнений (оценка по классификации Clavien-Dindo (CDC)), степень радикальности выключения аневризмы (по классификации Пилипенко Ю.В. и соавт., а также трёхклассовая система), длительность послеоперационного периода и общей госпитализации. Для ЭВ группы дополнительно оценивались непланируемые окклюзии церебральных артерий, а радикальность выключения определялась по классификациям Raymond-Roy modified (для микроспиралей), Sekirge (для потокоперенаправляющих стентов – ППНС) и унифицированной классификации РОАН, разработанной в ходе исследования. Радикальность оценивалась в день выписки, а также через 6 и 12 месяцев (для ЭВ группы). В случаях лечения нескольких аневризм в базу данных вносился худший показатель радикальности.

Статистический анализ данных проводился с использованием IBM® SPSS® Statistic Version 23.0.0.0. Проверка распределения количественных переменных на нормальность осуществлялась критерием Колмогорова-Смирнова. Для сравнения категориальных величин применялся критерий Хи-

квадрат Пирсона, при ожидаемых значениях менее 5 в более чем 20% ячеек – точный критерий Фишера или тест отношения правдоподобия. Для порядковых или количественных переменных с ненормальным распределением использовался Н-критерий Крускала-Уоллиса, при нормальном распределении – дисперсионный анализ ANOVA с апостериорным тестом Тьюки. Гипотеза об отсутствии различий отклонялась при уровне значимости $p < 0,05$.

Создание прогностических моделей выполнялось с использованием языка программирования R версии 4.4.1 и семейства библиотек mlr3verse. Ввиду значительного дисбаланса классов в прогнозируемых переменных проводилась их реклассификация с объединением редких категорий (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Прогнозируемые результаты и уровни их группировки

Для МХ группы: МШР после операции (0, 1–2, 3–6); длительность госпитализации и послеоперационного периода (0–10 суток, >10 суток); CDC (0, 1–5); радикальность выключения (полное, частичное/отсутствие); непланируемое кровотечение и новый неврологический дефицит (да/нет). Для ЭВ группы: МШР (0–1, 2–6); CDC (0, 1–5); радикальность выключения по РОАН (I, II-NC); непланируемое кровотечение и новый неврологический дефицит (да/нет).

Отбор предикторов осуществлялся пятью алгоритмами: Information Gain (IR), Variance-Based Feature Selection, Minimum Redundancy Maximum Relevance

(MRMR), Joint Mutual Information Maximization (JMIM), Relief. Далее тестировалось 45 моделей классификации, способных обрабатывать числовые и факторные переменные. Ретроспективный набор данных разделялся на обучающий и тестовый в соотношении 3:2. Оценка качества проводилась с использованием 10-кратной перекрёстной проверки. Метриками качества выступали: точность, сбалансированная точность, чувствительность, специфичность, F1-мера и площадь под кривой (ROC-AUC). Модели, продемонстрировавшие наилучшие результаты, были включены в единый прогностический комплекс UTOPIA и реализованы в виде веб-приложения (<https://utopia.nsi.ru>) с функцией автоматического сохранения предсказаний. Валидация моделей проводилась на проспективной выборке после дообучения на полной ретроспективной базе (1051 пациент для МХ, 853 для ЭВ).

Для визуализации результатов статистического анализа и оценки изолированных факторов риска были разработаны и размещены в открытом доступе дополнительные веб-приложения: acsforaneurysm.ru, исам.рф, исаэ.рф, <https://aneroute.nsi.ru/>.

Влияние клинико-анамнестических особенностей пациента на результаты хирургии аневризм

Влияние возраста пациента

В исследовании проведён детальный анализ взаимосвязи возраста пациентов с частотой неблагоприятных исходов и осложнений превентивной хирургии НА. Доля пациентов детской возрастной группы (0–17 лет) составила 1,7% (32 из 1904 пациента). Летальность в данной группе в исследуемой когорте составила 0%. Нейрохирургические/неврологические осложнения возникли у 4 детей (12,5%), ещё у двух одновременно развились неврологические и соматические осложнения. Суммарная частота любых осложнений в возрастной группе 0–17 лет составила 18,7%.

Распределение частот осложнений по возрастным группам (с шагом в 5 лет) продемонстрировало выраженный нелинейный тренд. В общей группе

операции в возрасте 18–59 лет сопровождались наименьшими частотами возникновения нового неврологического дефицита (5,8%) и умеренных/тяжёлых интрагоспитальных осложнений CDC III-V (4,4%). Более детальный анализ показал, что в возрасте 16–25 лет не было зарегистрировано ни одного случая ухудшения неврологического статуса. После этого возраста отмечалось неуклонное увеличение доли пациентов с данным осложнением, а после 46 лет частота ухудшений превысила средние значения по когорте (7,4%). Статистически значимо повышенные частоты ухудшений неврологического статуса были отмечены также в возрастной группе 0–10 лет.

Относительно умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений (CDC III-V) установлено, что возрастные группы 0–25 лет, а также 61 год и старше ассоциированы с повышенными рисками возникновения данных осложнений (выше средней частоты по группе, равной 5,8%).

При раздельном анализе микрохирургической группы сниженные частоты возникновения неврологического дефицита (ниже среднего значения 9,7%) отмечены в возрастном диапазоне 11–60 лет. Для эндоваскулярной группы оптимальным оказался диапазон 18–44 года (при более детальном анализе – 6–45 и 51–55 лет при среднем значении 4,5%).

Анализ подтвердил, что возраст 60 лет и старше статистически значимо ассоциирован с повышенной частотой возникновения интрагоспитальных осложнений: 24,2% при микрохирургическом лечении и 13,3% при эндоваскулярном лечении. Таким образом, хотя хирургическое лечение пациентов детского и пожилого возраста возможно и эффективно, оно требует учёта возрастных кривых рисков, которые не всегда линейно коррелируют с календарным возрастом и имеют выраженные пики у крайних возрастных групп.

Влияние соматического статуса пациента

Поскольку рост частоты осложнений с возрастом во многом обусловлен сопутствующей патологией, в исследовании проведена независимая оценка влияния соматического статуса пациентов с использованием шкалы ASA и индекса коморбидности Чарлсон (CCI), которые дополняют друг друга и

применимы в электроивной нейрохирургии.

В общей группе статистически значимое повышение частот нового неврологического дефицита и осложнений CDC III-V отмечено при увеличении баллов по обеим шкалам. При анализе микрохирургической группы статистически значимая разница в частотах нового неврологического дефицита выявлена только при оценке по шкале CCI: при CCI > 0 новый дефицит возник в 10,6% случаев, тогда как при CCI = 0 – в 6,8% (значение p для точного критерия Фишера = 0,043). Пациенты с CCI > 6 в МХ группе встречались редко, что требует осторожной интерпретации частот в данной подгруппе.

В эндоваскулярной группе значение ASA = III ассоциировано с повышенной частотой возникновения нового неврологического дефицита – 10,7% (при среднем значении по ЭВ группе 4,5%). Относительно осложнений CDC III-V частота выше средней (2,9%) наблюдалась при ASA II (3,3%) и ASA III (6,4%). При оценке по индексу CCI обращает на себя внимание критическое повышение частоты обоих видов осложнений (до 33,3%) при значении CCI 7–9 баллов.

Полученные данные подтверждают, что соматический статус является независимым предиктором неблагоприятных исходов превентивной хирургии НА. В отличие от возраста, соматический статус является частично модифицируемым фактором риска, что позволяет нейрохирургу оценивать возможность компенсации сопутствующей патологии до операции и обоснованно определять сроки хирургического вмешательства.

Соматико-возрастные шкалы

На основании комплексного анализа частот возникновения осложнений в различных возрастных группах (группировка по 5 лет, по 10 лет, по критериям ВОЗ, на 3 группы) и их пересечения с соматическим статусом (по ASA и CCI) были созданы соматико-возрастные шкалы (СВИШ). Шкалы отражают статистически значимые комбинации возраста и коморбидности, коррелирующие с повышенными рисками нового неврологического дефицита и умеренных/тяжёлых осложнений (CDC III-V) после хирургического лечения ЦА.

На базе СВШ разработан онлайн-калькулятор acsforaneurysm.ru, позволяющий в краткие сроки получить персонализированную оценку рисков, связанных с возрастом и коморбидностью пациента, как для МХ, так и для ЭВ методов лечения (Рисунок 2).

Клиническое применение калькулятора и СВШ имеет ряд принципов. Во-первых, полученные значения не являются абсолютным противопоказанием к операции, а служат инструментом для объективного сопоставления рисков естественного течения заболевания (роста/разрыва аневризмы) и хирургических рисков.

Оценка рисков осложнений хирургического лечения нервавшихся аневризм в зависимости от возраста и коморбидности

Введите возраст:

Коморбидность, оценённая по ASA (I-III):

Коморбидность, оценённая по CCI (0-9):

Выберите метод лечения:
 Эндovasкулярная хирургия
 Микрохирургия
 Неизвестно

Рассчитать

Результат

Возрастные риски
 Возникновение нового неврологического дефицита: **3.3% - 5%**
 Возникновение умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений: **2.3% - 2.5%**

Риски, связанные с коморбидностью (оценка по ASA)
 Возникновение нового неврологического дефицита: **3.8%**
 Возникновение умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений: **2.6% - 3.3%**

Риски, связанные с коморбидностью (оценка по CCI)
 Возникновение нового неврологического дефицита: **5.4%**
 Возникновение умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений: **3.4%**

| Участки аневризмальной полости (крупнейшие деформации) | | | | Участки аневризмальной полости (СДС III) и мелкие (СДС II) с андраспективными осложнениями | | | |
|--|-------|-------|-------------|--|-------|-------|-------------|
| 0-5 | 0.0% | | | 0-5 | 0.0% | | |
| 6-10 | 0.0% | 0.17 | 11.4% | 6-10 | 0.0% | 0.17 | 0.9% |
| 11-15 | 0.0% | | | 11-15 | 0.0% | | |
| 16-20 | 0.0% | | | 16-20 | 10.0% | | |
| 21-25 | 0.0% | | | 21-25 | 0.0% | | |
| 26-30 | 0.0% | | | 26-30 | 0.0% | | |
| 31-35 | 3.3% | 18.44 | 2.1% | 31-35 | 0.0% | 18.44 | 2.1% |
| 36-40 | 3.3% | | | 36-40 | 1.7% | | |
| 41-45 | 1.7% | | 18.44 | 41-45 | 5.4% | | 18.44 |
| 46-50 | 0.0% | | | 46-50 | 1.0% | | |
| 51-55 | 3.3% | 45.89 | 5.0% | 51-55 | 2.4% | 45.89 | 2.0% |
| 56-60 | 0.0% | | | 56-60 | 2.0% | | |
| 61-65 | 7.0% | | | 61-65 | 5.3% | | |
| 66-70 | 0.0% | 48.74 | 6.0% | 66-70 | 4.4% | 48.74 | 5.0% |
| 71-75 | 5.0% | | 49 и старше | 71-75 | 5.0% | | 49 и старше |
| 76-80 | 11.2% | 75.40 | 21.0% | 76-80 | 11.2% | 75.40 | 21.0% |
| ASA I | 2.0% | | | ASA I | 1.0% | | |
| ASA II | 3.0% | | | ASA II | 3.3% | | |
| ASA III | 9.0% | | | ASA III | 6.0% | | |
| CCI 0 | 3.1% | | | CCI 0 | 2.7% | | |
| CCI 1-3 | 2.4% | | | CCI 1-3 | 2.4% | | |
| CCI 4-6 | 0.0% | | | CCI 4-6 | 0.0% | | |
| CCI 7-9 | 10.0% | | | CCI 7-9 | 10.0% | | |

Очистить

*Данные результаты представляют собой анализ пациентов НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко. Результаты лечения пациентов в других клиниках могут отличаться от представленных.

Рисунок 2 - Интерфейс web-приложения acsforaneurysm.ru

Во-вторых, инструмент не предназначен для выбора между МХ и ЭВ методами; данный выбор в НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко осуществляется на основании утверждённых алгоритмов, учитывающих АМХ аневризм.

В-третьих, полученные частоты осложнений репрезентативны для условий высокоспециализированного стационара и могут отличаться в других клиниках.

Главным практическим преимуществом СВШ является возможность обоснованного решения о сроках операции: оценка позволяет определить, целесообразно ли отложить вмешательство для медикаментозной компенсации соматической патологии или изменение рисков незначимо, и операция может быть выполнена в более короткие сроки.

Влияние симптоматического типа течения аневризмы на результаты хирургического лечения

В исследовании проведён сравнительный анализ результатов хирургического лечения нервавшихся симптоматических (НСА) и бессимптомных аневризм (НБА). В анализируемую когорту (без учёта случаев лечения нескольких аневризм в одну операцию) вошли 1880 пациентов: 273 (14,5%) были оперированы по поводу НСА, 1607 (85,5%) – по поводу НБА. Установлено, что НСА статистически значимо чаще характеризуются сложными анатомо-морфологическими особенностями: локализацией в бассейнах внутренней сонной артерии (ВСА), базилярной артерии (БА), задней мозговой артерии (ЗМА) и позвоночной артерии (ПА) (72,6% против 53,4% при НБА), фузиформной или фузиформно-эксцентричной формой (19,8% против 10,1%), размером более 15 мм (66,4% против 13,9%), наличием широкой шейки (67,0% против 57,4%), вовлечением сосудистых и нервных структур (74,0% против 21,7%), внутрипросветным тромбозом (32,6% против 5,0%), а также наличием хирургического анамнеза (5,1% против 2,1%).

При микрохирургическом лечении НСА статистически значимо чаще, по сравнению с НБА, регистрировались неблагоприятные функциональные исходы (МШР 4–6 баллов) – 6,6% против 2,0%, летальные исходы – 0,8% против 0,3%, возникновение нового неврологического дефицита – 14,6% против 8,0%, а также тяжёлые интрагоспитальные осложнения (CDC IV–V) – 9,9% против 5,3%.

При эндоваскулярном лечении НСА также отмечена повышенная частота

осложнений: функциональный исход МШР 4–6 баллов – 3,1% против 0,5%, летальность – 0,7% против 0,0%, новый неврологический дефицит – 13,3% против 2,7%, умеренные и тяжёлые осложнения CDC III–V – 4,6% против 2,9%. Кроме того, в группе НСА наблюдалась статистически значимо меньшая радикальность выключения аневризмы на момент выписки (90,7% против 65,4%) и через 6 месяцев (39,7% против 25,8%). Однако через 12 месяцев показатели радикальности выравнивались (71,8% против 78,1%, $p>0,05$). Данное явление объясняется более частым применением потокоперенаправляющих стентов (ППНС) при НСА (84,7% против 52,7%), которые обеспечивают постепенный тромбоз аневризмы в отдалённые сроки, что закономерно отражается на ранних показателях радикальности.

Таким образом, симптоматический тип течения ассоциирован с более сложной анатомией аневризм и статистически значимым повышением рисков неблагоприятных исходов как при микрохирургическом, так и при эндоваскулярном лечении. Данные различия требуют обязательного учёта при планировании хирургической тактики, формировании информированного согласия пациента и выборе оптимального метода выключения аневризмы из кровотока.

Влияние анатомо-морфологических характеристик аневризм на результаты хирургического лечения

Индекс сложности аневризмы микрохирургический (ИСАм)

В ходе исследования проведён поиск статистически значимой взаимосвязи АМХ аневризм с неблагоприятными результатами МХ лечения (CDC III-V, новый неврологический дефицит, плохой функциональный исход на момент выписки (МШР 4-6), нерадикальное выключение, непланируемое интраоперационное кровотечение). Для обеспечения репрезентативности аневризмы базилярной артерии и задней нижней мозжечковой артерии объединены в группу вертебро-базилярного бассейна (ВББ), а сегменты ВСА анализировались отдельно ввиду различий в хирургической технике.

Отбирались только те АМХ, при наличии которых для всех изучаемых исходов наблюдалось статистически значимое повышение частот осложнений относительно средних значений по группе. В ИСАм вошли 7 факторов:

- 1) Локализация: ВББ, кавернозный отдел ВСА, параклиноидный отдел ВСА, офтальмический сегмент ВСА;
- 2) Форма: фузиформная, фузиформно-эксцентричная;
- 3) Размер: более 15 мм;
- 4) Наличие широкой шейки;
- 5) Вовлечение сосудистых/нервных структур;
- 6) Кальцификация/атеросклероз стенки аневризмы/магистрального сосуда;
- 7) Наличие внутрипросветного тромбоза аневризмы.

Индекс сложности рассчитывается как суммарное количество данных факторов у одной аневризмы (диапазон 0–7 баллов; аневризмы с 5 и 6 баллами объединены в группу 5–6 для устранения дисбаланса выборки). Распределение пациентов: 0 баллов – 33,9%, 1 балл – 35,9%, 2 балла – 14,1%, 3 балла – 7,6%, 4 балла – 5,5%, 5 баллов – 2,5%, 6 баллов – 0,5%.

Установлено, что все изучаемые осложнения статистически значимо взаимосвязаны со значением ИСАм. При ИСАм = 0 - 1 балла частоты осложнений ниже средних по группе. При ИСАм = 2 частота CDC III-V ниже средней, МШР 4-6 не отличается, остальные показатели выше на 0,9–3,6%. При ИСАм \geq 3 частоты всех осложнений превышают средние значения (на 0,6–12,8% при ИСАм=3; на 10,8–22,6% при ИСАм=4; на 3,9–22,7% при ИСАм=5-6) (Рисунок 3).

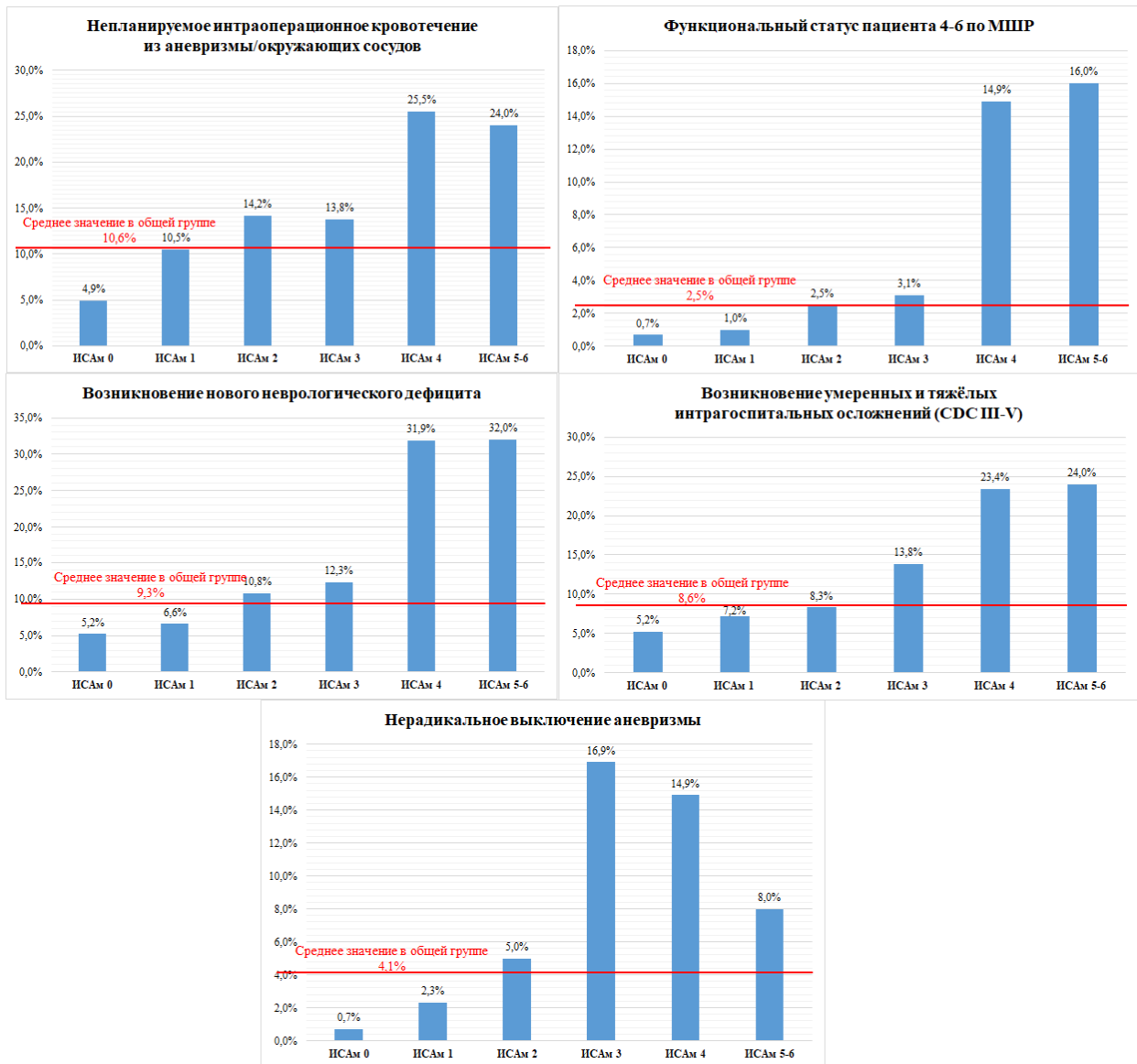


Рисунок 3 - Частота возникновения неблагоприятных исходов и осложнений микрохирургического лечения НА в зависимости от значения ИСАМ

Таким образом, к группе «сложных» аневризм для микрохирургического лечения отнесены аневризмы со значением ИСАМ ≥ 3 баллов. Значение ИСАМ ≥ 3 (по сравнению с ИСАМ = 0) повышает риски: непланируемого интраоперационного кровотечения в 2,9–5,2 раза, плохого функционального исхода (МШР 4-6) в 4,4–22,9 раза, нового неврологического дефицита в 2,4–6,2 раза, осложнений CDC III-V в 2,7–4,6 раза, нерадикального выключения в 11,4–24,1 раза.

Для удобства расчёта создан веб-калькулятор исам.рф (Рисунок 4).

Индекс сложности микрохирургического лечения нервавшихся церебральных аневризм

Выберите характеристики аневризмы

Локализация: вертебро-базиллярный бассейн, ВСА кавернозный отдел, ВСА паракилоидный отдел, ВСА офтальмический сегмент

Да Нет

Форма: фузиформная или фузиформно-эксцентричная

Да Нет

Размер: более 15 мм

Да Нет

Наличие **широкой шейки** ?

Да Нет

Вовлечение **сосудов/нервных структур** ?

Да Нет

Кальцификация/атеросклероз стенки аневризмы/несущего сосуда

Да Нет

Наличие внутрипросветного тромбоза

Да Нет

Рассчитать

Результаты*

ИСАм: 3

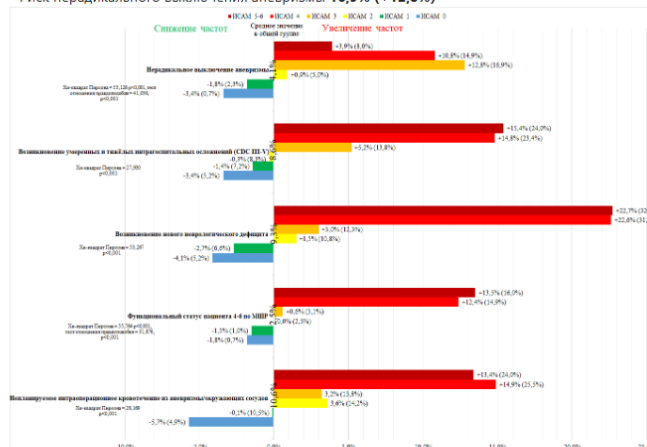
- Риск возникновения непланируемого интраоперационного кровотечения из аневризмы или прилежащих сосудов **13,8% (+3,2%)**

- Риск функционального статуса пациента по МШР **4-6** после операции **3,1% (+0,6%)**

- Риск возникновения нового неврологического дефицита **12,3% (+3,0%)**

- Риск возникновения умеренных или тяжелых интрагоспитальных осложнений III-V по CDC **13,8% (+5,2%)**

- Риск нерадикального выключения аневризмы **16,9% (+12,8%)**



*Данные результаты представляют собой анализ пациентов НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко. Результаты лечения пациентов в других клиниках могут отличаться от представленных.

Рисунок 4 - Интерфейс web-приложения исам.рф

Индекс сложности аневризмы эндovasкулярный

Анализ влияния АМХ на результаты ЭВ лечения проводился аналогично МХ группе. Из анализа исключены пациенты с лечением нескольких аневризм за одну операцию, а также пациенты с аневризмами передней мозговой артерии и средней мозговой артерии (ввиду малого объема выборки для ЭВ метода в данных локализациях). Дополнительно оценено влияние атеросклероза и патологической извитости БЦА как путей хирургического доступа.

Статистически значимыми факторами, повышающими частоты осложнений, стали: размер > 15 мм, наличие дивертикула, вовлечение сосудистых/нервных структур, внутрипросветный тромбоз, атеросклеротическое поражение БЦА (стеноз $\geq 50\%$). Форма аневризмы, широкая шейка, повторное хирургическое лечение и патологическая извитость БЦА не показали статистически значимой взаимосвязи с исходами в общей группе, что объясняется высоким уровнем развития ЭВ техники (стент-

ассистенция, ППНС), нивелирующим данные риски при правильном выборе метода.

ИСАэ рассчитывается как сумма данных факторов (диапазон 0–5 баллов; группы 4 и 5 объединены). Распределение: 0 баллов – 47,0%, 1 балл – 28,4%, 2 балла – 15,2%, 3 балла – 7,8%, 4–5 баллов – 1,6%. «Сложными» аневризмами для ЭВ лечения признаны аневризмы с ИСАэ ≥ 2 баллов.

При ИСАэ = 0 частоты осложнений ниже средних на 0,9–10,9%. ИСАэ = 1 балл является промежуточным: частоты CDC I-V и нерадикального выключения через 12 мес. ниже средних, МШР 4-6 не отличается, частоты нового дефицита и нерадикального выключения через 6 мес. статистически значимо выше. При ИСАэ ≥ 2 частоты осложнений превышают средние на 1,8–28,7% (в зависимости от исхода и значения индекса) (Рисунок 5).



Рисунок 5 - Частота возникновения неблагоприятных исходов и осложнений ЭВ лечения НА в зависимости от значения ИСАэ

Значение ИСАэ ≥ 2 (по сравнению с ИСАэ = 0) повышает риски: плохого функционального исхода (МШР 4-6) в 2,7–8,3 раза, нового неврологического дефицита в 4,9–16,7 раза, любых осложнений CDC I-V в 2,0–3,5 раза, нерадикального выключения через 6 мес. в 2,5–2,8 раза, через 12 мес. в 2,5–4,3 раза. Для удобства расчёта создан веб-калькулятор исаэ.рф (Рисунок 6).

Индекс сложности эндovasкулярного лечения нервавшихся церебральных аневризм

Выберите характеристики аневризмы

Размер: более 15 мм

Да Нет

Наличие дивертикула

Да Нет

Вовлечение сосудов/нервных структур ?

Да Нет

Наличие внутрисосудистой тромбоза

Да Нет

Атеросклеротическое поражение БЦА ?

Да Нет

Рассчитать

Результаты

ИСАэ: 2

- Риск функционального статуса пациента после операции МШР 4-6 **2,7%** (+1,8%)
- Риск возникновения нового неврологического дефицита **9,8%** (+5,2%)
- Риск возникновения любых интрагоспитальных осложнений CDC I-V **14,3%** (+4,6%)
- Риск частичного/полного функционирования аневризмы через 6 месяцев **42,9%** (+16,1%)
- Риск частичного/полного функционирования аневризмы через 12 месяцев **40,6%** (+18,5%)



*Данные результаты представляют собой анализ пациентов НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко. Результаты лечения пациентов в других клиниках могут отличаться от представленных.

Рисунок 6 - Интерфейс web-приложения исаэ.рф

Влияние особенностей оперативного лечения

В исследовании проведён анализ влияния технических характеристик операции на результаты МХ и ЭВ лечения.

Микрохирургическое лечение

При анализе общей группы лечение нескольких аневризм за одну операцию ассоциировано с более высокой частотой нерадикального выключения хотя бы одной из них (на 7,5%), что объясняется статистической вероятностью и учётом худшего результата в базе данных. Функционирование дезагрегантных препаратов во время операции в общей группе коррелировало с худшим функциональным исходом, однако детальный анализ показал, что в 52,8% таких случаев ИСАм ≥ 3 , а в 44,6% выполнялся анастомоз. В изолированной группе «сложных» аневризм (ИСАм ≥ 3) функционирование дезагрегантных препаратов

не повышало риски осложнений. Следовательно, дезагрегантные препараты не являются независимым фактором риска, а отражают сложность клинического случая.

Наложение анастомоза ассоциировано с высокими рисками: МШР 4-6 (13,9%), новый дефицит (38,9%), любые осложнения (44,0%). Причиной таких результатов, безусловно, является как высокая сложность самого наложения анастомоза, так и риски, сопутствующие дальнейшему клипированию аневризмы в силу её АМХ. Проведение ВАК/прямой аспирации и тромбэкстракции также коррелировало с повышением долей кровотечений, плохого функционального исхода, дефицита и осложнений. В группе ИСАм ≥ 3 проведение тромбэкстракции не было статистически значимо связано с осложнениями, что подтверждает: указанные манипуляции сами по себе не увеличивают риски сверх тех, что обусловлены АМХ аневризмы. Проведение деконструктивных операций (окклюзия несущего сосуда) ассоциировано с МШР 4-6 в 21,3%, новым дефицитом в 40,4%, осложнениями в 46,8%.

Опыт хирурга (количество операций на ЦА за 1, 2, 3 года) в общей МХ группе не коррелировал с исходами, что обусловлено высокой квалификацией персонала НМИЦН и системой рационального распределения хирургов по сложности аневризм. Однако в группе «сложных» аневризм (ИСАм ≥ 3) выявлена статистически значимая разница в радикальности выключения: при радикальном выключении средний опыт хирурга составлял 85,3 операции/год, при нерадикальном – 69,5 ($p=0,034$).

Эндоваскулярное лечение

Оценка влияния вида ЭВ операции показала статистически значимые различия в частоте нового неврологического дефицита: значимо чаще осложнения возникали после окклюзии микроспиральями с баллон-ассистенцией (20%) и окклюзии несущей артерии (60%), в то время как при других видах ЭВ лечения данная частота находилась в диапазоне 2,6-4,4%. Структура интрагоспитальных осложнений также зависела от вида вмешательства. Также проведён подробный анализ радикальности выключения аневризмы в

зависимости от вида эндоваскулярного лечения. Опыт ЭВ хирурга в общей группе не показал корреляции с исходами по аналогичным причинам (высокая базовая квалификация, рациональное распределение: при ИСАэ 0-1 опыт 42,8 опер/год, при ИСАэ ≥ 2 – 48,5 опер/год, $p=0,001$).

Комплексная оценка факторов риска превентивного хирургического лечения нервавшихся аневризм

Шкала Распределения Пациентов (ШРП) на превентивное хирургическое лечение

Для решения задачи комплексной оценки факторов риска и объективной маршрутизации пациентов разработана Шкала Распределения Пациентов (ШРП). Цель шкалы – выделение группы повышенного хирургического риска для обоснованного распределения пациентов между региональными сосудистыми центрами (РСЦ) и высококвалифицированными стационарами, специализирующимися на лечении цереброваскулярной патологии, в т.ч. (ФЦ).

Методология построения ШРП включала применение алгоритма логистической регрессии с предварительным отбором предикторов методом LASSO (пакет `glmnet` в R) и последующим пошаговым регрессионным отбором (`stepAIC`, метод `Forward selection` с перекодированными категориальными переменными). В качестве конечных точек выбраны 4 исхода: грубая инвалидизация ($MSP \geq 3$), новый неврологический дефицит, умеренные/тяжёлые осложнения (CDC III-V), нерадикальное выключение аневризмы.

Каждому статистически значимому предиктору присвоено количество баллов на основании отношения шансов (ОШ). Значения ОШ нормированы и округлены относительно минимального статистически значимого коэффициента, максимальный балл ограничен 2–5 баллами в зависимости от осложнения для унификации. Частоты осложнений рассчитаны для каждой суммы баллов в ретроспективной группе (Рисунок 7, 8). Проспективная валидация подтвердила сохранение тенденции: увеличение суммы баллов

| | | <u>МШР 3 балла и более</u> (6,1%) | | | <u>Возникновение нового</u> <u>неврологического дефицита</u> (4,5%) | | | <u>Нерадикальное выключение</u> <u>аневризмы через 6 месяцев</u> (28,8%) | | | | |
|--|---|--------------------------------------|--------|-----------------|---|--------|---------|--|----------|--------|---------|-----------------|
| Клинико-анамнестические данные | Коморбидность, оценённая по ASA=III | 1 | | | | | | | | | | |
| | Наличие артериальной гипертензии | | | | 1 | | | | | | | |
| | Наличие > 1 функционирующей аневризмы | | | | | | | 1 | | | | |
| | Симптоматический тип течения аневризмы | | | | 2 | | | | | | | |
| Анатомо-морфологические характеристики аневризмы | Локализация в ВББ | | | | | | | 1 | | | | |
| | Фузиформная форма | | | | | | | 1 | | | | |
| | Повторное хирургическое лечение аневризмы | | | | | | | 2 | | | | |
| Параметры операции | Проведение деконструктивной операции | 2 | | | 3 | | | | | | | |
| | <i>Сумма баллов</i> | 0 баллов | 1 балл | 2 балла и более | 0 баллов | 1 балл | 2 балла | 3 балла | 0 баллов | 1 балл | 2 балла | 3 балла и более |
| | <i>Частота осложнения</i> | 0,1% | 16,9% | 30,0% | 1,4% | 3,3% | 7,6% | 18,3% | 21,1% | 30,0% | 34,8% | 37,5% |

Рисунок 8 – Расчётная шкала оценки рисков эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм. Зелёный цвет – при получении данного количества баллов пациент относится к низкой группе риска по возникновению данного осложнения, красный цвет - при получении данного количества баллов пациент относится к повышенной группе риска по возникновению данного осложнения

Логика распределения: если пациент по всем прогнозируемым исходам попадает в группы низкого риска (частота осложнений \leq средней по группе), он стратифицируется как пациент низкого риска с возможностью лечения в РСЦ. Если пациент хотя бы по одному исходу попадает в группу повышенного риска, он стратифицируется как пациент повышенного риска и должен быть направлен в ФЦ или специализированный цереброваскулярный стационар.

Для определения наиболее оптимального времени применения данной шкалы были определены этапы оказания медицинской лечебно-диагностической помощи пациентам с нервавшимися церебральными аневризмами (Рисунок 9).

ШРП реализована в виде интерактивного веб-приложения <https://aneroute.nsi.ru/> (Рисунок 10).

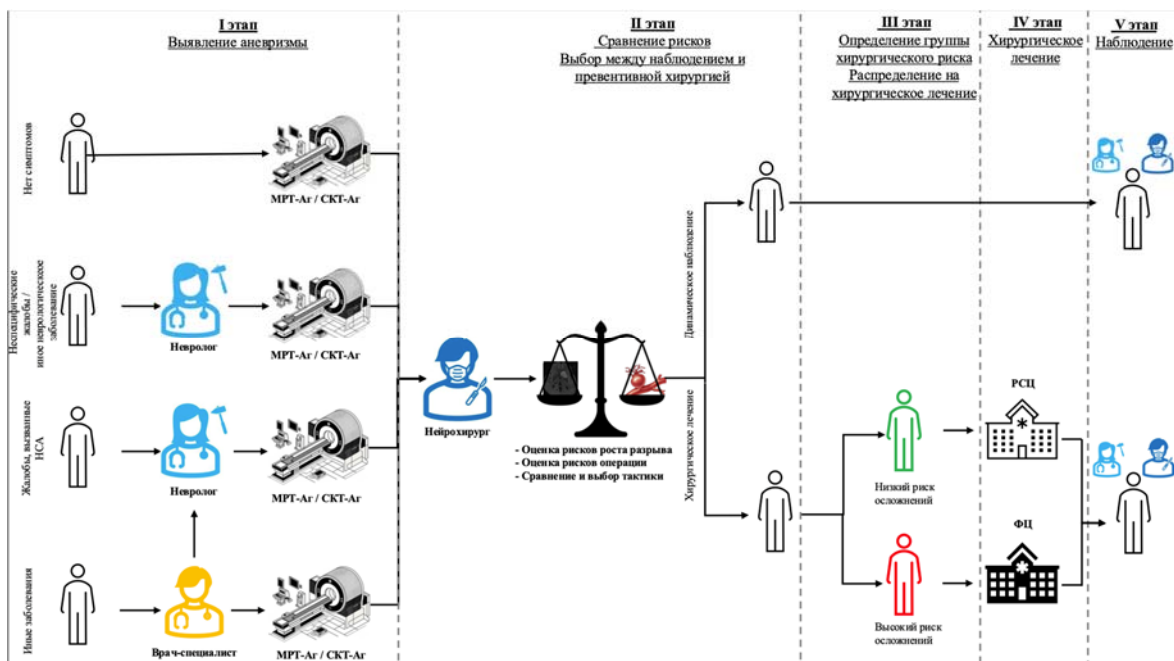


Рисунок 9 – Схема лечебно-диагностического процесса оказания медицинской помощи пациенту с НА

Данный инструмент восполняет отсутствие научно обоснованных алгоритмов маршрутизации в действующих клинических рекомендациях РФ и позволяет объективно вычленять пациентов повышенного риска на II и III этапах лечебно-диагностического процесса. Внедрение требует дальнейшей внешней валидации с участием РСЦ и других ФЦ, однако на текущем этапе является единственным доступным инструментом для решения поставленной задачи.

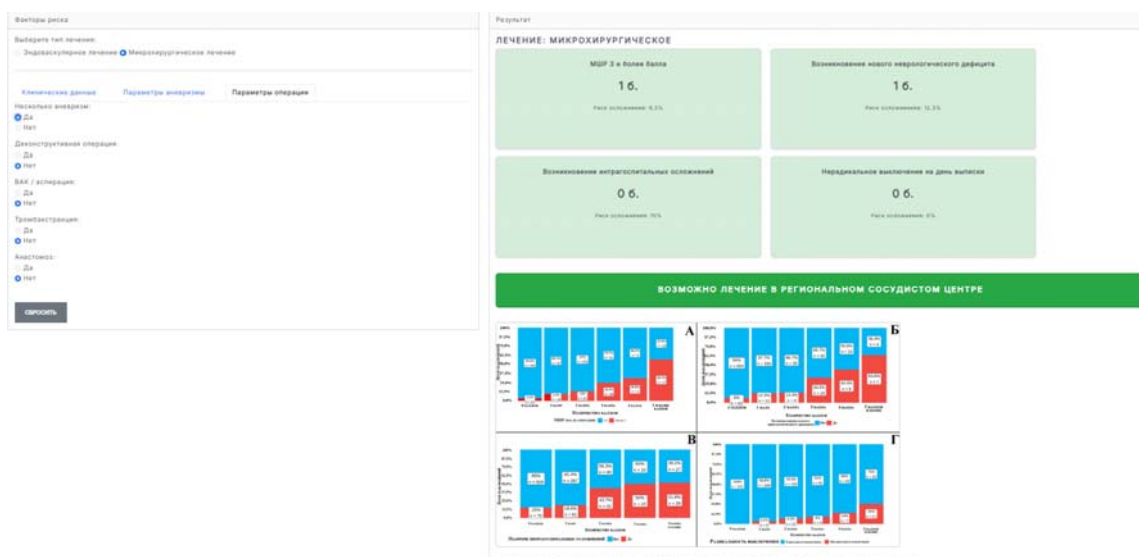


Рисунок 10 – Интерфейс веб-приложения <https://aneroute.nsi.ru/>

Эффективность и клиническая применимость прогностического приложения UTOPIA

Для детального персонализированного прогнозирования на IV этапе оказания помощи (выбор тактики, оценка альтернативных методов у пациентов повышенного риска) разработано приложение UTOPIA (Unruptured aneurysm Treatment Outcomes: Personalized rIsk Assessment) (Рисунок 11) (<https://utopia.nsi.ru>) с применением ранее разработанных отобранных прогностических моделей (Таблица 1, 2). В отличие от ранее описанных калькуляторов, UTOPIA интегрирует все группы факторов (клинико-анамнестические, АМХ, особенности операции) одновременно, что позволяет выявлять неочевидные взаимосвязи и повышать точность прогноза.

Качество прогноза имплементированных моделей, подтверждённое проспективной валидацией, составило: для МХ лечения – точность 69–93%, сбалансированная точность 46–80%; для ЭВ лечения – точность 88–98%, сбалансированная точность 50–95%. Данные метрики превосходят показатели большинства существующих в мировой литературе моделей и подтверждают высокую эффективность алгоритмов МО в условиях реальной клинической практики. Приложение позволяет в режиме реального времени изменять параметры (например, вид вмешательства, тактику) и мгновенно оценивать изменение прогнозируемых рисков.

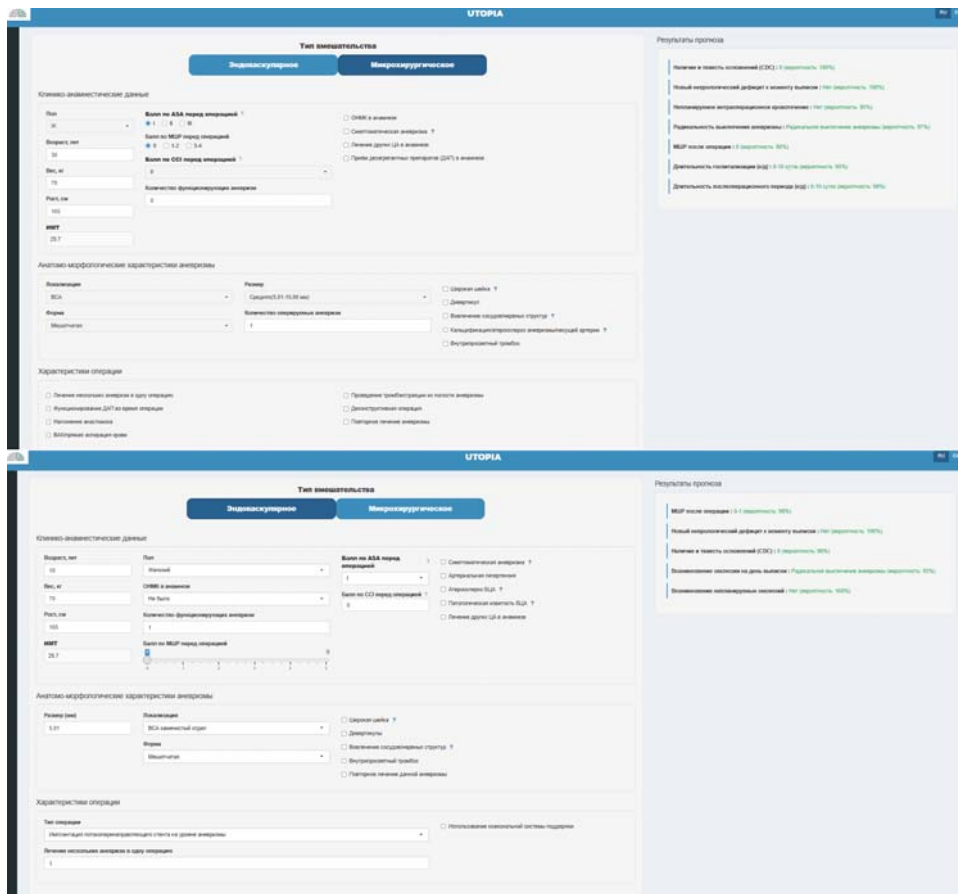


Рисунок 11 - Интерфейс приложения прогноза результатов хирургического лечения UTOPIA (сверху – страница прогноза результатов/осложнений микрохирургического лечения, снизу – страница прогноза результатов/осложнений эндоваскулярного лечения)

Таблица 1 - Качество прогноза моделей, предсказывающих результаты микрохирургического лечения нервавшихся аневризм

| Прогнозируемый результат | Алгоритм | Точность | | Сбалансированная точность | | Чувствительность | | Специфичность | | ROC-AUC | | F1-мера | |
|-----------------------------------|----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация | Ретроспективная валидация | Перспективная валидация |
| Новый неврологический дефицит | NBC | 0.86 | 0.93 | 0.63 | 0.72 | 0,50 | 0,65 | 0,76 | 0,79 | 0,72 | 0,28 | 0,62 | 0,55 |
| Функциональный статус при выписке | RF | 0.94 | 0.91 | 0.82 | 0.80 | 0,78 | 0,75 | 0,86 | 0,85 | 0,89 | 0,87 | 0,84 | 0,80 |
| Длительность п/о периода | NBC | 0.87 | 0.89 | 0.64 | 0.53 | 0,55 | 0,50 | 0,73 | 0,56 | 0,72 | 0,56 | 0,83 | 0,94 |
| Общая длительность госпитализации | NBC | 0.82 | 0.69 | 0.61 | 0.60 | 0,60 | 0,55 | 0,62 | 0,65 | 0,68 | 0,28 | 0,78 | 0,55 |

| Прогнозируемый результат | Алгоритм | Точность | | Сбалансированная точность | | Чувствительность | | Специфичность | | ROC-AUC | | F1-мера | |
|--|----------|----------|------|---------------------------|------|------------------|------|---------------|------|---------|------|---------|------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Радикальность исключения аневризмы | IDAC | 0.94 | 0.88 | 0.63 | 0.60 | 0.60 | 0.58 | 0.66 | 0.62 | 0.74 | 0.72 | 0.92 | 0.89 |
| Непланируемое интраоперационное кровотечение | NBC | 0.84 | 0.86 | 0.57 | 0.46 | 0.52 | 0.44 | 0.62 | 0.48 | 0.65 | 0.53 | 0.24 | 0.24 |
| Возникновение интрагоспитальных осложнений | IDAC | 0.96 | 0.90 | 0.74 | 0.70 | 0.72 | 0.68 | 0.76 | 0.72 | 0.72 | 0.71 | 0.88 | 0.82 |

Таблица 2 - Качество прогноза моделей, предсказывающих результаты эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм

| Прогнозируемый результат | Алгоритм | Точность | | Сбалансированная точность | | Чувствительность | | Специфичность | | ROC-AUC | | F1-мера | |
|--|----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация | Ретроспективная валидация | Проспективная валидация |
| Непланируемая окклюзия артерии | NBC | 0.98 | 0.98 | 0.66 | 0.50 | 0.58 | 0.50 | 0.74 | 0.50 | 0.62 | 0.51 | 0.61 | 0.53 |
| Функциональный статус при выписке | RF | 0.98 | 0.97 | 0.86 | 0.95 | 0.86 | 0.97 | 0.87 | 0.98 | 0.93 | 0.96 | 0.91 | 0.95 |
| Радикальность исключения аневризмы (на день выписки) | RF | 0.87 | 0.88 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.80 | 0.87 | 0.91 | 0.80 | 0.61 | 0.78 | 0.90 |
| Новый неврологический дефицит | NBC | 0.90 | 0.88 | 0.58 | 0.58 | 0.25 | 0.15 | 0.90 | 0.99 | 0.65 | 0.43 | 0.30 | 0.30 |
| Возникновение интрагоспитальных осложнений | NBC | 0.95 | 0.88 | 0.64 | 0.53 | 0.40 | 0.35 | 0.88 | 0.71 | 0.93 | 0.61 | 0.89 | 0.63 |

Для оценки потенциала приложения в повышении безопасности и эффективности хирургии проведён ретроспективный анализ 66 пациентов с неблагоприятными исходами/осложнениями, у которых существовали альтернативные методы хирургического лечения (32 пациента ЭВ группы, 34 – МХ группы).

Прогнозирование результатов альтернативной тактики с помощью УТОPIA показало следующее:

В группе пациентов, изначально пролеченных эндоваскулярно, альтернативный метод (МХ) имел преимущества в 78,1% случаев (повышение радикальности в 56%, безопасности в 60%). В 21,9% случаев прогноз подтвердил, что ЭВ метод был оптимальным. Таким образом, в 100% случаев применение приложения позволило бы объективно оценить тактику.

В группе пациентов, пролеченных микрохирургически, альтернативный метод (ЭВ) имел преимущества в 73,5% случаев (повышение радикальности в 12%, безопасности в 96%). В 8,8% случаев прогноз подтвердил правильность выбранного МХ метода. Объективный выбор тактики возможен в 82,3% случаев.

Суммарно из 66 проанализированных случаев использование УТОPIA на дооперационном этапе позволило бы улучшить результаты хирургического лечения в 75,8% (повысить радикальность в 34%, безопасность в 78%), а в 15,2% случаев подтвердить, что выбранный метод был оптимальным. В 91% подобных случаев применение приложения обеспечило бы объективный выбор оптимальной тактики лечения.

Клинические примеры, приведённые в диссертации, демонстрируют применимость УТОPIA для выбора между простым клипированием и клипированием с тромбэкстракцией, между реконструктивной и деконструктивной операцией с реваскуляризацией, между окклюзией микроспиральями и стент-ассистенцией/ППНС, а также для обоснования выбора МХ метода у пациентов, требующих последующего онкологического лечения и не имеющих возможности приёма длительной ДДТ.

Таким образом, прогностическое приложение УТОPIA обладает высоким клиническим потенциалом для снижения частоты неблагоприятных исходов, оптимизации показаний к хирургии и персонализированного выбора метода выключения нервавшихся церебральных аневризм, особенно в группах пациентов с повышенными хирургическими рисками или несколькими технически возможными вариантами лечения.

ВЫВОДЫ

1) Превентивное хирургическое лечение нервавшихся аневризм имеет низкие риски осложнений и неблагоприятных исходов. При микрохирургическом лечении частота летального исхода составляет 0,3%, частота грубого неврологического дефицита (mRS 4-5) – 1,9%, частота возникновения нового неврологического дефицита – 9,6%, частота нерадикального выключения аневризмы – 5,5%. При эндоваскулярном лечении частота летального исхода составляет 0,1%, частота грубого неврологического дефицита (mRS 4-5) – 0,7%, частота возникновения нового неврологического дефицита – 4,4%, частота нерадикального выключения аневризмы через 12 месяцев после операции – 26,5%.

2) Возраст 60 лет и старше ассоциирован с повышенной частотой возникновения интрагоспитальных осложнений – 24,2% при микрохирургическом лечении, 13,3% при эндоваскулярном лечении.

3) При микрохирургическом лечении соматический статус пациента по шкале CCI > 0 ассоциирован с повышенной частотой возникновения нового неврологического дефицита – 10,6%. При эндоваскулярном лечении соматический статус пациента по шкале ASA = 3 ассоциирован с повышенной частотой возникновения нового неврологического дефицита – 10,7%, а при соматическом статусе по шкале CCI \geq 7 баллам частота возникновения нового неврологического дефицита составляет 33,3%.

4) При симптоматическом типе течения аневризм чаще (по сравнению с бессимптомным типом течения) возникают неблагоприятные исходы и осложнения превентивного хирургического лечения. При микрохирургическом лечении частота функционального исхода mRS 4-6 баллов – 6,6%, частота летальных исходов – 0,8%, частота возникновения нового неврологического дефицита – 14,6%, возникновения тяжёлых (классификация CDC IV-V) интрагоспитальных осложнений – 9,9%. При эндоваскулярном лечении частота функционального исхода mRS 4-6 баллов – 3,1%, частота летальных исходов – 0,7%, частота возникновения нового неврологического дефицита – 13,3%,

возникновения умеренных и тяжёлых (классификация CDC III-V) интрагоспитальных осложнений – 4,6%;

5) Индексы Сложности Аневризмы (ИСА) позволяют выделить группу «сложных» аневризм, имеющих повышенные риски неблагоприятных исходов и осложнений хирургического лечения, относя к данной группе пациентов с Индекса Сложности Аневризмы микрохирургического (ИСАм) ≥ 3 и Индекса Сложности Аневризмы эндоваскулярного (ИСАэ) ≥ 2 баллам. Значение ИСАм ≥ 3 (по сравнению с ИСАм = 0) повышает риски непланируемого интраоперационного кровотечения из аневризмы/окружающих сосудов в 2,9-5,2 раза, плохого функционального исхода (mRS 4-6 баллов) в 4,4-22,9 раза, возникновения нового неврологического дефицита в 2,4-6,2 раза, возникновения умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений (классификация CDC III-V) в 2,7-4,6 раза, нерадикального выключения аневризмы в 11,4-24,1 раза. Значение ИСАэ ≥ 2 (по сравнению с ИСАэ = 0) повышает риски возникновения плохого функционального исхода (mRS 4-6 баллов) в 2,7-8,3 раза, возникновения нового неврологического дефицита в 4,9-16,7 раза, возникновения любых интрагоспитальных осложнений (классификация CDC I-V) в 2,0-3,5 раза, нерадикального выключения аневризмы через 6 месяцев в 2,5-2,8 раза, нерадикального выключения аневризмы через 12 месяцев в 2,5-4,3 раза

6) Шкала Распределения Пациентов (ШРП) на превентивное хирургическое лечение НА позволяет выделить группу повышенного риска, к которой относятся: для микрохирургического лечения - пациенты с ожидаемой частотой плохого функционального исхода (mRS ≥ 3 баллов) $>11,6\%$ (оценка по ШРП ≥ 2 баллов), возникновения нового неврологического дефицита $>9,7\%$ (оценка по ШРП ≥ 1 балла), возникновения умеренных и тяжёлых интрагоспитальных осложнений (классификация CDC III-V) $> 8,1\%$ (оценка по ШРП ≥ 2 баллов), нерадикального выключения аневризмы $> 4,9\%$ (оценка по ШРП ≥ 2 баллов), для эндоваскулярного лечения - пациенты с ожидаемой частотой плохого функционального исхода (mRS ≥ 3 баллов) $>6,1\%$ (оценка по ШРП ≥ 1 балла), возникновения нового неврологического дефицита $>4,5\%$

(оценка по ШРП ≥ 2 балла), нерадикального выключения аневризмы через 6 месяцев $> 28,8\%$ (оценка по ШРП ≥ 1 баллов);

7) Разработанные прогностические модели с применением алгоритмов машинного обучения позволяют предсказывать результаты микрохирургического лечения нервавшихся аневризм с точностью до 93%, чувствительностью до 75% и специфичностью до 85%, а эндоваскулярного с точностью до 98%, чувствительностью до 97% и специфичностью до 99%;

8) Персонализированный прогноз результатов/осложнений превентивной хирургии нервавшихся аневризм с применением технологий машинного обучения позволяет сделать объективный выбор между несколькими существующими методами выключения аневризмы в 91%, а среди пациентов с ожидаемыми неблагоприятными результатами хирургического лечения и несколькими возможными методами хирургического лечения позволит улучшить результаты в 75,8%, случаев.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1) Процесс оказания лечебно-диагностической помощи пациентам с нервавшимися аневризмами в Российской Федерации следует разделять на V этапов: I – выявление аневризмы, II – сравнение рисков различных методов лечения пациента и выбор между наблюдением и превентивной хирургией, III – выявление пациентов повышенного риска хирургического лечения и распределение пациентов на хирургическое лечение в региональные сосудистые центры и федеральные нейрохирургические центры, IV – проведение хирургического лечения, V – наблюдение за пациентом

2) На этапах сравнения рисков различных методов ведения пациента и выбора между наблюдением и превентивной хирургией (II и III этапы) целесообразно проводить объективную оценку рисков хирургического лечения с применением Шкалы Распределения Пациентов (ШРП) для выделения группы повышенного риска хирургического лечения.

3) Пациентов повышенного риска хирургического лечения

целесообразно направлять на хирургическое лечение в высококвалифицированные стационары, специализирующиеся на лечении цереброваскулярной патологии;

4) Применение созданных приложений персонализированного прогноза хирургического лечения нервавшихся аневризм на этапе выбора метода лечения может использоваться для сопоставления с рисками роста и разрыва аневризмы для объективного выбора тактики лечения;

5) Применение персонализированного прогноза результатов/осложнений хирургического лечения с использованием технологий машинного обучения может быть рекомендовано на этапе хирургического лечения (IV этап оказания медицинской лечебно-диагностической помощи) для пациентов группы повышенного риска хирургического лечения, а также для пациентов с несколькими вариантами хирургического лечения для объективного выбора наиболее безопасного и радикального способа;

6) Для изолированной оценки вероятностей неблагоприятных исходов и осложнений превентивного лечения нервавшихся аневризм во взаимосвязи с возрастом и соматическим статусом пациента может быть использован онлайн-калькулятор acsforaneurysm.ru;

7) Онлайн-калькуляторы исам.рф, исаэ.рф могут применяться для вычленения группы «сложных» аневризм и объективной оценки вероятностей неблагоприятных исходов и осложнений превентивного лечения нервавшихся аневризм во взаимосвязи с анатомоморфологическими характеристиками аневризмы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ:

1. **Гребенев Ф.В.**, Элиава Ш.Ш., Коновалов Ан Н., Данилов Г.В., Пилипенко Ю.В., Хейреддин А.С., Белоусова О.Б., Окишев Д.Н., Семенов Д.Э., Мамедбекова Г.Ш., Коледова Ю.В. Индекс сложности микрохирургического лечения нервавшихся аневризм сосудов головного мозга // Вопросы

нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2025. – № 3 (89) – С. 28-41.

2. Элиава Ш.Ш., Пилипенко Ю.В., Холматов М.Б., Белоусова О.Б., Хейреддин А.С., Окишев Д.Н., Коновалов Ан Н., **Гребенев Ф.В.** Результаты микрохирургического лечения 723 церебральных аневризм на основании одноцентрового проспективного исследования // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2025. – № 3 (89) – С. 60-67.

3. **Гребенев Ф.В.**, Яковлев С.Б., Элиава Ш.Ш., Данилов Г.В., Курзакова И.О., Арустамян С.Р., Виноградов Е.В., Коледова Ю.В., Саидов С.Ф. Индекс сложности эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм сосудов головного мозга // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2025. – № 4 (89) – С. 39-50.

4. Элиава Ш.Ш., Яковлев С.Б., Пилипенко Ю.В., Коновалов Ан.Н., Микеладзе К.Г., **Гребенев Ф.В.**, Хейреддин. А.С. Неразорвавшиеся бессимптомные аневризмы артериальных сосудов головного мозга: современные подходы к выбору хирургического метода и результаты лечения пациентов // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2021. – № 6 (85) – С. 6-13.

5. Пилипенко Ю.В., Элиава Ш.Ш., Коновалов А.Н., **Гребенев Ф.В.**, Барчунов Б.В. Результаты хирургического лечения гигантских аневризм средних мозговых артерий: ретроспективное исследование // Альманах клинической медицины – 2023. – № 1 (51) – С. 32-44.

6. Элиава Ш.Ш., Коновалов Ан Н., **Гребенев Ф.В.**, Шевченко Е.В., Савинков Р.С., Гребенников Д.С., Желткова В.В., Бочаров Г.А., Тельшев Д.В. Скрининг пациентов с аневризмами головного мозга: математический анализ и экономическое обоснование // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2023. – № 1 (87) – С. 15-24.

7. Пилипенко Ю.В., Элиава Ш.Ш., Абрамян А.А., Коновалов Ан Н., **Гребенев Ф.В.**, Арустамян С.Р. Хирургическое лечение гигантских аневризм средних мозговых артерий // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. – 2021. – № S1 (13) – С. 178.

Статьи в иностранных журналах:

1. **Grebenev F.V.**, Eliava Sh.Sh., Konovalov An.N., Danilov G.V., Yakovlev S.B., Pilipenko Yu.V., Kheyreddin A.S., Okishev D.N., Belousova O.B., Kurzakova I.O., Semenov D.E., Koledova Yu.V., Mamedbekova G.Sh., Saidov S.F., Gabrielyan L.R., Shmelev N.D.. Influence of age and comorbidity on the frequency of complications of surgical treatment of unruptured intracranial aneurysms // *eurosurgical Review* – 2025. – 48 – С. 1-12.

2. Pilipenko Yuri, Eliava Shalva, Abramyan Arevik, **Grebenev Fedor**, Birg Tatiana, Kheireddin Ali, Shekhtman Oleg, Arustamyan Sergey. Giant Middle Cerebral Artery Aneurysms: A 55-Patient Series // *World Neurosurgery* – 2021. – 155 – С. 727-737.

3. Konovalov Anton, **Grebenev Fyodor**, Artemyev Anton, Gadzhiagaev Vadim, Pilipenko Yuri, Okishev Dmitry, Manushkova Alina, Eliava Shalva, Chaurasia Bipin. Haemorrhagic Complications After Microsurgical Treatment for Intracranial Aneurysms Under Acetylsalicylic Acid: An Impact Analysis// *Cureus* – 2024. – № 6 (16) – С. 1-10.

4. Ishankulov Timur, **Grebenev Fyodor**, Strunina Uliya, Shekhtman Oleg, Eliava Shalva, Danilov Gleb. The Prediction of Functional Outcome after Microsurgical Treatment of Unruptured Intracranial Aneurysm Based on Machine Learning// *Studies in Health Technology and Informatics* – 2022. – 294 – С. 470-474.

5. Konovalov Anton, **Grebenev Fyodor**, Savinkov Rostislav, Grebennikov Dmitry, Zheltkova Valeria, Bocharov Gennady, Telyshev Dmitry, Eliava Shalva. Mathematical analysis of the effectiveness of screening for intracranial aneurysms in first-degree relatives of persons with SAH// *World Neurosurgery* – 2023. – 175 – С. 542-573.

Тезисы докладов в сборниках конференций:

1. **Гребенев Ф.В.**, Элиава Ш.Ш., Данилов Г.В., Яковлев С.Б., Коновалов А.Н., Пилипенко Ю.В., Хейреддин А.С., Окишев Д.Н./ Прогнозирование рисков микрохирургического и эндоваскулярного лечения нервавшихся аневризм сосудов головного мозга // в сборнике конференции X съезд нейрохирургов

России (2024 год, тезисы), С. 408.

2. **Гребенев Ф.В.**, Ишанкулов Т.А., Шехтман О.Д., Данилов Г.В., Струнина Ю.В., Элиава Ш.Ш./ Прогнозирование функционального исхода после микрохирургического лечения нервавшихся аневризм мозга с помощью машинного обучения // в сборнике III Всероссийской конференции молодых нейрохирургов в рамках Всероссийского нейрохирургического форума (2022 год, тезисы), С. 21.

3. Artemyev A., Konovalov A., **Grebenev F.**, Gadzhiagaev V., Pilipenko Y., Okishev D., Manushkova A., Lubnin A., Eliava S. / Hemorrhagic complications after microsurgical treatment for intracranial aneurysms under acetylsalicylic acid: an impact analysis. // ICOCIMS International student Congress of Clinical Innovations and Medical Sciences Abstract Book, С. 37-38.

4. Артемьев А.А., **Гребенев Ф.В.**, Гаджиагаев В.С., Коновалов А.Н./ Влияние приема дезагрегантных лекарственных средств на риск геморрагических осложнений при микрохирургическом лечении интракраниальных аневризм // в сборнике конференции " XIX Международная (XXVIII Всероссийская) Пироговская научная медицинская конференция студентов и молодых ученых (2024 год, тезисы), С. 1-2.

Монографии:

1. Элиава Ш.Ш., Яковлев С.Б., Пронин И.Н., Абрамян А.А., Варюхина М.Д., **Гребенев Ф.В.**, Кафтанов А.Н., Коновалов А.Н., Курдюмова Н.В., Микеладзе К.Г., Окишев Д.Н., Пилипенко Ю.В., Табасаранский Т.Ф., Хейреддин А.С., Шехтман О.Д. Превентивное хирургическое лечение аневризм головного мозга под ред. проф. Элиава Ш. Ш // ФГУП Издательство «Наука». – 2021. — С. 312.

2. Хейреддин А.С., Пилипенко Ю.В., **Гребенев Ф.В.** Особенности лечения неразрывавшихся бессимптомных (случайных) аневризм // Нейрохирургия. Национальное руководство. Том III. Сосудистая нейрохирургия под ред. Д. Ю. Усачева, Ш. Ш. Элиавы, С. Б. Яковлева, О. Б. Белоусовой– 2023. — С. 143-146.

3. Пилипенко Ю.В., Элиава Ш.Ш., Окишев Д.Н., Коновалов А.Н.,

Гребенев Ф.В. Микрохирургия сложных аневризм средних мозговых артерий: крупных, гигантских, фузиформных и частично тромбированных // ООО "Практическая Медицина". – 2025. — С. 324.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АМХ – анатомоморфологические характеристики
БА – базилярная артерия
БЦА - брахиоцефальная артерия
ВББ – вертебро-базилярный бассейн
ВСА – внутренняя сонная артерия
ЗМА – задняя мозговая артерия
ИИ - искусственный интеллект
ИСАм – индекс сложности микрохирургического лечения аневризмы
ИСАэ – индекс сложности эндоваскулярного лечения аневризмы
МО - машинное обучение
МХ - микрохирургический
МШР – модифицированная шкала Рэнкин
НА - нервавшаяся аневризма
НБА – нервавшаяся бессимптомная аневризма
НСА – нервавшаяся симптоматическая аневризма
ПА - позвоночная артерия
ППНС – потокоперенаправляющий стент
РОАН – классификация Радикальности Оклюзии Аневризм после эндоваскулярного лечения
РСЦ - региональный сосудистый центр
СВШ – соматико-возрастная шкала
ФЦ - федеральный центр
ЦА - церебральная аневризма
ШРП – Шкала Распределения Пациентов на превентивной хирургическое лечение НА

ЭВ - эндоваскулярный

ASA - American Society of Anesthesiologists (Американское общество анестезиологов)

CCI – Charlson Comorbidity Index (Индекс коморбидности Чарлсон)

CDC – Clavien-Dindo Classification (Классификация тяжести хирургических осложнений Clavien-Dindo)

mRS – modified Rankin Scale (модифицированная Шкала Рэнкин)