На правах рукописи

ГИЗАТУЛЛИН РИНАТ РАИСОВИЧ

Диффузионно-тензорная МРТ в оценке состояния кортико-спинальных трактов у пациентов, перенесших ишемический инсульт: клинико-нейровизуализационное сопоставление

3.1.24 – неврология
3.1.25 – лучевая диагностика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Ессентуки – 2025

Работа выполнена на кафедре неврологии ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России

Научные руководители:

Ахмадеева Лейла Ринатовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры неврологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;

Байков Денис Энверович, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Официальные оппоненты:

Ястребцева Ирина Петровна, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры медицинской реабилитации института нейронаук и нейротехнологий ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;

Морозова Татьяна Геннадьевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Защита диссертации состоится _«____» _____ 2025 г. в _10.00_ часов на заседании объединённого Диссертационного совета Д 999.237.02 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России и ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр ФМБА России» по адресу: 357501, Ставропольский край, г. Пятигорск, проспект Кирова, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр ФМБА России» (357501, г. Пятигорск, проспект Кирова, 30) и на сайте http://www.skfmba.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 999.237.02,
кандидат медицинских наук, доцент Е.Н. Чалая

Общая характеристика работы

Актуальность исследования. Ишемический инсульт (ИИ) – острое нарушение мозгового кровоснабжения, которое характеризуется внезапным началом и стойким нарастающим появлением очаговой и/или общемозговой неврологической симптоматикой. По своей структуре ИИ является второй ведущей причиной инвалидности и смертности во всем мире, при том, что наибольшее распространение заболевание получило в странах с низким или средним уровнем дохода населения (Сазонова В.Ю., 2024, Feigin V.L. et al., 2021, Rexrode K. M. et al., 2022). По данным всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) ежегодно по всему миру около 6 миллионов людей умирают от инсульта и примерно 5 миллионов остаются инвалидами на всю жизнь (Roewer L., Willuweit S., Krüger C. et al., 2008, World Health Organization: official website, 2021). В целом, в структуре смертей от острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК) ИИ составляет до 70% всех случаев, а наиболее распространенной его причиной является окклюзия в системе внутренней сонной и средней мозговой артерий (Покровский А.В., 2003, Леменев В.Л., 2019). В России по данным ряда авторов на 2016 год зарегистрировано более 450 тысяч случаев инсульта в год, а заболеваемость составила 2,5-3,5 случая на 1000 населения при общем уровне смертности до 31-35% (Суслина З.А. и соавт., 2016). Постинсультная инвалидизация занимает первое место среди всех причин инвалидности и составляет 3,2 на 10000 населения, а к трудовой деятельности возвращаются не более 10-12% пациентов, еще 85% требуют последующей постоянной медико-социальной поддержки, а 25-30% остаются до конца жизни инвалидами (Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танашян М.М., 2019, Национальные клинические рекомендации 2023, Шаповал И.Н., 2023).

Традиционно для решения этой проблемы применяется комплекс лечебно-диагностических процедур, направленный на раннее выявление инсульта и своевременное восстановление кровоснабжения в зоне поражения. Так, в последние годы в связи с появлением новых методов цифровой визуализации и более высоким уровнем информирования населения, в целом в мировой практике наблюдается общее снижение количества случаев инсульта (Клочихина О.А. с соавт., 2021).

Объективно информацию о соотношении объема поражения головного мозга и вероятности последующей компенсации двигательного дефицита прижизненно можно получить по нейровизуализационным изображениям, таким как компьютерная и магнитно-резонансная томографии, но степень прогноза регресса без учета количественной оценки степени выраженности микроструктурных изменений проводящих путей в зоне поражения при стандартном подходе представляется сомнительной (Федорович П.В., 2021). Вместе с тем, прогнозирование выраженности двигательных нарушений потенциально возможно путем анализа состояния проводящих путей центральной нервной системы, в первую очередь, кортико-спинальных трактов по данным диффузионно-тензорной МРТ. Но публикации на эту тему носят единичный, разрозненный характер, что потенцирует определенный интерес к дальнейшему изучению этого вопроса (Zolkefley M.K.I., 2021). К тому же целесообразной представляется возможность сравнения объективности значений клинической оценки с использованием оценочных шкал применительно к оценке возможности регресса двигательного дефицита у пациентов, перенесших ИИ в сравнении с полученными результатами МР-трактографии. Все это определило актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности темы исследования. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография (ДТ-МРТ) является современным методом нейровизуализации, позволяющим количественно и качественно оценивать микроструктуру проводящих путей головного мозга (Zhu et al., 2020; Wang et al., 2021). Этот метод основан на измерении направленной диффузии молекул воды, что дает возможность получать информацию о целостности и направлении нервных волокон (Kang et al., 2019).

Применение ДТ-МРТ в диагностике центрального пареза при ишемическом инсульте активно изучается. Исследования показывают, что изменения в показателях

фракционной анизотропии (fractional anisotropy - FA) и средней диффузии (mean diffusion - MD) могут отражать степень повреждения белого вещества и коррелировать с тяжестью двигательных нарушений (Xu et al., 2020; Li et al., 2021). Трактография, основанная на данных ДТ-МРТ, позволяет визуализировать кортико-спинальные тракты и оценивать их целостность, что способствует более точной диагностике и прогнозированию восстановления двигательных функций (Park et al., 2020).

Однако, несмотря на значительные достижения, на сегодняшний день отсутствует стандартизированная методика для проведения мультицентровых исследований, что затрудняет сопоставимость данных между различными научными группами (Smith et al., 2019). Также остаются неопределенными пороговые значения основных показателей диффузионно-тензорной МРТ, таких как FA и MD, которые могли бы служить биомаркерами степени повреждения или восстановления кортико-спинальных трактов (Chen et al., 2020). Эти пробелы в знании ограничивают внедрение ДТ-МРТ в клиническую практику на широком уровне и требуют проведения дальнейших исследований с целью унификации протоколов и разработки пороговых критериев для оценки тяжести поражения и прогноза (Zhang et al., 2021; Kim et al., 2022).

Цель исследования

Изучить клинико-нейровизуализационные показатели состояния кортико-спинальных трактов у пациентов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта с использованием результатов диффузионно-тензорной МРТ головного мозга для обоснования мероприятий по повышению качества персонифицированной медико-реабилитационной помощи данной категории больных.

Задачи исследования

1. Оценить клинико-функциональные и возрастные особенности исследуемых групп пациентов с поражением кортикоспинального тракта в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта и сопоставить полученные результаты с контрольной группой.
2. Оптимизировать методику построения кортикоспинальных трактов при проведении диффузионно-тензорной МРТ у пациентов, перенесших церебральный инсульт.
3. Определить референсные значения показателей микроструктурных изменений диффузии и состояния миелинизации в кортикоспинальных трактах у пациентов, перенесших церебральный ишемический инсульт, и изучить их взаимосвязь с количественными клинико-функциональными показателями.
4. Внести дополнения в алгоритм мероприятий по совершенствованию системы оказания персонифицированной медико-реабилитационной помощи пациентам, перенесшим ишемический инсульт с использованием данных о состоянии кортикоспинальных трактов на основании результатов диффузионно-тензорной МРТ головного мозга.

Научная новизна

Уточнены пороговые значения сигнальных метрик диффузионно-тензорной визуализации при инсульте с применением магнитно-резонансной диффузионно-тензорной визуализации;

Впервые проведена оценка информативности двигательного дефицита с применением магнитно-резонансной диффузионно-тензорной визуализации;

Впервые изучены возможность, диапазон и эффективность применения диффузионно-тензорной визуализации в диагностике двигательного дефицита у пациентов с церебральным инсультом.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Разработан диагностический метод, позволяющий с высокой степенью чувствительности и специфичности прогнозировать варианты исхода двигательного дефицита у пациентов после церебрального инсульта с использованием характеристик микроструктурных поражений проводящих путей головного мозга при диффузионно-тензорной магнитно-резонансной визуализации кортикоспинальных трактов. Результаты исследований востребованы в практической деятельности врачей – неврологов и врачей рентгенологов, которые занимаются диагностикой и лечением ишемического инсульта на базе первичного сосудистого отделения.

Методология и методы исследования

Исследование проводилось в ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» с 2021 по 2024 годы. Клиническая часть – на базе ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» (Клиника БГМУ) и ГБУЗ Республиканская клиническая больница им. Г.Г. Куватова, МРТ головного мозга по расширенному протоколу. Объектом изучения в настоящем исследовании являлись 105 пациента, из них 76 пациентов с ишемическим инсультом в раннем восстановительном периоде, 29 человек без ишемического инсульта в анамнезе и без клинических и рентгенологических признаков заболевания.

Дизайн: ретроспективно-проспективное когортное исследование.

Выборка: пациенты, поступившие на госпитализацию, которым проводилось МРТ трактография.

Статистический анализ результатов исследования проводился на персональном компьютере с использованием программы SPSS Statistics 26.0 (IBM) и StatTech v. 4.8.0 (разработчик - ООО "Статтех", Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (mean - M) и стандартных отклонений (standard deviation - SD). Границы доверительного интервала (ДИ) не превышали 95%. В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (median - Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3). Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента, при неравных дисперсиях выполнялось с помощью t-критерия Уэлча. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода, применялся метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Положения, выносимые на защиту:

1. В пределах возрастных групп, разделенных согласно рекомендациям ВОЗ, категория пациентов с ИИ в раннем восстановительном периоде с поражением кортикоспинального тракта достоверно не отличается: по шкале мышечной силы (p=0,825), по ШРМ (p=0,763), по шкале NIHSS (p=0,873), по шкале Френчай (p=0,789), по шкале Хаузера (p=0,774), по шкале Ривермид (p=0,504), по шкале МОКА (p=0,801), FIM (p=0,774), Рэнкина (p=0,937).

2. Использование двух модальностей при построении кортикоспинальных трактов по данным диффузионно-тензорной МРТ повышает точность и эффективность оценки состояния белого вещества у пациентов, перенесших инсульт.

3. Показатели фракционной анизотропии в кортикоспинальных трактах являются значимыми предикторами неблагоприятного исхода. Определены референсные значения у пациентов с ишемическим инсультом, что позволяет уточнить состояние миелинизации и микроструктурные изменения в пораженных зонах.

4. Внедрение алгоритма, основанного на данных диффузионно-тензорной МРТ и состояния кортикоспинальных трактов, обеспечивает поддержку принятия решений в стратегии персонифицированной медицинской реабилитации, повышая ее результативность.

Связь работы с научными программами.

Работа выполнена в рамках реализации программы «Приоритет 2030» в рамках стратегического проекта «Прорывной трансфер медицинских знаний и здоровье сберегающих технологий»

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует шифрам двух специальностей:

3.1.24 – неврология, направления исследований:

1. Сосудистые заболевания нервной системы. Клинические, нейровизуализационные методы диагностики.

2. Нейровизуализационные методы исследования в неврологии. Разработка алгоритмов исследования пациентов с сосудистыми, нейродегенеративными, демиелинизирующими и другими заболеваниями нервной системы, используя современные методики нейровизуализации (функциональная МРТ, МРТ трактография, КТ и МРТ перфузия, МР спектроскопия). Ультразвуковые, электрофизиологические, патоморфологические методы исследования центральной и периферической нервной системы.

3. Организация неврологической помощи. Организация реабилитационной помощи пациентам с заболеваниями центральной нервной системы.),

3.1.25 – лучевая диагностика, направления исследований:

1. Диагностика и мониторинг заболеваний путем оценки количественных параметров, получаемых с помощью методов лучевой диагностики.

2. Определение нормативных количественных параметров, получаемых с помощью методов лучевой диагностики.

3. Определение информативности отдельных параметров для углубленного изучения диагностики и исхода заболеваний с помощью методов лучевой диагностики.

4. Проведение междисциплинарных научных исследований, направленных на

создание программ комплексного применения различных направлений лучевой диагностики для повышения эффективности фундаментальных и прикладных исследований в области клинической медицины.

Степень достоверности

Диссертация апробирована на расширенном заседании проблемной комиссии «Психиатрия, наркология и нервные болезни» совместно с приглашенными членами комиссии (лучевые диагносты) 12.12.2024 г. Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом выборки, дизайном работы, современными методами исследований и статистического анализа.

Апробация результатов

Результаты научного исследования доложены и обсуждены на научно-практических съездах и конференциях международного, федерального и республиканского уровней: международной конференции «China-Russia Forum Harbin Medical University Sino-Russian Academic Exchange Forum and 2022 Heilongjiang Sleep Society» (г. Харбин Китай 26-27 августа 2022г); Межрегиональная ежегодная научно-практическая конференция

«Неврологические чтения в Перми» Посвящена 100-летию кафедры неврологии (Пермь, Россия 22 октября 2021); Международная конференция «Знания фундаментальных дисциплин в работе врача-клинициста» (г. Уфа, Россия 06.04.2022); Нейрофорум «Neuro Week Kazan 2023» (г. Казань, Россия 14-17 февраля 2023г.); 89-ая Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Вопросы теоретической и практической медицины» (г. Уфа, Россия 20.04.2024г.); Радиологический форум в РКБ им. Г.Г. Куватова (Уфа, Россия. 25.10.2023); Научно-практическая конференция с мастер-классом «Болевые синдромы и моторные нарушения при заболеваниях нервной системы: данные Российских и международных исследований» (г. Уфа, Россия 13-14.11.2023); Конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов (г. Москва, Россия 6-8.11.2024). Нейросфера (г. Саратов, Россия 3-4.10.2024).

Личный вклад диссертанта в исследование

Автором был подготовлен обзор данных отечественных и зарубежных источников литературы по теме исследования, сформулированы цель и задачи исследования. Научные результаты, приведенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно на базе клиники БГМУ г. Уфа, республиканской клинической больницы им. Г.Г Куватова. Автору принадлежит ведущая роль в организации исследования, разработке алгоритма оценки двигательного дефицита с использованием ДТИ; анализе и обобщении полученных результатов. Вклад автора является определяющим и заключается в непосредственном участии на всех этапах исследования.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 7 в журналах, рецензируемых ВАК (Категории 1 и 2). Оформлена заявка на патент с регистрационным номером 2025104487 от 27.02.2025.

Внедрение результатов исследования в практику.

Материалы диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры неврологии и кафедры общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики ФГБОУ ВО БГМУ (Башкирский государственный медицинский университет) г. Уфа и в работе профильных отделений Клиники Башкирского государственного медицинского университета.

Объём и структура диссертационной работы.

Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, иллюстрирована 44 таблицами и 47 рисунками. Работа состоит из введения, четырех глав с описанием обзора литературы, применяемых методов и характеристикой пациентов, собственных результатов исследования, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Список цитируемой литературы содержит 127 источника, из которых 27 – на русском и 100 – на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы, методы и дизайн исследования

Исследование проводилось в ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» с 2021 по 2024г. Все клинико-рентгенологические исследования проводились в отделениях лучевой диагностики, неврологии и реабилитации ФГБОУ ВО БГМУ (Клиники БГМУ), и республиканской клинической больнице им. Г.Г.

Куватова в г. Уфа за период с 01.10.2021 по 01.02.2024 гг. Исследование ретроспективно-проспективное когортное исследование, дизайн исследования представлен на рисунке 2.1. В скрининг включено 232 человека из них 130 с ИИ и 102 без ИИ. Из группы пациентов с ИИ 4 пациента не дали информированное добровольное согласие, 11 пациентов имели противопоказания для МРТ, 39 пациентов не соответствовали критериям включения. В итоговую группу пациентов и ИИ вошло 76 пациентов. Из группы пациентов без ИИ 62 пациента были исключены ввиду несоответствия критериев включения 3 пациента не дали информированное добровольное согласие на участие, 8 пациентов имели металлические импланты без паспорта, и итоговая группа составила 29 пациентов.

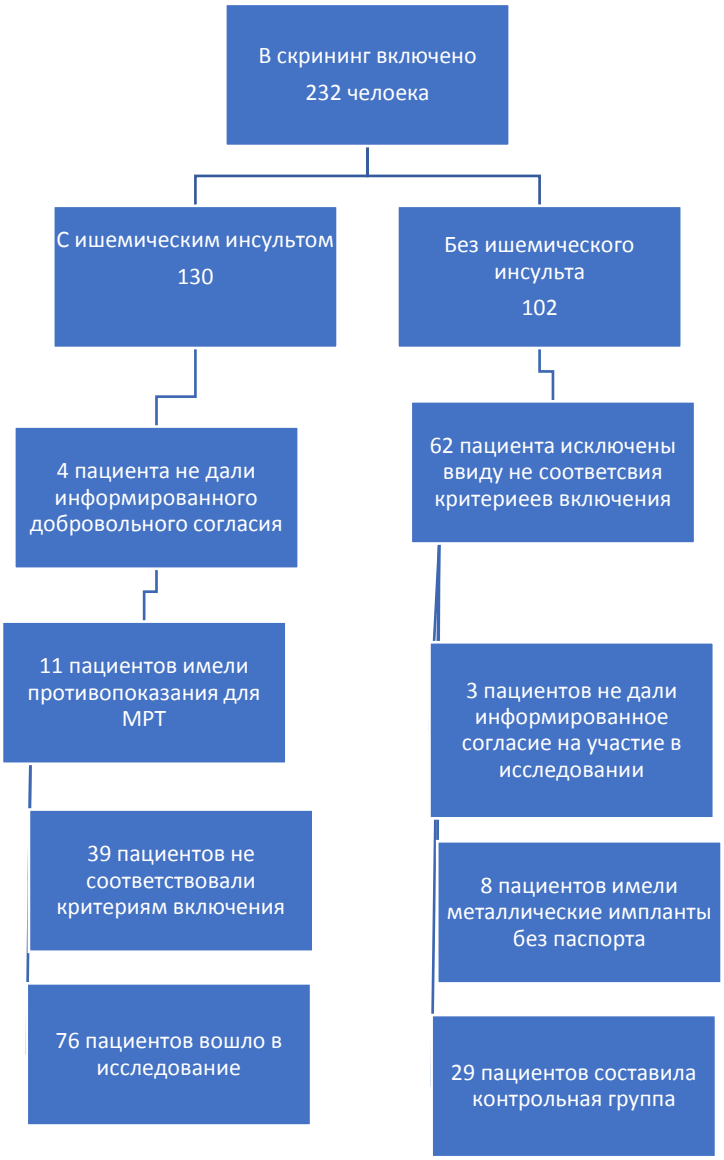

Рисунок 1 - Дизайн исследования

Всего в исследование было включено 105 человек, пациентов обоего пола, в возрасте от 20 и до 94 лет, 76 перенёсших ишемический инсульт в полушариях большого мозга и находившихся в раннем восстановительном периоде – с 28 дня заболевания до 6 месяцев включительно, и 29 пациентов без ишемического инсульта в анамнезе. Всем пациентам проведено МРТ головного мозга на магнитно-резонансном томографе GE Optima 360.

Таблица 1 - Возраст пациентов в группе с ишемическим инсультом и без ОНМК

Показатели	группа		p
	без ОНМК (n=29)	с ИИ (n=76)	
полных лет, M (SD)	66,34 (13,69)	68,11 (11,53)	0,536

Таблица 2 - Распределение пациентов в зависимости от пола в группах с ишемическим инсультом и без ОНМК

Показатели	Категории	группа		p
		без ОНМК (n=29)	с ИИ (n=76)	
пол, абс. (%)	мужчины	13 (44,8%)	41 (53,9%)	0,856
	женщины	15 (55,2%)	35 (46,1%)	

Пациенты отбирались при обращении на консультацию в специализированный клинико-диагностический центр. Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами, заложенными Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации, согласно стандартам GCP «Good Clinical Practice» и было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО БГМУ (протокол №2 от 23.10.24 г.). От каждого пациента, включенного в исследование, было получено добровольное информированное согласие на участие в исследовании, а также согласие на обработку персональных данных.

Основные группы:

Группа пациентов с ОНМК

Критерия включения пациентов в группу ИИ были следующими:

1. Возраст пациентов от 45 до 85 лет.
2. Факт ИИ в анамнезе и наличие центрального пареза конечностей.
3. Подписанное ИДС.
4. Когнитивный статус по шкале MoCA более 24 баллов.
5. Показатели по ШРМ от 1 до 5 баллов включительно.
6. Показатели по шкале Рэнкина от 0 до 5 баллов включительно.
7. Показатели по шкале NIHSS 1-31 балл включительно.
8. Показатели по шкале Глазго от 14 до 15 баллов.

Критерии исключения:

1. Отказ пациента подписать информированное согласие на участие в исследовании;
2. Отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;
3. Наличие противопоказаний для проведения МРТ головного мозга.
4. Проведение тромболитической терапии (ТЛТ) в анамнезе.

Группа пациентов без ОНМК и двигательного дефицита составила 29 пациентов Из них 13 человек (44,8%) были мужчинами и 15 человек (55,2%) – женщинами. Средний возраст составил 57,34±13,69 лет, без клинических и нейровизуализационных признаков патологии головного мозга, подписавших информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных. Пациенты специализированный клинико-диагностический центр Клиники БГМУ, которые пришли на амбулаторный прием невролога по поводу заболевания не связанного с ОНМК.

Критерии включения пациентов в группу без ОНМК были следующими:

1. Отсутствие факта ОНМК в анамнезе и двигательного дефицита;
3. Показания для проведения МРТ исследования головного мозга.

Критерии исключения:

1. Отказ пациента подписать информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных;
2. Отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;

3. Выявление в ходе обследования у пациентов перенесенного ОНМК и/или центрального пареза, обусловленного другим заболеванием ГМ.
5. Наличие противопоказаний для проведения МРТ головного мозга.

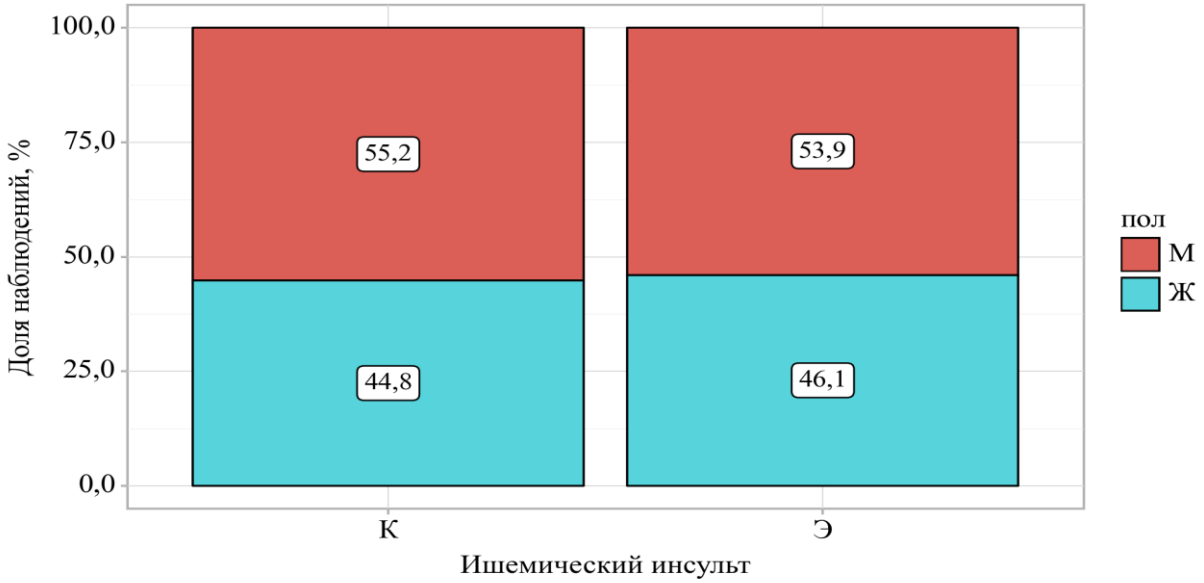

Рисунок 2 - Клинико-возрастное сопоставление, где К – группа без ОНМК (n=29), а Э – группа пациентов с перенесенным ИИ в раннем восстановительном периоде (n=79)

По характеристикам исследуемых, группы оказались сравнимы по полу, однако группа пациентов с перенесенным ОНМК была несколько старше контрольной группы (p=0,536).

Все пациенты были разделены на возрастные группы согласно критериям ВОЗ: 18-44 лет - молодой возраст, 45-59 лет - средний возраст; 60-74 года - пожилой возраст, 75-90 лет - старческий возраст; старше 90 лет - долгожители. Наглядно распределение по возрасту для группы пациентов с ишемическим инсультом представлено ниже, в таблице 3.

Таблица 3 - Распределение по возрасту согласно рекомендациям ВОЗ для группы пациентов с ИИ

Показатели	Возрастная группа					p
	Молодой возраст N=3	Средний возраст N=12	Пожилой возраст N=41	Старческий возраст N=19	Долгожители N=1	
полных лет, Me [IQR]	36,00 [35,50; 38,50]	53,00 [51,75; 56,50]	69,00 [65,00; 72,00]	79,00 [76,00; 84,00]	94,00 [94,00; 94,00]	*

*p > 0,05

Таким образом, из представленной таблицы следует, что статистически разница между сравниваемыми возрастными группами ИИ является статистически не достоверной.

То же самое распределение было проведено для контрольной группы, информация о которой представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Распределение по возрасту согласно рекомендациям ВОЗ для группы пациентов без ОНМК

Показатели	Возрастная группа					p
	молодой возраст n=4	средний возраст n=12	пожилой возраст n=11	старческий возраст n=2	Долгожители N=0	
полных лет, Me [IQR]	38,00 [30,50; 42,25]	51,00 [49,75; 55,25]	67,00 [64,50; 69,00]	81,00 [78,50; 83,50]	-	*

*p > 0,05

Таким образом, из представленной таблицы следует, что статистически разница между сравниваемыми возрастными группами для пациентов без ОНМК является статистически не достоверной.

Базовое магнитно-резонансное исследование включало в себя применение следующих импульсных последовательностей: 3D T1 ВИ, T2 ВИ, T2 FLAIR, DWI, SWI в сагиттальной плоскости, с возможностью последующей реконструкции изображений в любых проекциях. Технические условия для каждой из указанных последовательностей представлены ниже, в таблице 5.

Таблица 5 - Основные режимы импульсных последовательностей МРТ, применяемые в работе

	TR (repetition time) (мс)	TE (echo time) (мс)	Количество срезов	Толщина срезов (мм)	Поле обзора (мм)	Матрица (пикс)	Время
3D T1	440	12.9	26	2	351*252	256*256	2:35
T2	4060	99.1/ef	18	2	269*240	320*256	2:14
T2 FLAIR	10000	131/ef	15	2	269*240	288*192	2:40
DWI	4879	126/fe	40	2	269*240	96*128	0:44
SWI	41.5	23.5	66	2	363*260	320*224	2:57

Диффузионно-тензорные изображения были получены на основе эхо-планарной импульсной последовательности с 3 b-факторами (b = 0; 1000; 2500 с/мм2) для 64 непараллельных направлений диффузионных градиентов. Основные параметры используемых режимов представлены в Таблице 6.

Таблица 6 – основные параметры диффузионно-тензорной МРТ, применяемые в работе.

Таблица основных параметров диффузионной МРТ.						
TR (мс)	TE (мс)	Количество срезов	Толщина срезов (мм)	Поле обзора (мм)	Матрица (пикс)	Время
9000	99.8/FE	64	2	200*200	128*128	15 минут 13 секунд

Результаты исследования и их обсуждение

Проведена оценка показателей мышечной силы в конечностях по шкале MRC, результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Сила конечностей группа пациентов с ИИ, распределение по возрастным группам

Показатели	Возрастная группа					p
	молодой возраст n=3	средний возраст n=12	пожилой возраст n=41	старческий возраст n=49	долгожители n=1	
MRC ВК ипсилатерально, Me [IQR]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	–
MRC ВК контрлатерально, Me [IQR]	3,00 [1,50; 3,50]	2,00 [0,75; 4,00]	2,00 [0,00; 4,00]	3,00 [0,50; 4,00]	4,00 [4,00; 4,00]	0,825
MRC НК ипсилатерально, Me [IQR]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	5,00 [5,00; 5,00]	–
MRC НК контрлатерально, Me [IQR]	3,00 [1,50; 3,00]	1,50 [0,00; 4,00]	2,00 [0,00; 3,00]	3,00 [0,00; 4,00]	3,00 [3,00; 3,00]	0,966

Из таблицы следует, что контрлатерально очагу поражения сила мышц значительно снижена, однако, относительно возрастных групп согласно разделению по ВОЗ достоверно не отличается.

Проведен анализ показателей клинической оценки пациентов в раннем восстановительном периоде ИИ, результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Функциональные шкалы для группы ИИ, распределение по возрастным группам.

Показатели	Возрастная группа					p
	молодой возраст n=3	средний возраст n=12	пожилой возраст n=41	старческий возраст n=49	долгожители n=1	
ШРМ (Баллов) (Баллов), Me [IQR]	3,00 [3,00; 4,00]	3,00 [1,75; 3,25]	3,00 [2,00; 4,00]	3,00 [1,50; 3,50]	2,00 [2,00; 2,00]	0,763
NIHSS (баллы), Me [IQR]	5,00 [4,50; 13,50]	7,00 [2,00; 9,25]	7,00 [4,00; 11,00]	5,00 [3,00; 12,00]	4,00 [4,00; 4,00]	0,873
Френчай (баллы), Me [IQR]	3,00 [1,50; 3,00]	1,50 [0,00; 4,25]	1,00 [0,00; 4,00]	3,00 [0,00; 4,00]	4,00 [4,00; 4,00]	0,789
Хаузера (баллы), Me [IQR]	4,00 [4,00; 6,50]	5,50 [1,75; 6,25]	6,00 [3,00; 7,00]	5,00 [2,00; 7,00]	3,00 [3,00; 3,00]	0,774
Ривермид (баллы), Me [IQR]	12,00 [6,50; 12,00]	9,50 [4,00; 14,00]	8,00 [4,00; 12,00]	10,00 [3,00; 13,50]	15,00 [15,00; 15,00]	0,504

Продолжение таблицы 8						
МОКА (баллы), Me [IQR]	27,00 [24,00; 27,50]	25,50 [24,00; 26,50]	26,00 [23,00; 28,00]	26,00 [24,00; 28,00]	28,00 [28,00; 28,00]	0,801
FIM (баллы), Me [IQR]	44,00 [22,50; 47,50]	36,00 [24,50; 74,50]	33,00 [22,00; 51,00]	47,00 [24,50; 53,00]	51,00 [51,00; 51,00]	0,774
Рэнкина (баллы), Me [IQR]	4,00 [3,50; 4,50]	3,50 [2,00; 4,00]	4,00 [2,00; 5,00]	3,00 [2,00; 5,00]	3,00 [3,00; 3,00]	0,937

Из таблицы следует, что показатели функциональной оценки пациентов из группы ИИ статистически не отличаются по возрастным группам.

По ДТ-МРТ были оценены следующие показатели:

▪FA (фракционная анизотропия);

▪MD (средняя диффузия);

▪AD (аксиальная диффузия);

▪RD (радиальная диффузия);

▪AVDC (средняя скорость диффузии).

▪Плотность тракта.

Разработана собственная методика построения кортико-спинального тракта:

Первый этап построения КСТ включает анализ изображений, на которых выделяется зона внутренней капсулы. Данная анатомическая область выделена из-за особенности кровоснабжения: задняя ножка внутренней капсулы в медиальных отделах получает ветви от задней соединительной артерии, в латеральных и каудальных отделах - от передней ворсинчатой артерии, соответственно менее всего подвержено нарушению мозгового кровообращения. Заднее бедро внутренней капсулы разделяется на три равных сегмента, представляющих переднюю, среднюю и заднюю трети. Применяется формула A/3x2, где A представляет собой заднее бедро внутренней капсулы, а зона интереса определяется как сумма отрезков передней и средней трети внутренней капсулы. Опорными изображениями для построения кортико-спинальных трактов служат T2WI или T2 FLAIR, а также DWI.

Затем сегментированное на аксиальных МР- изображениях заднее бедро внутренней капсулы сопоставляется с цветной картой фракционной анизотропии, позволяющей дифференцировать те волокна проводящего пути, которые ориентированы в вертикальной плоскости. Это необходимо для того, чтобы провести коррекцию ширины выделенной зоны интереса. Исследование МРТ происходит с параллельным собором данных, а при постпроцессорной обработке на экране монитора возможно вывести изображения во всех применяемых режимах визуализации.

Следующим шагом является построение объёмных моделей кортико-спинальных трактов с двух сторон и их цветное картирование. Таким образом построенные модели в наибольшей степени охватывают все аксоны проводящего пути на уровне заднего бедра внутренней капсулы, ориентированные строго в горизонтальной плоскости. Этот подход позволяет более точно исследовать кортико-спинальные тракты и минимизировать погрешности в оценке получаемых цифровых значений. Алгоритм действия представлен ниже, на рисунках 3-6.

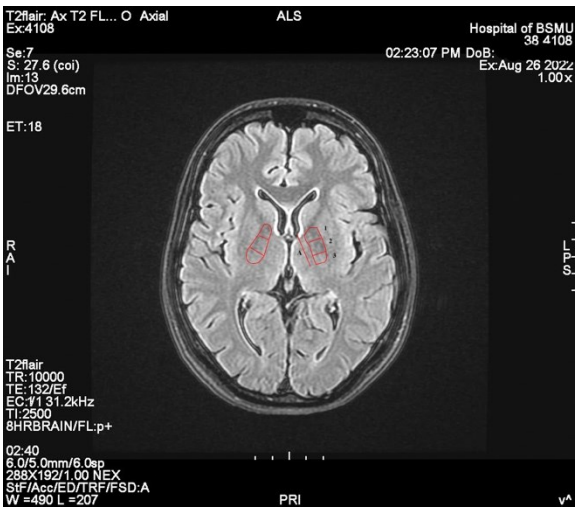

Рисунок 3 - Анатомический срез T2 Flair на уровне базальных ядер с наглядным изображением внутренней капсулы, где зона А – задняя ножка внутренней капуслы, 1 – верхняя треть задней ножки внутренней капсулы, 2 – средняя треть, 3 - нижняя треть задней ножки внутренней капсулы

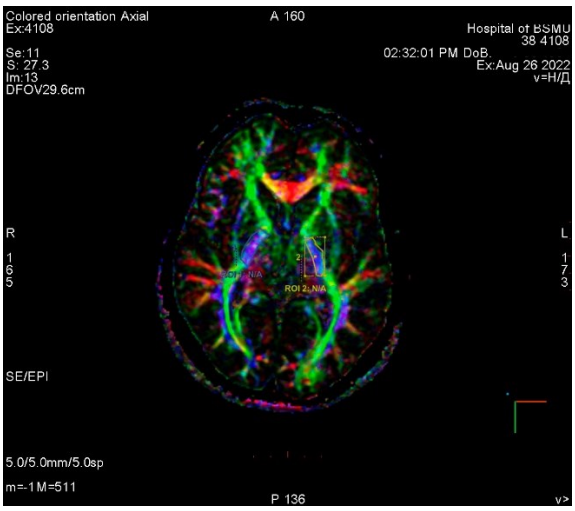

Рисунок 4 - Цветовая карта ориентации, где цифрой выделены верхние 2/3 задней ножки внутренней капсулы длинной 2см. С коррекцией зоны интереса относительно вертикально ориентированных волокон кортико-спинального тракта

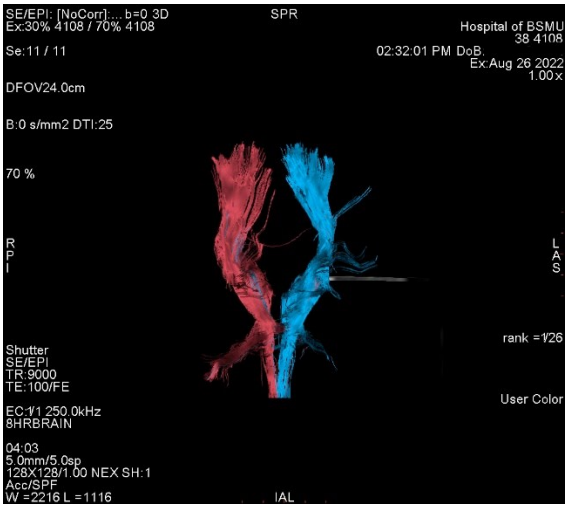

Рисунок 5 - Построенные проводящие пути, походящие через внутреннюю капсулу - выделен кортико-спинальный тракт (трехмерная модель)

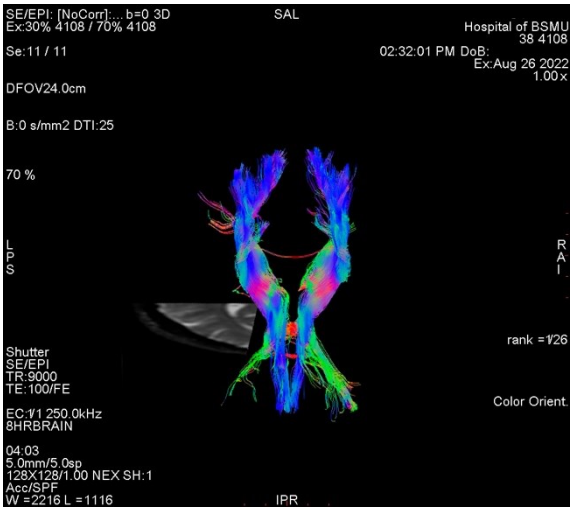

Рисунок 6 – Кортико-спинальный путь, где цветом указан тензор диффузии (синий вверх - вниз)

В дальнейшем полученные данные, собранные при проведении диффузионно-тензорной МРТ у пациентов с ишемическим инсультом и у пациентов без ОНМК, позволили сравнить результаты основных сигнальных метрик кортико-спинального тракта, рассчитывая их отношение ипсилатерально очагу поражения к контрлатеральной стороне для стандартизации полученных данных (Кулеш, 2019).

Затем был проведен анализ отношения фракционной анизотропии к бальной системе ШРМ по категориальным признакам. Каждый показатель ШРМ был преобразован в категориальный признак, где значения от 0б до 3б расценивались как признак, где пациент

функционально независим от окружающих, и от 4 до 6 как признак, где пациент полностью функционально зависим от окружающих, представлено в таблице 9.

Таблица 9 - Отношение фракционной анизотропии кортико-спинальных трактов у пациентов с ишемическим инсультом в зависимости от категории функциональной зависимости по ШРМ

Показатель	Категории	Отношение ФА			p
		Me	$Q_1 – Q_3$	n	
ШРМ Категориальная	Независимый	0,98	0,97 – 1,00	81	< 0,001
	Зависимый	0,94	0,93 – 0,95	24	

При сравнении отношения фракционной анизотропии к категориальному значению ШРМ, были установлены статистически значимые различия - $p < 0,001$ (используемый метод: U–критерий Манна–Уитни).

При оценке вероятности функциональной независимости пациента с ИИ в раннем восстановительном по шкале ШРМ от отношения фракционной анизотропии с помощью ROC-анализа были получены данные представленные в рисунках 7-9.

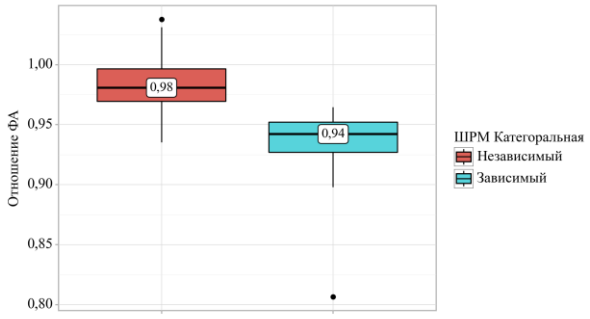

Рисунок 7 - Анализ отношения ФА к категориальному значению ШРМ

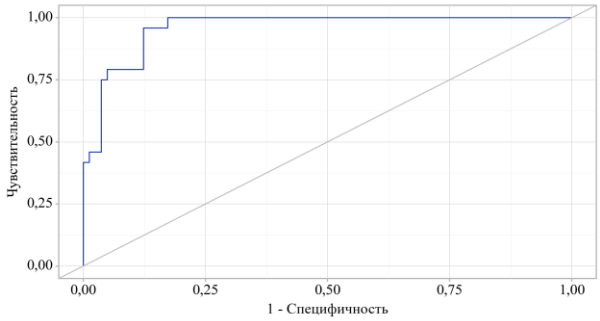

Рисунок 8 - ROC-кривая, характеризующая вероятность функциональной независимости пациента с ИИ в раннем восстановительном по шкале ШРМ от отношения ФА

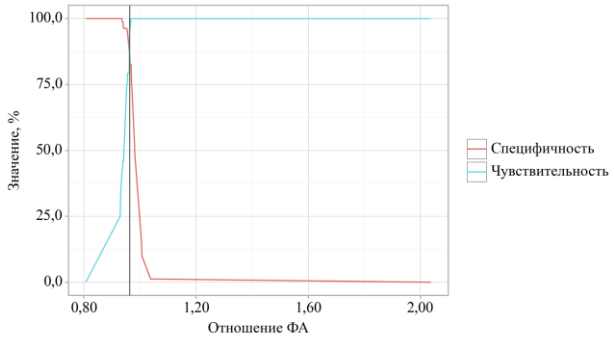

Рисунок 9 - Анализ чувствительности и специфичности модели в зависимости от пороговых значений отношения ФА

Площадь под ROC-кривой составила 0,959 ± 0,018 с 95% доверительным интервалом. Полученная модель была статистически значимой ($p < 0,001$).
Пороговое значение отношения фракционной анизотропии в точке cut-off, которому соответствовало наивысшее значение индекса Юдена, составило 0,963. Функциональная группа пациента прогнозировалась при значении отношения фракционной анизотропии

ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 95,8% и 87,7%, соответственно.

Был проведен анализ отношения фракционной анизотропии к NIHSS по категориальному признаку. Показатель NIHSS был преобразован в категориальный признак, где показатели от 0б до 5б расценивались как благоприятный исход ИИ в раннем восстановительном периоде, а от 6б и выше, как неблагоприятный прогнозируемый исход ИИ, наглядно представлено в таблице 10.

Таблица 10 - Отношение фракционной анизотропии кортико-спинальных трактов у пациентов с ишемическим инсультом в зависимости от категории благоприятного исхода по NIHSS

Показатель	Категории исхода	Отношение ФА			p
		Me	$Q_1 – Q_3$	n	
NIHSS Категориальная	Благоприятный	0,99	0,98 – 1,00	62	< 0,001
	Не благоприятный	0,95	0,94 – 0,97	43	

В результате анализа отношения ФА к шкале NIHSS по категориальному признаку были выявлены статистически значимые различия - $p < 0,001$ (используемый метод: U–критерий Манна–Уитни).

При оценке вероятности неблагоприятного исхода ИИ в раннем восстановительном периоде по шкале NIHSS от отношения фракционной анизотропии с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая. Результаты представлены ниже, в рисунках 10-12.

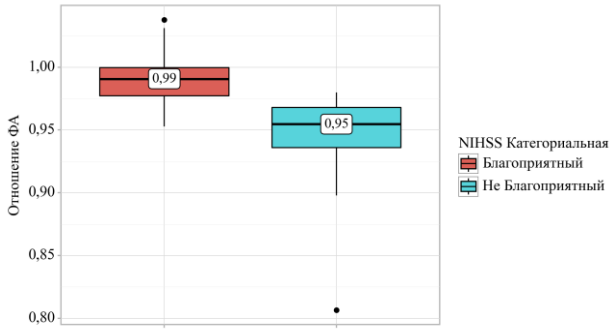

Рисунок 10 Анализ отношения ФА в зависимости от NIHSS категориальная

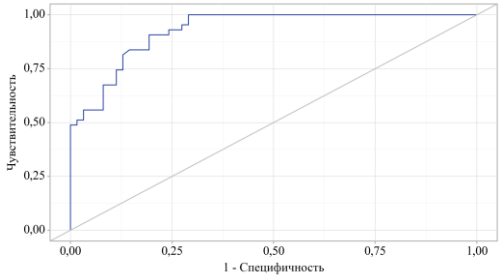

Рисунок 11 ROC-кривая, характеризующая вероятность неблагоприятного исхода ИИ в раннем восстановительном по шкале NIHSS от отношения ФА

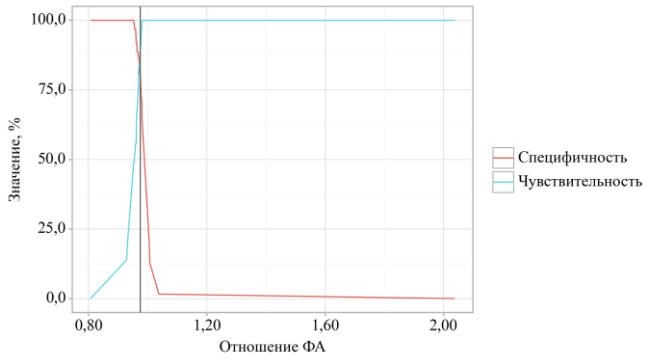

Рисунок 12 Анализ чувствительности и специфичности модели в зависимости от пороговых значений отношения ФА

Площадь под ROC-кривой составила 0,930 ± 0,025 с значениями доверительного интервала 95%. Полученная модель была статистически значимой (p < 0,001).

Пороговое значение отношения фракционной анизотропии в точке cut-off, которому соответствовало наивысшее значение индекса Юдена, составило 0,976. Неблагоприятный исход ИИ в раннем восстановительном периоде прогнозировался при значении отношения фракционной анизотропии ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 90,7% и 80,6%, соответственно.

Всего было проанализировано шесть показателей отношения сигнальных метрик кортико-спинального тракта и два метода клинической оценки. Результаты ROC анализа всех параметров представлены ниже, в таблице 11.

Таблица 11 - Значения ROC анализа клинической оценки пациентов с ишемическим инсультом к показателям диффузионно-тензорной МРТ

Шкала/ результаты ROC анализа	Порог	Чувствительность (Se), %	Специфичность (Sp), %	PPV	NPV	p
NIHSS/ Фракционная анизотропия	**0,976**	**83,7**	**85,5**	**80,0**	**88,3**	< 0,001*
NIHSS/ Плотность тракта	0,997	58,1	56,5	48,1	66,0	0,048*
NIHSS/ Средняя скорость диффузии	0,997	60,5	59,7	51,0	68,5	0,006*
NIHSS/ Радиальная диффузия	**0,851**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	< 0,001*
NIHSS/ Аксильаная диффузия	0,804	60,5	62,9	53,1	69,6	0,001*
NIHSS/ Средняя диффузия	0,802	60,5	59,7	51,0	68,5	< 0,001*
ШРМ/ Фракционная анизотроия	**0,963**	**87,5**	**87,7**	**67,7**	**95,9**	< 0,001*
ШРМ/ Плотность тракта	0,997	54,2	54,3	26,0	80,0	0,165
ШРМ/ Средняя скорость диффузии	0,995	58,3	61,7	31,1	83,3	0,040*
ШРМ/ Радиальная диффузия	**0,776**	**95,8**	**96,3**	**88,5**	**98,7**	< 0,001*

Продолжение таблицы 10						
ШРМ/ Аксиальнная диффузия	**0,888**	**70,8**	**77,8**	**48,6**	**90,0**	< 0,001*
ШРМ/ Средняя диффузия	**0,905**	**79,2**	**80,2**	**54,3**	**92,9**	< 0,001*

Анализ данных выявил значимые различия показателей диффузионно-тензорной МРТ между пациентами с разными уровнями функциональной зависимости (ШРМ) и неврологического дефицита (NIHSS). У независимых пациентов значения отношения фракционной анизотропии значительно выше (0,98 против 0,94), что статистически значимо ($p < 0,001$). ROC-анализ продемонстрировал высокую диагностическую точность показателя фракционной анизотропии для прогнозирования зависимости (AUC = 0,959) с оптимальным порогом 0,963. Аналогичная тенденция наблюдается при анализе NIHSS: пациенты с благоприятным исходом имеют более высокие значения ФА (0,99 против 0,95, $p < 0,001$), с диагностической точностью AUC = 0,930.

Таким образом, значения фракционной анизотропии и радиальной диффузии оказывают наибольшее влияние на возможный благоприятный исход, что подтверждается высокой диагностической точностью ROC-анализа и значимостью линейных моделей, а также такие показатели как фракционная анизотропия, радиальная диффузия, аксиальная диффузия, средняя диффузия оказывают наибольшее влияние на функциональную независимость пациентов. Показатели диффузионно-тензорной визуализации могут быть полезны для стратификации риска и прогнозирования неврологических исходов у пациентов с инсультом.

Выводы

1. Пациенты с поражением кортикоспинальных трактов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта по клинико-функциональным показателям в различных возрастных группах существенно не отличаются между собой и в среднем соответствуют по шкале мышечной силы от 2 до 4 баллов (p=0,825), по ШРМ от 2 до 3 баллов (p=0,763), по NIHSS от 4 до 7 баллов (p=0,873), по шкале Френчай от 1 до 4 баллов (p=0,789), по шкале Хаузера от 3 до 6 баллов (p=0,774), по шкале Ривермид от 9,50 до 15 баллов (p=0,504), по шкале МОКА от 25,5 до 28 баллов (p=0,801), FIM от 33 до 51 балла (p=0,774), Рэнкина от 3 до 5 баллов (p=0,937), разделенные на возрастные группы пациенты, согласно критериям ВОЗ, статистически не отличаются по клиническим и функциональным группам, но контрольная группа значительно отличается от группы пациентов с ИИ.

2. Методика построения кортикоспинального тракта мануальном режиме включает в себя получение базовых опорных изображений по T2 или T2 FLAIR на уровне подкорковых ядер, на которые накладывается цветная карта фракционной анизотропии. Для наложения ROI ориентиром служит средняя и задняя трети заднего бедра внутренней капсулы на каждой стороне. Наружные границы ROI определяются в пределах цветового спектра, соответствующего основному тензору диффузии тракта.

3. Отношение фракционной анизотропии со значением 0,976 ($p<0,001$) и ниже может являться неблагоприятным исходом реабилитации пациента в раннем восстановительном периоде ИИ ровно, как и радиальной диффузии равная 0,851 ($p<0,001$) и ниже. Отношение фракционной анизотропии равная 0,963($p<0,001$) и ниже может являться функциональной зависимости пациента от окружающих, а также же отношение радиальной диффузии равная 0,776 ($p<0,001$) и ниже, аксиальной диффузии равная 0 ,888 ($p<0,001$) и ниже, средней диффузии равная 0,905 ($p<0,001$) и ниже.

4. При ИИ в раннем восстановительном периоде имеет место не только классическая оценка пациента клинически, но также и с использованием нейровизуализации, а именно показателей фракционная анизотропия, радиальная диффузия, аксиальная диффузия, средняя диффузия с целью планирования возможных целей реабилитации.

Практические рекомендации

1. Результаты клинической и функциональной оценки пациентов статистически не отличаются по возрастным группам, соответственно полученные данные релевантны для пациентов всех возрастов и данная методика может использоваться независимо от возраста пациентов.

2. Дифузионно-тензорная МРТ у пациентов, перенёсших церебральный инсульт целесообразно проводить в ранний восстановительный период совмещая ее с «базовой», рутинной МРТ включающий в себя стандартный набор последовательностей (T1, T2, T2 FLAIR, DWI, T2*). При построении кортико-спинальных трактов используется аксиальные опорные изображения по T2 или T2 FLAIR, плоскость ориентированные по отношению к мозолистому телу и полученные на уровне подкорковых ядер, на которые накладывается карта цветной фракционной анизотропии. Ориентиром для сегментации ROI является средняя и задняя трети заднего бедра внутренней капсулы. Для коррекции наружных границ ROI используются значения цветового спектра, соответствующие вертикальному тензору диффузии по оси Z. При анализе полученных изображений следует учитывать показатели плотности проводящих путей, значения фракционной анизотропии, средней скорости диффузии, радиальную диффузию, аксиальную диффузию, среднюю диффузию. Данные показатели за исключением аксиальной, радиальной, средней диффузии отражаются в стандартизированных отчетах. Значения радиальной диффузии, аксиальной диффузии и средней диффузии являются расчётными и соответствуют следующим значениям: аксиальная диффузия является выражением скорости смещаемости молекул воды в квадратном мм вдоль основного вектора прохождения тракта, тогда как радиальная диффузия является производной суммы тензоров диффузии в перпендикулярной плоскости к основному тракту и складывается из средней суммы двух основных и одного промежуточного тензоров относительно хода волокон. Значение средней диффузии является средней арифметической суммы трех основных и трех промежуточных тензоров диффузии (ZZ+XX+YY+ZX+ZY+XY/6).

3. Показатели диффузионно-тензорной МРТ такие как: фракционная анизотропия, радиальная диффузия, аксиальная диффузия, средняя диффузия должны быть включены в стандартные протоколы оценки пациентов с ишемическим инсультом для стратификации риска неблагоприятного исхода и прогнозирования функциональной независимости. Значения фракционной анизотропии ниже 0,976 и радиальной диффузии ниже 0,851 могут служить индикаторами повышенного риска неблагоприятного исхода, что требует раннего вмешательства в реабилитационный процесс. На основании данных диффузионно-тензорной визуализации, соотношения фракционной анизотропии $\leq$ 0,963, радиальной диффузии $\leq$ 0,776, аксиальной диффузии $\leq$ 0,888 и средней диффузии $\leq$ 0,905 могут указывать на функциональную зависимость пациента от окружающих. Эти значения могут использоваться для определения реабилитационных целей и корректировки индивидуального плана лечения. Ранняя интеграция нейровизуализационных данных в процесс реабилитации позволяет не только оценивать состояние пациента на основе клинической картины, но и формировать персонализированные стратегии лечения, ориентированные на достижение функциональной независимости. Для эффективного внедрения методики требуется обучение специалистов и стандартизация подходов, что позволит улучшить результаты лечения пациентов с ишемическим инсультом.

4. Разработанная блок-схема алгоритма действия врача – невролога относительно показаний диффузионно-тензорной визуализации при ишемическом инсульте в раннем

восстановительном периоде ИИ предусматривает следующий алгоритм действия. Диффузионно-тензорная МРТ проводится пациентам, перенесшим ишемический инсульт в раннем восстановительном периоде, где при значениях отношении фракционной анизотропии более 0,963 пациентам показан 3 этап реабилитации, а при отношении ФА менее 0,963 - продолжить реабилитацию в стационаре.

Список научных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Гизатуллин, Р.Р. Магнитно-резонансно-томографическая трактография при постинсультном двигательном дефиците: результаты исследования белого вещества головного мозга для индивидуального подбора методов помощи. / Р.Р. Гизатуллин, Л.Р. Ахмадеева, Д.Э. Байков, Р.Х. Бахитова [и др.] // **Эффективная фармакотерапия – 2023. – № 54. – С. 26-30. (К2)**

2. Гизатуллин, Р. Р. Оценочные шкалы и показатели диффузионно-тензерной МРТ в прогнозировании регресса двигательного дефицита у пациентов, перенесших церебральный инсульт / Р.Р. Гизатуллин, Л.Р. Ахмадеева, Д.Э. Байков, Г.В. Байгова // **Ульяновский медико-биологический журнал. – 2024. – Т. 3. – С. 6-16. (К2)**

3. Ахмадеева, Л.Р. Острые церебральные сосудистые события после каротидной эндартерэктомии / Л.Р. Ахмадеева, В.В. Плечев, К.Р. Ижбульдина, Р.Р. Гизатуллин, М.О. Исрофилов // **Креативная хирургия и онкология. – 2023. – Т. 13, №. 3. – С. 198-202. (К2)**

4. Байков, Д.Э. Применение томографиечской нейроморфометрии для прогнозирования регресса двигательного дефицита после церебрального инсульта / Д.Э. Байков, Р.Р. Гизатуллин, Л.Р. Ахмадеева // Вестник Башкирского государственного медицинского университета. – 2021. – №. 4. – С. 5-9.

5. Гизатуллин, Р.Р. Диффузионно – тензорная магнитно-резонансная томография для прогнозирования исходов после церебрального инсульта / Р.Р. Гизатуллин, Л.Р. Ахмадеева, Д.Э. Байков, М.М. Хафизов [и др.] // **Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 6-1. https://science-education.ru/ru/article/view?id=32271 (дата обращения: 01.12.2024). (К2)**

6. Музаффарова Н.Ш., Хакимова С.З., Ахмадеева Л.Р., Гизатуллин Р.Р. Дополнительные методы функциональной и визуализационной диагностики головного мозга для планирования персонифицированной помощи неврологическому пациенту / Музаффарова Н.Ш., Хакимова С.З., Ахмадеева Л.Р., Гизатуллин Р.Р. // **Эффективная фармакотерапия. – 2023. – Т. 19, №45. – С. 14–22. (К2)**

7. Гизатуллин, Р.Р. Использование диффузной тензорной магнитно-резонансно-томографической трактографии в остром периоде церебрального инсульта / Р.Р. Гизатуллин, Л.Р. Ахмадеева, Д.Э. Байков // **Неврология и нейрохирургия Восточная Европа. – 2024. – Т. 14, № 1. Приложение. - С. 53-56 (К1)**

8. Джурабекова, А.Т. Нейроморфологические изменения структур головного мозга у женщин с ишемическим инсультом: клиническая значимость для прогнозирования исходов / А.Т. Джурабекова, Л.Р. Ахмадеева, М.И. Камалова, Д.Э. Байков, Р.Р. Гизатуллин [и др.] // **Эффективная фармакотерапия. – 2022. –Т. 19, №54. – С. 38-45. (К2)**

9. Уразбахтина, Ю.О. Воксельная морфометрия в клинической неврологии: использование программных продуктов в условиях цифровой трансформации / Ю.О. Уразбахтина, К.Р. Камалова, Р.Р. Гизатуллин, Э.Н. Ахмадеева [и др.] // «Стратегические приоритеты социально-экономического развития региона в условиях цифровой трансформации» Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Институт стратегических исследований Республики Башкортостан. – Уфа, 2021. – С. 11-15.

10. Гизатуллин, Р.Р. Возможности томографии для разработки программ медико-социальной реабилитации после острых заболеваний / Р.Р. Гизатуллин, Д.Э. Байков, М.М. Хафизов // Формы и методы социальной работы в различных сферах жизнедеятельности: Материалы XI Международной научно – практической конференции (22-23 сентября

2022г.), посвященной 60-летию Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2022 – С. 59-61.

11. Гизатуллин, Р.Р. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография для прогнозирования исходов церебральных инсультов: использование при обучении неврологии и в клинической практике / Р.Р. Гизатуллин, Д.Э. Байков // Вестник Башкирского государственного медицинского университета. – 2022. - №77. Специальный выпуск. - С. 40-43.

Список сокращений и условных обозначений

БВ – белое вещество
ВИ – взвешенные изображения
ВКИ - вентрикуло-краниальных индексов
ГИБВ – гиперинтенсивность белого вещества
д-МРТ – диффузионная магнитно-резонансная томография
ДТ-МРТ – диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография
ИКД – измеряемый коэффициент диффузии
ИДС – информированное добровольное согласие
КСТ – кортико-спинальный тракт
МКР – микрокровоизлияния
МРТ – магнитно-резонансная томография
ПВП – периваскулярные пространства
РКБ – республиканская клиническая больница
СМА – средняя мозговая артерия
СКДЦ- Специализированный клинико-диагностический центр.
ЦМА – церебральная микроангиопатия
ЦНС – центральная нервная система
AD – axial diffusivity (аксиальная диффузия)
DWI (ДВИ) – diffusion-weighted imaging (диффузионно-взвешенные изображения)
FA – fractional anisotropy (фракционная анизотропия)
FLAIR – Fluid-Attenuated Inversion Recovery Imaging (инверсия-восстановления с подавлением сигнала от свободной жидкости)
GCP - Good Clinical Practice (надлежащая клиническая практика)
ISO – free water fraction (объемная доля свободной воды)
MD – mean diffusivity (средняя диффузия)
MoCA – Montreal Cognitive Assessment (Монреальская шкала оценки когнитивных функций)
MRC – Medical Research Council Weakness Scale (шкала оценки мышечной силы)
RD – radial diffusivity (радиальная диффузия)
ROI – region of interest (область интереса)
STRIVE – Standards for ReportIng Vascular changes on nEuroimaging (стандарты МРТ-диагностики ЦМА при старении и нейродегенерации)
SWI – susceptibility weighted imaging (изображения, взвешенные по магнитной восприимчивости)
TE – Echo Time (время эхо)
TR – Repetition Time (время повторения)
XX, YY, ZZ, XZ, YZ, XY – векторы диффузии