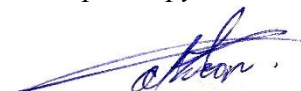


*На правах рукописи*



АЛЗИРАЛХУСЕЙНИ

Абдаллах Ф. И.

ПРЕДИКТОРЫ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ИСХОДОВ МИКРОВАСКУЛЯРНОЙ  
ДЕКОМПРЕССИИ У ПАЦИЕНТОВ С КЛАССИЧЕСКОЙ ТРИГЕМИНАЛЬНОЙ  
НЕВРАЛГИЕЙ

3.1.10. - Нейрохирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Новосибирск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательной учреждении высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, профессор

**Рзаев Джамиль Афет оглы**

**Официальные оппоненты:**

**Пошатаев Владимир Кириллович** – доктор медицинских наук, ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, врач-нейрохирург, ведущий научный сотрудник

**Семёнов Александр Валерьевич** – доктор медицинских наук, Областное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Иркутская городская клиническая больница № 3», врач-нейрохирург, заведующий отделением нейрохирургии, главный нейрохирург г. Иркутска

**Ведущая организация:** Государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И.И. Джанелидзе»

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г. в 10.00 час. на заседании диссертационного совета 21.1.047.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Министерства здравоохранения Российской Федерации, по адресу: 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д.17.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России по адресу: 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, и на официальном сайте организации <https://niito.ru/nauka/dissertationalcouncil/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 21.1.047.01  
доктор медицинских наук, доцент

Кириллова Ирина Анатольевна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Хроническая боль считается одной из главных острых и нерешенных задач здравоохранения. Расстройства, сопровождающиеся хронической лицевой болью, приводят к выраженным нарушениям трудоспособности пациентов, уменьшению их повседневной активности, возникновению психопатологической симптоматики и, как следствие, значительному снижению качества жизни. Лечение пациентов с хронической лицевой болью представляет серьезную проблему как для общества в целом, так для системы здравоохранения, в частности.

В большинстве случаев лицевые боли имеют хроническое и рецидивирующее течение и характеризуются высокой устойчивостью к проводимому лечению. Препараты первой линии для фармакологического лечения боли представлены несколькими группами, в основном, антиконвульсантами и антидепрессантами (селективные ингибиторы обратного захвата серотонина и норадреналина, трициклические антидепрессанты). Однако около 10 % пациентов со временем перестают отвечать на прием препаратов, что может сопровождаться увеличением интенсивности болевого синдрома. Вследствие ухудшения качества жизни, а также невозможности контролировать течение заболевания с помощью лекарственных средств, такие пациенты направляются в нейрохирургические стационары.

После первой операции микроваскулярной декомпрессии (МВД) большинство пациентов достигают ремиссии, однако, примерно в 20 % случаев хирургическое лечение не избавляет пациентов от болей, либо болевой синдром рецидивирует в течение первого года, что требует проведения дополнительных хирургических вмешательств. Несмотря на активное изучение этой проблемы медицинским сообществом, на данный момент остается неясным, какие факторы влияют на благоприятный исход операции. Большой вклад в изучение данного вопроса способно внести изучение электрофизиологических процессов, протекающих в корешке тройничного нерва (кТН) у пациентов с классической невралгией тройничного нерва (кНТН) с использованием специальных нейрофизиологических методов. Кроме того, разработка новых диагностических алгоритмов и анализа полученных данных с помощью методов машинного обучения позволит оптимизировать тактику лечения пациентов с труднокурабельной хронической лицевой болью. На данный момент в распоряжении клиницистов отсутствуют надежные и объективные предикторы успешности и эффективности проводимых или планируемых хирургических интервенций, что является следствием неблагоприятных исходов с сохранением болевой симптоматики. Персонализированный подход к терапии с учетом надежных предикторов эффективности декомпрессии у пациентов с хронической лицевой болью позволит существенно улучшить качество оказываемых медицинских услуг, повысить качество жизни пациентов, а также сократить экономическую нагрузку за счет оптимизации алгоритмов принятия решения лечащими врачами.

### **Цель исследования**

Улучшение результатов лечения пациентов с классической тригеминальной невралгией путём прогнозирования исходов микроваскулярной декомпрессии тройничного нерва

## **Задачи исследования**

1. Выполнить интраоперационную регистрацию и анализ электрической активности корешка тройничного нерва у пациентов с классической тригеминальной невралгией и пациентов контрольной группы.
2. Оценить взаимосвязи демографических, клинических и нейрорадиологических показателей у пациентов с различными типами невровазкулярного конфликта в зависимости от результатов хирургического лечения с использованием мультимодального анализа.
3. Разработать математическую модель прогнозирования хирургических исходов микроваскулярной декомпрессии.

## **Научная новизна**

Впервые представлены данные интраоперационной микронейрографии кТН у пациентов с кНТН. У данных пациентов были зарегистрированы специфические паттерны патологической активности в кТН, которые коррелировали с интенсивностью лицевой боли. Отмечено, что при выполнении микроваскулярной декомпрессии отмечалось уменьшение такой патологической активности, что также коррелировало с наличием/отсутствием лицевой боли после операции. Интраоперативная идентификация данных паттернов в ходе МВД может служить предиктором эффективности оперативного вмешательства.

Впервые на основе интеграции мультимодальных данных пациента разработана математическая модель предсказания хирургических исходов микроваскулярной декомпрессии. Таким образом, основное отличие текущего научного исследования от работ, представленных в международной и отечественной научной литературе, заключается в проведении интраоперационного нейрофизиологического обследования, а также опоре на сочетанное использование диагностических методов и подходов, ранее анализируемых по отдельности.

Кроме того, в работе представлен детальный анализ хирургических исходов у пациентов с различными типами невровазкулярного конфликта (НВК) с оценкой вклада отдельных демографических и клинических показателей, а также параметров, извлеченных из данных магнитно-резонансной томографии (МРТ).

## **Теоретическая и практическая значимость работы**

Значимость проведенного исследования для клинической практики связана с оценкой возможностей применения интраоперационного инвазивного мониторинга электрической активности (ЭА) кТН для более глубокого понимания патогенеза заболевания, а также с разработкой математической прогностической модели предсказания исходов МВД у данной группы пациентов. Реализация подобного подхода является отражением текущего тренда персонализированной медицины и внедрения методов машинного обучения для обработки больших массивов клинических данных, что позволяет достигать лучших результатов лечения.

На большем объеме данных представленная модель может быть реализована в виде программного обеспечения для использования в рутинной клинической практике в качестве системы помощи в принятии врачебных решений. Разработанная модель способна улучшить

исходы оперативных вмешательств за счет принятия более взвешенных и комплексных решений на этапе отбора пациентов, для которых планируемое вмешательство будет максимально эффективным.

### **Методология и методы диссертационного исследования**

Методологической основой текущей работы выступили современные отечественные и зарубежные подходы к терапии пациентов с хронической лицевой болью, соответствующие принципам доказательной медицины.

В качестве методов исследования были использованы: метод клинической беседы для сбора анамнеза, нейрофизиологические методы (микронейрография), метод валидизированных клинических шкал для оценки интенсивности болевого синдрома, методы нейровизуализации (МРТ), метод хирургического лечения (микроваскулярная декомпрессия) и методы статистического анализа полученных данных.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. При проведении интраоперационной микронейрографии корешка тройничного нерва у пациентов с классической невралгией тройничного нерва, в отличие от пациентов контрольной группы, регистрируются паттерны электрической активности, которые коррелируют с выраженностью лицевой боли.

2. Разработанная прогностическая математическая модель для предсказания долгосрочных исходов микроваскулярной декомпрессии. Среди 23 включенных в модель предикторов наиболее информативными являются степень компрессии тройничного нерва по M. Sindou, угол ипсилатерального каменистого гребня височной кости, возраст пациента и фракционная анизотропия кТН с симптоматичной стороны.

### **Степень достоверности**

При выполнении научного исследования была отобрана большая репрезентативная выборка пациентов с кНТН, собран значительный массив данных по каждому пациенту, который в дальнейшем подвергся обработке с применением современных методов статистического анализа и машинного обучения.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: 23-й Всероссийской научно-практической конференции «Поленовские чтения» с международным участием (Санкт-Петербург, 2024), 15-й Российской (итоговой) научно-практической конкурс-конференции с международным участием студентов и молодых ученых «Авиценна-2024», посвященная 100-летию со дня рождения академика РАН, профессора В. П. Казначеева (Новосибирск, 2024); 7th International conference on neurology and psychology (ОАЭ, 2024); 4th Dubai neurology congress (ОАЭ, 2024), 9th Emirates international neurosurgical conference (ОАЭ, 2024).

Диссертационная работа апробирована на заседании проблемной комиссии «Актуальные проблемы хирургических методов лечения заболеваний» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Новосибирск, 2025).

Диссертация выполнена в соответствии с утвержденным направлением научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России по теме «Разработка и совершенствование методов профилактики, раннего выявления и хирургического лечения повреждений и заболеваний органов грудной и брюшной полости, органов головы, шеи и опорно-двигательного аппарата», номер государственной регистрации 121061700005-9.

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты, полученные при выполнении данного диссертационного исследования, внедрены в работу 5-го нейрохирургического отделения (функциональная нейрохирургия) ФГБУ ФЦН Минздрава России г. Новосибирск.

### **Личный вклад автора**

Автор принимал непосредственное участие в проведении хирургических операций, а также активно участвовал во всех этапах сбора и обработки данных текущего ретроспективного исследования. Им была проанализирована база данных 537 пациентов, которые были госпитализированы для проведения хирургического лечения в ФГБУ ФЦН Минздрава России г. Новосибирска с января 2013 года по декабрь 2023 года. Автор лично проводил телефонное интервью с пациентами для определения долгосрочных исходов хирургических вмешательств (по шкале Неврологического института Барроу (BNI)). На завершающих этапах исследования им был выполнен анализ полученных результатов в сравнении с имеющимися опубликованными данными в отечественной и зарубежной научной литературе по теме исследования.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 143 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Список литературы представлен 200 источниками, из которых 182 в зарубежных изданиях. Полученные результаты проиллюстрированы с помощью 15 таблиц и 31 рисунка.

# ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## 1. Клиническая характеристика пациентов

Общую выборку данного ретроспективного моноцентрового исследования составили 537 пациентов с НТН, которым с января 2013 г. по декабрь 2023 г. на базе Федерального центра нейрохирургии г. Новосибирска было проведено хирургическое лечение.

Из общей выборки в дальнейшем производился отбор пациентов, соответствующих сформулированным критериям включения (Рисунок 1).

Критерии включения пациентов в исследования были сформулированы следующим образом: возраст пациентов более 18 лет на момент госпитализации; наличие подписанного информированного согласия об участии в научном исследовании; неэффективность контроля приступов фармакологической терапией и/или выраженные побочные эффекты от терапии; наличие НВК по данным МРТ обследования; отсутствие предшествующих хирургических вмешательств по поводу лицевой боли в анамнезе; пароксизмальный и постоянный типы боли.

Критериями исключения являлись: повторное хирургическое вмешательство по поводу НТН; вторичная НТН, вызванная опухолью, рассеянным склерозом или артериовенозными мальформациями; васкулярная компрессия иных черепных нервов, кроме ТН; отсутствие информированного согласия на участие в исследовании; билатеральная лицевая боль.

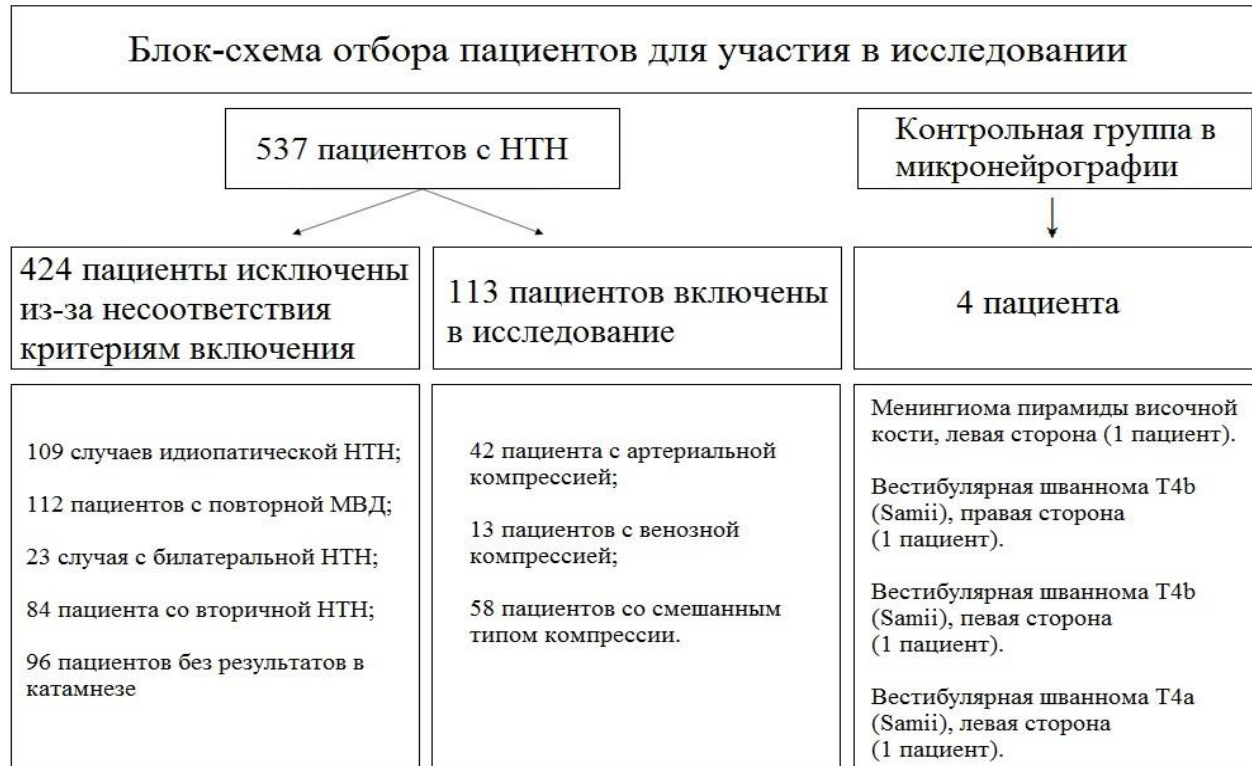


Рисунок 1 – Блок-схема отбора пациентов для участия в исследовании

Диагностика и верификация диагноза НТН была выполнена по критериям Международной классификации головной боли 3-го пересмотра.

Пациенты, участвовавшие в исследовании, были подразделены на 3 группы в зависимости от типа компрессирующего сосуда. В первую группу вошли пациенты с артериальной компрессией, во вторую – с венозной, а третью группу составили пациенты со смешанным типом компрессии (артерия + вена).

Наличие и тяжесть НВК при кНТН оценивалась в соответствии с системой, разработанной M. Sindou. Эта классификация была основана на результатах визуализации и описывала степень конфликта следующим образом: grade 1 соответствует простому контакту между сосудом и нервом; grade 2 характеризуется смещением или деформацией нерва сосудом; grade 3 выставляется, когда имеется выраженное вдавление (индентация) нервного корешка.

## 2.Магнитно-резонансная томография

Исследование было проведено на МР-томографе 3T Philips Ingenia. Используемые в протоколе последовательности МРТ включали: турбо-филд-эхо (3D Turbo Field Echo, TFE) для T1-взвешенной визуализации, турбо-спин-эхо (3D Turbo Spin Echo, TSE) для T2-взвешенной визуализации и визуализации в режиме CISS, 2D TSE для МРТ-сканирования с контрастом в режиме FLAIR, спин-эхо (3D Spin Echo, SE) для реализации МРТ в режиме времяпролетной визуализации (3D TOF) и 3D-эхопланарной визуализации (Echo planar imaging, EPI) для диффузионно-взвешенного картирования.

В рамках данного исследования такие предикторы, как диаметр кТН, площадь поперечного сечения кТН, длина корешка, величина тригеминально-понтинного угла, межтройничный угол, площадь поперечного сечения препонтинной цистерны, сагиттальный угол и угол каменистого гребня оценивались и измерялись в осевом, сагиттальном направлении (Рисунок 2 и 3).

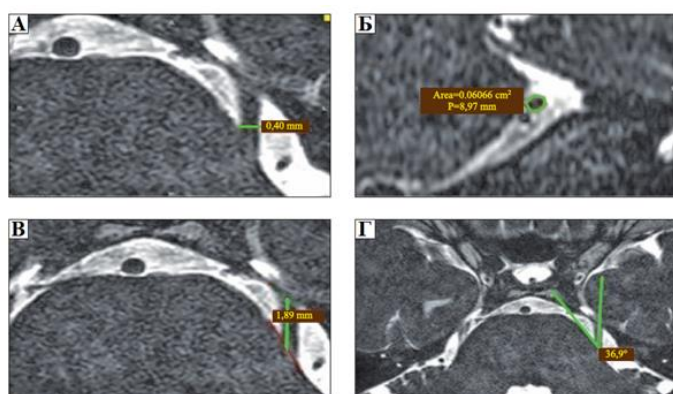


Рисунок 2 – Измерение диаметра кТН (аксиальный вид) (А), площади кТН (сагиттальный вид) (Б), длины кТН от Варолиева моста до входа в полость Меккеля (аксиальный вид) (В), угла между кТН и передней поверхностью Варолиева моста (аксиальный вид) (Г)

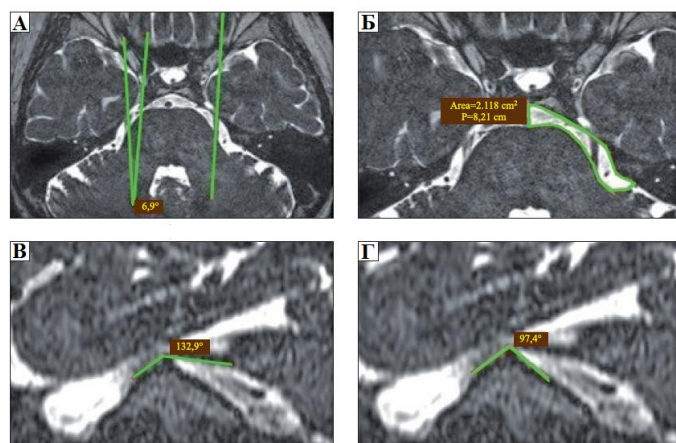
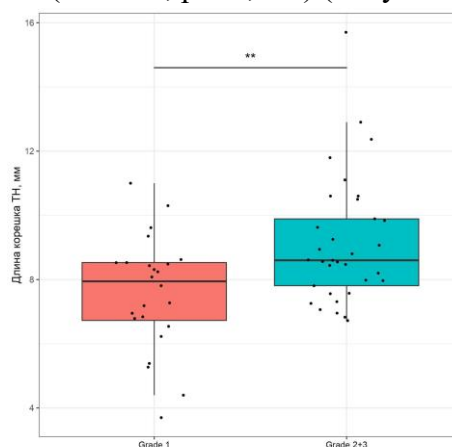


Рисунок 3 – Измерение межтригеминального угла (аксиальный вид) (А), площади поперечного сечения препонтинной цистерны (аксиальный вид) (Б), сагиттального угла ТН у forus trigeminus (сагиттальный вид) (В), угла каменистого гребня (сагиттальный вид) (Г)

По данным МРТ, у 25 пациентов была обнаружена компрессия Grade 1, у 15 пациентов – Grade 2 и еще у 18 пациентов – Grade 3. У пациентов с низкой степенью компрессии (Grade 1) по сравнению с пациентами с более выраженной компрессией (Grade 2 + 3) выявлена меньшая длина кТН ( $U = 227, p = 0,006$ ) (Рисунок 4).



Примечание: знак \*\* указывает на наличие статистически значимых различий на уровне  $p < 0,01$ .

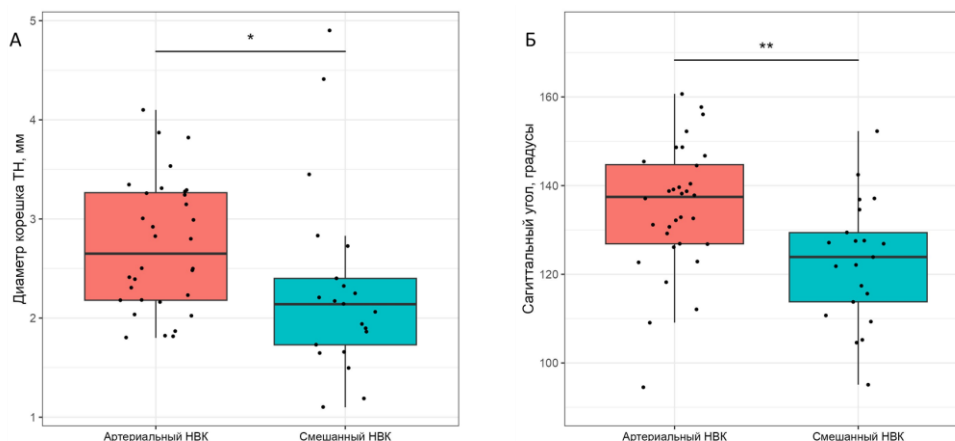
Рисунок 4 – Сравнение медианных значений длины кТН в группах пациентов с Grade 1 и объединенной группе Grade 2 + 3

Диаметр кТН с симптоматичной стороны статистически значимо различался в группах с артериальной и смешанной компрессией ( $p = 0,027$ ) (Рисунок 5А). В группе с артериальной компрессией медианные значения диаметра были выше (2,63 мм), чем в группе со смешанной (2,14 мм).

Подобные различия были выявлены для величин тригеминально-понтинного угла, где применение критерия Краскела – Уоллиса позволило отвергнуть нулевую гипотезу со значимостью  $p = 0,046$ . Однако, результаты последующего попарного сравнения групп тестом Даньес свидетельствовали об отсутствии статистической значимости для измеряемого параметра, отражая лишь различия на уровне тенденции ( $p = 0,08$ ; 35,2 градуса

– для артериальной, 27,8 градуса – для смешанной). Значения сагиттального угла различались у пациентов с разными типами НВК ( $H(2) = 10,93, p = 0,004$ ).

Эти значения были выше для пациентов с артериальной компрессией – 137,1 против 123,9 градуса у пациентов со смешанным типом конфликта ( $p = 0,009$ ) (Рисунок 5Б). Остальные вышеобозначенные показатели не различались между группами (все  $p > 0,1$ ). Значения FA не различались между группами и не коррелировали статистически значимо со степенью компрессии ( $r = -0,12, p = 0,36$ ).



Примечание: Статистически значимые различия обозначены \* для  $p < 0,05$  и \*\* для  $p < 0,01$ .

Рисунок 5 – Сравнение медианных значений диаметра кТН (панель А) и величин сагиттального угла (панель Б) у пациентов в группах с артериальным и смешанным типами компрессии

### 3. Микронейрография тройничного нерва

Для изучения интраоперационной активности ТН использовался метод микронейрографии (МНГ). Исследование включало 3 группы пациентов с НТН: МВД с тактильной стимуляцией (группа 1), МВД без тактильной стимуляции (группа 2) и контрольная группа пациентов с опухолями задней черепной ямки (ЗЧЯ) без признаков НТН с тактильной стимуляцией (группа 3). Пациентам проводилась ретросигмоидная краниотомия, регистрирующий электрод (Alpha Omega) погружался в кТН в REZ и фиксировался с помощью ретрактора Leyla, рисунок 6. Перед погружением электрода выполнялось картирование кТН биполярным электродом для идентификации клинически значимой порции ТН. Процедуру МНГ начинали с измерения импеданса (0,4–0,6 МОм); тактильная стимуляция лица проводилась дважды (до и после МВД) в группе 1 и один раз в группе 3. Стимуляция включала легкое поглаживание пальцами в перчатках или ватным тампоном (поверхностная стимуляция), а также надавливание пальцем в перчатке на точки V1–V3 (глубокая стимуляция). В группе 2 МНГ проводилась без стимуляции лица. В контрольной группе (группа 3) регистрация ЭА кТН проводилась аналогично вместе с тактильной стимуляцией лица после удаления опухоли и визуальной оценки целостности кТН. Для регистрации ЭА кТН (измерения напряжения в микро- или милливольтгах) использовалась система для микроэлектродного анализа MicroGuide (Alpha Omega) (полосовой фильтр – 0,5–6 кГц, усиление – 160–1 200). Полученные данные анализировались с помощью программы Spike2. ЭА оценивалась как отношение амплитуды к фону в вольтах.

Важной задачей исследования было сравнение ЭА кТН с сохранением боли у пациентов с НТН, поэтому интраоперационные записи МНГ сопоставлялись с клинической симптоматикой после операции с использованием шкал ВАШ и BNI.

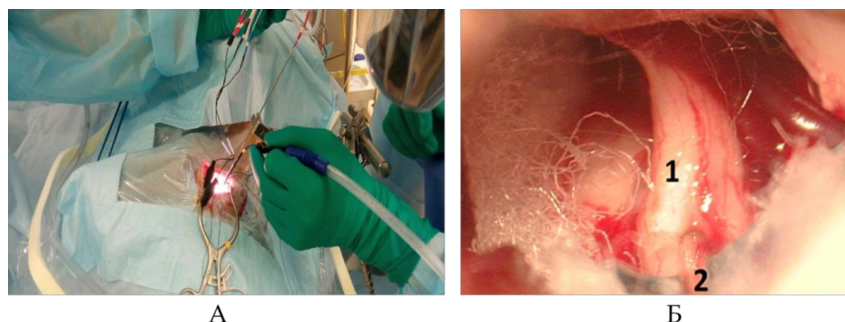


Рисунок 6 А – фиксированный в ретракторе Leuyl регистрирующий электрод. Референтный, заземляющий электроды и другие неиспользуемые контакты подключены к внутрикожному электроду на ипсилатеральной стороне или к ретрактору. Б – интраоперационный вид кТН (1) и регистрирующего электрода (2).

Результаты хирургического лечения и данные МНГ представлены в Таблице 1. Анализировалась взаимосвязь между рецидивом или регрессом боли и результатами регистрации ЭА в ТН.

Таблица 1 – Результаты хирургического лечения и ЭА кТН у пациентов с НТН

Группа	Пациент	Эффективность МВД	Фактор компрессии кТН	ЭА до операции	ЭА после операции	Повторная операция (да/нет) и результат
1	1	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
	2*	рецидив боли	петля ВМА	+	+	да, полный регресс боли
	3	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
	4*	сохранилась боль	петля ВМА	+	+	нет, консервативная терапия
	5	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
	6	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
	7*	рецидив боли	петля ВМА	+	+	да, полный регресс боли
	8	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
	9	регресс боли	петля ВМА	+	–	—
2	10	регресс боли	петля ВМА	–	–	—
	11	регресс боли	приток вены Денди	–	–	—
	12	регресс боли	петля ВМА	–	–	—
	13	регресс боли	петля ВМА	–	–	—

Примечание: \* – рецидив боли и регистрация вызванной ЭА кТН после декомпрессии.

В группе 1 всем пациентам проводилась тактильная стимуляция (поверхностная и глубокая) до и после МВД. Примечательно, что поверхностная стимуляция на лице не вызывала никакой активности в кТН. При глубокой стимуляции ЭА регистрировалась до декомпрессии у каждого пациента и присутствовала только во время стимуляции (Рисунок 7а, см. Таблицу 1). Стоит отметить, что в этих случаях не наблюдалось явлений постразрядной ЭА (Рисунок 7б).

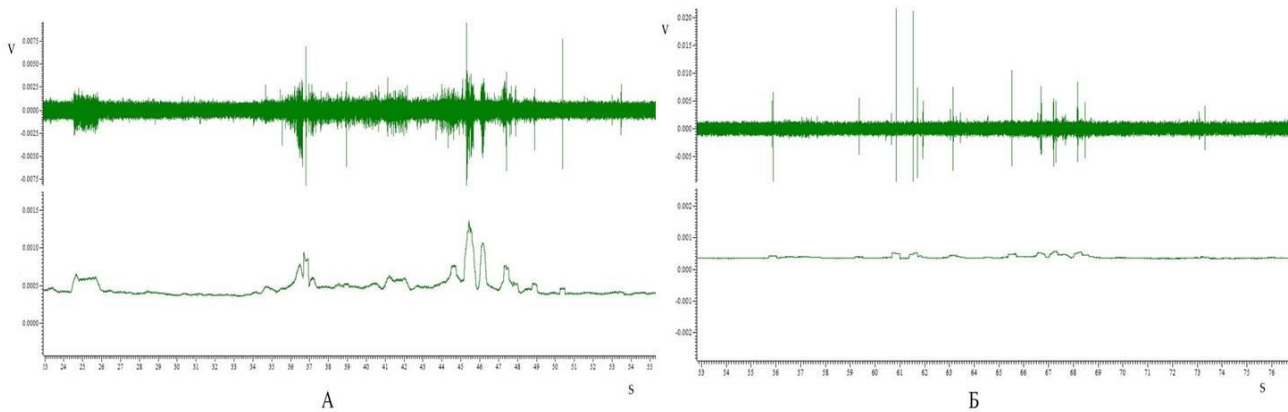


Рисунок 7 – ЭА кТН до (А) и после МВД (Б), пациент 1, группа 1. После декомпрессии ЭА кТН снизилась, боль регрессировала.

В 67 % случаев (6 из 9; пациенты 1, 3, 5, 6, 8, 9) наблюдалось значительное снижение ЭА, при этом лицевая боль регрессировала (см. Таблицу 1). В 3 из 9 случаев (пациенты 2, 4, 7) ЭА кТН регистрировалась и после декомпрессии (Рисунок 8, внизу, см. Таблицу 1).

Во всех этих случаях лицевая боль также сохранялась после операции. Двое из этих пациентов (2 и 7) потребовали повторной операции с хорошими послеоперационными исходами в обоих случаях. По нашему мнению, декомпрессия кТН во время первого хирургического вмешательства у пациентов 2 и 7 была неполной, что стало причиной сохранения болей после операции. В третьем случае (пациент 4) наблюдалось постепенное уменьшение интенсивности боли (1–4 ВАШ) на фоне проведения консервативной терапии; повторная операция в этом случае не проводилась.

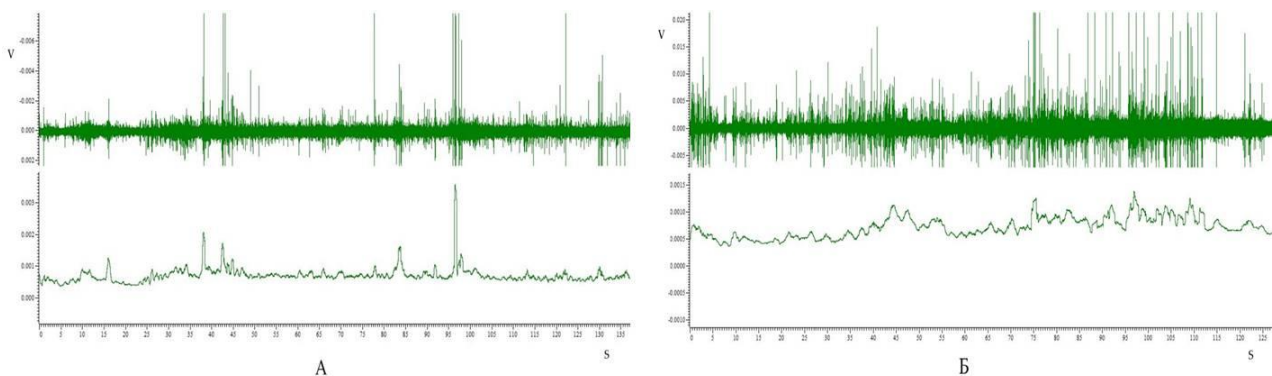


Рисунок 8 – ЭА кТН до (А) и после МВД (Б), пациент 4, группа 1, лицевая боль сохранялась после операции.

Основной задачей в группе 2 была оценка спонтанной активности без какой-либо тактильной стимуляции (поверхностной или глубокой) во время регистрации ЭА кТН. У всех пациентов данной группы эктопической спонтанной ЭА кТН при отсутствии тактильной стимуляции лица зафиксировано не было (см. Таблицу 1).

Для оценки ЭА кТН у пациентов без НТН была изучена группа пациентов с опухолями ЗЧЯ (Таблица 2). В этой группе также проводилась тактильная стимуляция лица (поверхностная и глубокая), аналогично пациентам в группе 1, однократно после удаления опухоли. Клинически у пациентов данной группы до операции отмечались нарушения лицевой чувствительности, но без признаков вторичной НТН. Интраоперационно в большинстве случаев (3 из 4) кТН был деформирован опухолью. Неудивительно, что во время МНГ ЭА кТН, специфичная для пациентов с НТН, обнаружена не была (Таблица 2).

Таблица 2 – ЭА кТН у пациентов контрольной группы. МНГ кТН проводилась после удаления опухоли

Пациент ##	Диагноз	кТН интраоперационно	ЭА кТН
14	Менингиома пирамиды височной кости, левая сторона	истончен, смещен и уплощен	—
15	Вестибулярная шваннома Т4b (Сами), правая сторона	растянут и сплющен	—
16	Вестибулярная шваннома Т4b (Сами), левая сторона	растянут и сплющен	—
17	Вестибулярная шваннома Т4a (Сами), левая сторона	интактен	—

Были оценены соотношения ЭА к фону у пациентов с НТН до и после операции. Были рассмотрены две группы пациентов: пациенты с регрессом боли (1, 3, 5, 6, 8, 9, группа А) и пациенты с сохранением боли (2, 4, 7, группа Б) после операции. Результаты сравнения отношений между группами А, Б, а также соотношения ЭА к фону до операции (средняя активность/средний фон) представлены на Рисунке 9. Различий в распределении между группами отмечено не было. Примечательно, что у всех пациентов до операции это соотношение превышало значение 1 как минимум на 28 % (Рисунок 9).

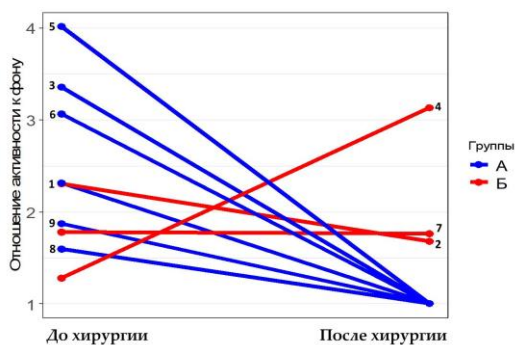


Рисунок 9: А – группа пациентов с регрессом боли (1, 3, 5, 6, 8, 9); Б – группа пациентов с рецидивом боли (2, 4, 7). Показано отношение амплитуды ЭА в вольтах к фону (средняя активность/средний фон) у пациентов группы 1 с НТН до операции (МВД)

После операции в группе Б отношение амплитуды ЭА к фону составило 1,68 (пациент 2), 3,13 (пациент 4), 1,76 (пациент 7), тогда как в группе А это отношение соответствовало значению 1 (активности нет) (двусторонний тест Манна – Уитни,  $p = 0,003$ ). Таким образом, отношение амплитуды к фону у пациентов с НТН с сохраняющейся болью после операции (группа Б) было значительно выше значения 1.

#### 4. Микроваскулярная декомпрессия и результаты хирургии

Под эндотрахеальным наркозом в положении пациента на боку, голова фиксировалась в скобе Мейфилда, произведился С-образный разрез за ушной раковиной. Скелетировалась область астериона, из одного фрезевого отверстия выполнялась краниэктомия диаметром до 2 см с широким вскрытием ячеек сосцевидного отростка. Твердая мозговая оболочка (ТМО) рассекалась линейным разрезом параллельно заднему краю сигмовидного синуса. Края ТМО фиксировались на держалки, рассекалась паутинная оболочка в области акустико-фациальной группы краниальных нервов, ликвор дренировался. Затем осуществлялся подход к верхним этажам мосто-мозжечкового угла (ММУ). При необходимости коагулировались и пересекались притоки вены Денди. Компрессирующую нерв сосудистую петлю, отводили и отделяли небольшими фрагментами тefлоновой ваты. Дополнительно при необходимости выполнялась процедура МНГ до и после выполнения МВД. Далее выполнялся гемостаз и проводилась проба Вальсальвы. ТМО ушивалась наглухо, герметезировалась пластинками тахокомба. Костный дефект не пластировался, рана ушивалась наглухо.

Таблица 3 – Типы причинных сосудов, вызывающие НВК: ВМА, ПНМА, базилярная (основная) артерия (БА), ВКВ, ГКВ, поперечная каменистая вена (ПКВ), мосто-мозжечковая вена (ММВ), мосто-среднемозговая вена (МСВ)

Тип причинного сосуда		Количество НВК	%
113 НВК	ВМА	85	75,22
	ВМА + ПНМА	14	12,4
	ВМА + ПНМА + БА	6	5,31
	ПНМА	3	2,65
	ВМА + БА	2	1,77
	ПНМА + БА	2	1,77
	БА	1	0,88
97 НВК	стволы ВКВ	52	53,61
	стволы ГКВ	14	14,43
	стволы ВКВ + ГКВ	10	10,31
	ПКВ	4	4,12
	ММВ	3	3,09
	МСВ	1	1,03
	Название вены не упоминается	13	13,34

В рамках данного исследования были проанализированы различные типы НВК (артериальные, венозные и артериовенозные или смешанные): локализация и место

компрессии по отношению кТН, тип выполненной МВД в каждом конкретном случае, а также исходы хирургического лечения. Отдельное внимание было уделено хирургической тактике при венозной компрессии. В результате исследования было обнаружено, что в группе с артериальной компрессией в 75,22 % НВК встречалась ВМА, а также ее комбинация с ПНМА в 12,4 % (Таблица 3). Стволы верхней каменистой вены (ВКВ) наиболее часто (в 53,61 % случаев) являлись причиной венозных НВК, реже – стволы глубокой каменистой вены (ГКВ) (в 14,43 % случаев), либо комбинации этих сосудов (ВКВ + ГКВ) в 10,31 % случаев венозных НВК (Таблица 3).

Артериальный конфликт был обнаружен в 53,8 % среди всех НВК (n = 210), венозный – в 46,2 %. В REZ ТН компрессия определялась наиболее часто (30 % – артериальная и 21,4 % – венозная), а также при сочетании REZ и цистернального сегмента (12,4 % – артериальная и 9,6 % – венозная) (Таблица 4). Реже артериальные и венозные НВК, либо их комбинации, встречались и в других сегментах кТН (Таблица 4).

Таблица 4 – Локализация артериальных и венозных НВК в различных порциях кТН. Общее количество пациентов – 113

Сегменты кТН	Артериальная компрессия (n = 42)		Венозная компрессия (n = 13)		Смешанная компрессия (n = 58)			Общее количество пациентов (n = 113)	
	Кол-во пациентов	Кол-во НВК	Кол-во пациентов	Кол-во НВК	Кол-во пациентов	Кол-во венозных НВК	Кол-во артериальных НВК	Кол-во пациентов	Кол-во НВК
REZ ТН	28	32	10	17	25	31	28	63	108
Цистернальный сегмент	8	11	1	2	1	1	1	10	15
Юкстапетрозальный сегмент	0	0	1	1	1	1	1	2	3
REZ ТН + цистернальный сегмент	2	2	0	0	17	24	20	19	46
REZ ТН + юкстапетрозальный сегмент	0	0	1	3	9	12	9	10	24
REZ ТН + цистернальный сегмент + юкстапетрозальный сегмент	2	2	0	0	5	5	5	7	12
Нет данных	2	2	0	0	0	0	0	2	2
Всего	42	49	13	23	58	74	64	113	210

Как артериальный, так и венозный НВК наиболее часто определялся по верхней поверхности кТН (в 34,8 % и 15,2 % артериальных и венозных НВК соответственно), реже – по задней, нижней, передней и латеральной поверхностям ТН (Таблица 5).

Таблица 5 – Расположение НВК по отношению к поверхности кТН

Расположение НВК	Артериальная компрессия	Венозная компрессия	Смешанная компрессия		Общее количество НВК во всех трех группах
			венозный НВК	артериальный НВК	
Верхнее	29	13	19	44	105
Задний	7	0	28	5	40
Передний	9	1	5	9	24
Нижний	2	3	9	2	16
Боковой	2	3	0	4	9
Нет данных	0	3	13	0	16
Всего	49	23	74	64	210

Микроваскулярная декомпрессия была выполнена у 113 пациентов с компрессией ТН (от REZ до юкстапетрозального сегмента), которые по типу компрессии были разделены на три группы: артериальная компрессия, исключительно венозная компрессия и смешанная (артериовенозная) компрессия.

Интраоперационно в зоне НВК наблюдались два вида воздействия на ТН: простой контакт нерва с сосудом (80 % случаев, все группы НВК) и экскавация на поверхности ТН (20 % случаев, все группы НВК) (Таблица 6). Простой контакт одинаково часто вызывали как артерии (40 %), так и вены (40 %). Артериальная компрессия почти в два раза чаще приводила к экскавации на поверхности ТН, чем венозная компрессия (13,8 % и 6,2 % соответственно)

Таблица 6 – Степень компрессии кТН при различных типах сосудистой компрессии ТН

Степень вовлеченности кТН в НВК интраоперационно	Артериальная компрессия (n = 42)	Венозная компрессия (n = 13)	Смешанная компрессия (n = 58)	
			артериальная компрессия	венозная компрессия
Простой контакт нерва с сосудом	33	19	51	65
Экскавация на нерве	16	4	13	9
Всего	49	23	64	74

После идентификации причинных сосудов выполнялась транспозиция, интерпозиция артерий или вен. Для артерий чаще (в 41 %) применялась транспозиция (реже интерпозиция – 12,9 %), для вен – интерпозиция (в 13,8 %) и коагуляция с последующим пересечением (в 25,2 %). Интраоперационная тактика МВД при венозной компрессии имела свои

особенности и зависела от макроскопических изменений нерва в зоне НВК. Так, у 71 из 113 пациентов (62,9 %) (13 пациентов с венозной компрессией и 58 пациентов со смешанной компрессией) наблюдалась венозная компрессия. У 63 пациентов из 71 (88,7 %) макроскопических изменений кТН не наблюдалось. В этом случае выполнялась транспозиция (3 пациента), интерпозиция (22 пациентов) либо коагуляция, пересечение и иссечение вены или вен (29 пациентов). У отдельной группы пациентов (9 человек) каких-либо манипуляций с венами не выполнялось ввиду их малого размера (Таблица 7). У 8 пациентов из 71 (11,3 %) визуально определялись истончение, деформация и экскавация кТН. В этих случаях выполнялась транспозиция (у 1 пациента), интерпозиция (у 3 пациентов) и коагуляция вены с последующим пересечением и иссечением (у 4 пациентов) (Таблица 8).

Таблица 7 – Интраоперационная тактика при венозном НВК без макроскопических изменений кТН

МВД	Венозный НВК	Артериовенозный НВК
Транспозиция (n = 3)	0	3
Интерпозиция (n = 22)	2	20
Коагуляция и пересечение (n = 29)	9	20
Без манипуляций (n = 9)	0	9

Таблица 8 – Интраоперационная тактика при венозной компрессии с макроскопическими изменениями кТН

МВД	Венозный НВК	Артериовенозный НВК
Коагуляция и пересечение (n = 4)	1	3
Интерпозиция (n = 3)	1	2
Транспозиция (n = 1)	0	1

В общей группе (все типы НВК) эффективность МВД в ближайший период на момент выписки составляла 96,5 % (BNI 1-2), а через три месяца достигала 97,3 % (BNI 1-2). Рецидивы лицевой боли в отдаленном периоде наблюдения составили 24,8 % случаев (BNI 3-5). Стоит отметить, что в случае артериальной компрессии эффективность МВД в ближайшем периоде наблюдения до 3 месяцев достигала 97,6 % (BNI 1-2), а рецидивы наблюдались в 16,7 % (BNI 3-5) случаев. Интересно, что эффективность МВД при венозной компрессии была ниже и составляла 92,3 % (BNI 1-2) в ближайшем периоде наблюдения до 3 месяцев, а при отдаленном наблюдении в 23 % случаев возникали рецидивы лицевой боли (BNI 3-5). В группе пациентов со смешанной компрессией ближайшие исходы были сопоставимы с исходами при артериальной компрессии (эффективность МВД до 3 месяцев 96,6–98,3 %, BNI 1-2), однако процент рецидива лицевой боли при отдаленном наблюдении достигал 31 % (BNI 3-5). Вероятно, это связано с тем, что в данную группу входили пациенты с венозным НВК, имеющие худшие результаты после МВД (Таблица 11). При анализе результатов МВД при венозной компрессии было обнаружено, что, независимо от макроскопических изменений ТН, интерпозиция (n = 3) и коагуляции-пересечение (n = 10) причинных вен чаще приводили к благоприятным исходам (BNI I-II в 10 случаях), чем к

неблагоприятным (BNI > II в 3 случаях). В группе со смешанной компрессией независимо от использованной тактики (с манипуляцией и без манипуляции) и макроскопических изменений ТН, существенных различий между отрицательными и положительными исходами не выявлено.

Послеоперационные осложнения встречались у 15 из 113 пациентов (13,3 %). В группе пациентов с артериальной компрессией у 2 пациентов выявлена гемифациальная гипестезия (V1-V3) и у 1 пациента был диагностирован менингит. В группе венозной компрессией наблюдался парез лицевого нерва (1 пациент), менингит (1 пациент), у 1 пациента была диагностирована подострая субдуральная лобно-височно-теменная гематома, которая была удалена при повторной операции. В послеоперационном периоде у данного пациента сохранялся парез в дистальных отделах левых конечностей до 4 баллов. В группе с артериовенозной компрессией также отмечались гемифациальная гипестезия (V1-V3, 5 пациентов), раневая ликворея (3 пациента), а также острая сенсоневральная тугоухость (1 пациент). Из всех случаев осложнений чаще наблюдалась гипестезия в зоне иннервации ТН (в 46,7 % случаев).

## **5. Математическая модель предсказания исходов микроваскулярной декомпрессии**

До реализации основной части, посвященной применению математического моделирования исходов МВД, был проведен статистический анализ различий анализируемых переменных в зависимости от исхода операции: благоприятного и неблагоприятного.

В первой группе представлены пациенты с BNI grades I и II (n = 46), остальные пациенты (grades III–V; n = 12) относились к группе с неблагоприятным исходом. В качестве данных для подготовки математической модели использовались результаты расчетов для 58 пациентов, для которых были доступны как клинические, так и нейровизуализационные данные. Ни одна из количественных переменных не различалась статистически значимо между группами (все  $p > 0,05$ ).

На основании клинико-демографических и нейрорадиологических данных была выполнена логистическая регрессия с ранее проанализированными в работе предикторами. Для отбора наиболее значимых предикторов с целью их дальнейшего включения в модель использовался метод случайного леса (random forest, RF).

Полный список используемых предикторов с соответствующими значениями их важности представлен в Таблице 9. Предикторы ранжированы по убыванию их важности в связи с предсказанием исхода МВД. Чем выше значение важности, тем больше вклад этого признака в построение предсказания.

Положительные значения указывают на полезность признаков для модели, в то время как отрицательные значения могут сигнализировать о том, что признак следует пересмотреть или, возможно, исключить из модели, т. к. его включение в модель может ухудшать качество предсказания зависимой переменной.

Таблица 9 – Перечень клинико-демографических и нейрорадиологических (МРТ) предикторов-кандидатов на включение в модель логистической регрессии для предсказания исхода МВД с соответствующими показателями важности согласно методу random forest.

Номер	Предиктор	Важность предиктора (согласно методу RF)
1	Степень компрессии кТН по М. Sindou	6,59
2	Угол каменистого гребня с симптоматичной стороны (ипсилатерально)	4,52
3	Возраст пациента	3,65
4	Показатель FA ипсилатерального кТН	2,41
5	Угол контралатерального каменистого гребня	1,35
6	Длина контралатерального корешка	1,07

К числу значимых предикторов, чье включение в модель позволяло улучшить предсказание исхода выше уровня 50 %, оказались: степень компрессии кТН по М. Sindou, угол каменистого гребня ипсилатерально, возраст пациента и FA ипсилатерального кТН ( $\chi^2 = 18,22$ ,  $p < 0,001$ ).

Формула логистической регрессии для разработанной математической модели имеет следующий вид:

$$\text{Log}(p/(1-p)) = -5.12 + 0.89*\text{Grade} - 0.08*\text{Угол} + 0.07*\text{Возраст} - 2.11*\text{FA},$$

где  $p$  – вероятность неблагоприятного исхода (ВНИ III–V).

Таблица сопряженности значений степени компрессии и исходов МВД представлена ниже (Таблица 10).

Таблица 10 – Распределение показателей исходов хирургического вмешательства в зависимости от степени компрессии ТН по результатам анализа МРТ

Исход МВД / Grade НВК	1 grade	2 grade	3 grade
Благоприятный исход	13	13	18
Неблагоприятный исход	9	1	0

Модель с данными предикторами имеет диагностической точностью, равной 0,79, площадь под кривой – 0,83, показанной на Рисунке 10. Чувствительность модели составила 77%, в то время как специфичность — 81%.

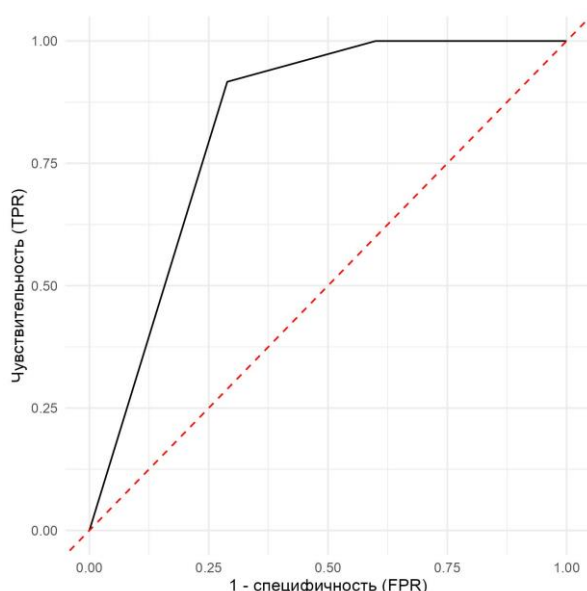


Рисунок 10 – Результаты ROC-анализа, показывающего качество работы классификатора. TPR (true positive rate) – доля истинно положительных предсказаний, FPR (false positive rate) – доля ложно положительных предсказаний модели. Красная пунктирная линия соответствует показателям классификатора с точностью 50 % (изображен в качестве референсного значения).

### Клинические примеры применения прогностической модели

Разработанная прогностическая модель, основанная на четырех ключевых предикторах исхода микроваскулярной декомпрессии у пациентов с классической тригеминальной невралгией, продемонстрировала хорошую диагностическую точность, равную 79%, AUC = 0,83, чувствительность – 77%, специфичность – 81%. Модель построена методом логистической регрессии и позволяет рассчитывать индивидуальную вероятность неблагоприятного исхода (BNI III–V) на основе степени компрессии по M. Sindou, возраста пациента, угла каменистого гребня и значения фракционной анизотропии.

При прямом применении исходных коэффициентов логистической регрессии к индивидуальным случаям, особенно при наличии экстремальных значений предикторов, отмечался эффект «идеального разделения», приводивший к математически неоправданному занижению вероятности неблагоприятного исхода. Для устранения данного артефакта проведена калибровка модели, в ходе которой были сохранены все четыре предиктора и направление их влияния: увеличение степени компрессии и возраста повышает вероятность благоприятного исхода, тогда как увеличение угла каменистого гребня и фракционной анизотропии ее снижает. Финальная калиброванная модель для прогнозирования вероятности неблагоприятного исхода (BNI III–V) имеет вид:

$$\text{Log}(p/(1-p)) = -5 + 1,8 \times \text{Grade} - 0,03 \times \text{Угол} + 0,15 \times \text{Возраст} - 4 \times \text{FA},$$

где  $p$  – искомая вероятность неблагоприятного исхода.

Для иллюстрации практической значимости модели приведены два клинических примера. У пациентки 64 лет с выраженной компрессией корешка тройничного нерва (Grade

3), сниженной фракционной анизотропией ( $FA = 0,36$ ) и острым углом каменистого гребня ( $112^\circ$ ) расчетная вероятность неблагоприятного исхода составила  $0,6\%$ , то есть вероятность благоприятного исхода (BNI I–II) –  $99,4\%$ .

После выполнения микроваскулярной декомпрессии и устранения конфликта, по данным интраоперационной микронейрографии, активность в корешке тройничного нерва отсутствовала, а в послеоперационном периоде отмечен полный и стойкий регресс болевого синдрома (BNI I), что полностью соответствовало предоперационному прогнозу.

Второй пример демонстрирует клинический случай пациента 42 лет с минимальной степенью компрессии (Grade 1), высокими значениями фракционной анизотропии ( $FA = 0,54$ ) и тупым углом каменистого гребня ( $131^\circ$ ). Для данного сочетания предикторов калиброванная модель определила низкую вероятность благоприятного исхода ( $4,9\%$ ) и высокий риск неблагоприятного результата ( $95,1\%$ ).

Несмотря на технически корректно выполненную микроваскулярную декомпрессию и первоначальное уменьшение интенсивности болевого синдрома, через 4 месяца был зарегистрирован рецидив лицевых болей с исходом BNI IV, что подтвердило прогностическую ценность модели. Интраоперационная МНГ в этом случае показала сохранение остаточной патологической активности в волокнах корешка после декомпрессии.

Представленные примеры демонстрируют, что комбинированное использование разработанной прогностической модели и интраоперационной микроэлектродной регистрации корешка тройничного нерва позволяет до операции оценить вероятность успеха микроваскулярной декомпрессии и выделить пациентов с высоким риском неэффективности вмешательства. В перспективе, после валидации на более крупной выборке, данный подход может служить эффективным инструментом поддержки клинических решений при отборе кандидатов на хирургическое лечение и выборе альтернативных методов терапии.

## **Заключение**

Настоящая работа вносит вклад в решение этой задачи, демонстрируя эффективность интегративного подхода, который объединяет передовые методы нейровизуализации, интраоперационного нейрофизиологического мониторинга и математических методов анализа данных. Полученные данные предоставляют клиницистам новые, объективные инструменты для прогнозирования исходов лечения. Разработанная в рамках данного диссертационного исследования прогностическая модель, интегрирующая разнородные клинические данные, является значимым шагом на пути к персонализированной медицине в нейрохирургии. Она позволяет перейти от эмпирического отбора кандидатов на хирургию к обоснованному, алгоритмизированному прогнозированию, минимизируя риски неэффективных вмешательств.

Кроме того, результаты интраоперационной микронейрографии впервые на клинической выборке продемонстрировали прямую корреляцию между наличием патологической эктопической активности в корешке тройничного нерва и сохранением болевого синдрома, что открывает новые возможности для интраоперационного принятия решений и оценки адекватности выполненной декомпрессии в реальном времени. В перспективе дальнейшее развитие представленных направлений сводится к валидации прогностической модели на многоцентровых когортах, стандартизации протоколов интраоперационного мониторинга и поиску новых нейровизуализационных биомаркеров. Это позволит не только улучшить непосредственные результаты лечения пациентов с кНТН,

но и сформировать новую парадигму управления хронической лицевой болью, основанную на принципах доказательности, точности и индивидуального подхода.

Таким образом, данная работа вносит существенный вклад как в понимание природы тригеминальной невралгии, так и в практическое здравоохранение, предлагая конкретные инструменты для повышения эффективности и безопасности одного из основных методов её лечения – микроваскулярной декомпрессии.

## ВЫВОДЫ

1. У пациентов с невралгией тройничного нерва при проведении глубокой стимуляции V1-V3 регистрировалась электрическая активность в корешке тройничного нерва, которая уменьшалась после проведения микроваскулярной декомпрессии и коррелировала с регрессом лицевой боли. Данная активность является специфической для пациентов с невралгией тройничного нерва и не регистрируется у пациентов с другой патологией.

2. Артериальный нейроваскулярный конфликт характеризуется увеличенным диаметром корешка тройничного нерва ( $p = 0,027$ ), менее острым сагиттальным углом ( $p = 0,004$ ), повышенной интенсивностью ( $p = 0,005$ ) и пароксизмальным характером боли ( $p = 0,008$ ), однако демонстрирует наилучшие результаты полного купирования боли после микроваскулярной декомпрессии по сравнению со смешанным типом.

3. Наиболее информативными предикторами математической модели прогнозирования хирургических исходов микроваскулярной декомпрессии среди 23 проанализированных оказались степень компрессии нерва по M. Sindou, угол ипсилатерального каменистого гребня, возраст пациента и показатель фракционной анизотропии с симптоматичной стороны. Разработанная математическая модель на основе данных наиболее информативных предикторов позволила предсказать хирургический исход микроваскулярной декомпрессии с диагностической точностью, равной 0,79, площадью под кривой, равной 0,83. Чувствительность и специфичность модели составили 77% и 81%, соответственно.

## Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Alzeeralhouseini A, Moissak G, Labzina E, Rzaev J. Trigeminal neuralgia caused by venous compression: a comprehensive literature review. *J Med Life*. 2024 May;17(5):462-470. doi: 10.25122/jml-2024-0040. PMID: 39144685; PMCID: PMC11320616.

2. Алзиралхусейни А.Ф., Мойсак Г.И., Ткаченко Е.А., Рзаев Д.А. Ближайшие и отдаленные результаты микроваскулярной декомпрессии у пациентов с тригеминальной невралгией, обусловленной венозной компрессией. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(6):186-196. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20240619>

3. Алзиралхусейни А.Ф., Мойсак Г.И., Филимонова Е.А., Рзаев Д.А. Предикторы успешной операции микроваскулярной декомпрессии у пациентов с классической невралгией тройничного нерва по данным нейровизуализации. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(5):145-154. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20240517>

4. Алзиралхусейни Абдаллах Ф.И., Рзаев Д.А. Математическая модель прогнозирования неблагоприятных исходов микроваскулярной декомпрессии у пациентов с классической тригеминальной невралгией // **Сибирский медицинский вестник** 2026. Т. 10, № 1. С. 78–89. DOI: 10.31549/2541-8289-2026- 10-1-78-89

Подписано в печать \_\_.04.2026 г.

Формат 60x90/16. Объем 1,75 п.л., 1,1 авт.л.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Заказ. \_\_ Тираж 130 экз.

Отпечатано в полном соответствии с авторским оригиналом  
в типографии ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России

Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, телефон: 8-383-373-32-01

E-mail: niito@niito.ru