

ТЛИЗАМОВА
ФАТИМА АЛЬБЕКОВНА

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ
НЕЙРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ КОННЕКТОМА ГОЛОВНОГО
МОЗГА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ В
ПОЗДНЕЙ РЕЗИДУАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОПРИОЦЕПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ

3.1.25. Лучевая диагностика

3.1.24. Неврология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург

2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научные руководители: доктор медицинских наук, доцент
Ефимцев Александр Юрьевич

доктор медицинских наук, профессор
Иванова Наталья Евгеньевна

Официальные оппоненты: Поздняков Александр Владимирович
доктор медицинских наук, профессор, заведующий
кафедрой медицинской биофизики ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный педиатри-
ческий медицинский университет» Минздрава России

Ковальчук Виталий Владимирович
доктор медицинских наук, профессор, руководитель
Центра медицинской реабилитации, заведующий
отделением ранней реабилитации СПб ГБУЗ
«Городская больница № 38 им. Н.А. Семашко»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский госу-
дарственный медицинский университет имени
академика И.П. Павлова» Минздрава России

Защита состоится « ____ » _____ 2026 г. в ____ час. на заседании
диссертационного совета 21.1.028.03 при ФГБУ «Национальный медицинский
исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России (191014, Санкт-
Петербург, ул. Маяковского, д. 12)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского
научно-исследовательского нейрохирургического института им. А.Л. Поленова и
на сайте: <http://www.almazovcentre.ru>

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор Иванова Наталия Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Детский церебральный паралич (ДЦП) остаётся одной из ведущих причин стойкой инвалидизации детского населения и представляет собой гетерогенную группу непрогрессирующих нарушений развития движений и постурального контроля, обусловленных повреждением или нарушением формирования головного мозга на ранних этапах онтогенеза (Колесникова Е.В. и соавт., 2024; Моисеева К.Е. и соавт., 2024; Hallman-Cooper J.L., Rocha Cabrero F., 2024). Несмотря на непрогрессирующий характер первичного поражения центральной нервной системы, клинические проявления заболевания остаются динамичными и определяются не только локализацией структурного дефекта, но и особенностями созревания головного мозга и реализацией механизмов нейропластичности (Немкова С.А., Болдырев В.Г., 2024; Hong Y. et al., 2023; Jacobs N.P.T. et al., 2025; Hu J. et al., 2026).

Наиболее распространённой клинической формой ДЦП является спастическая диплегия, традиционно ассоциированная с поражением перивентрикулярного белого вещества (Кирилочев О.К. и соавт., 2023; Agut T. et al., 2020; Cha J.H. et al., 2022). Вместе с тем выраженность двигательных нарушений нередко существенно различается у пациентов со сходными морфологическими изменениями, что свидетельствует о недостаточности исключительно структурного подхода к оценке неврологического дефицита (Himmelman K. et al., 2021; Jaatela J. et al., 2023; Jacobs N.P.T. et al., 2023; Jacobs N.P.T. et al., 2025).

Современные методы мультимодальной магнитно-резонансной томографии (МРТ), включая диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя, позволяют исследовать структурную, микроструктурную и функциональную организацию головного мозга *in vivo* (Никогосова А.К. и соавт., 2022; Абдулаев Ш.К. и соавт., 2024; Amemiya S. et al., 2024; Biswal B.B., Uddin L.Q., 2025). Использование данных технологий создаёт возможность изучения церебрального коннектома как системы взаимосвязанных нейрональных сетей, обеспечивающих реализацию двигательных и когнитивных функций (Прошина Е.А. и соавт., 2024; Hong Y. et al., 2023; Courtney S.M., Hinault T., 2024; Biswal B.B., Uddin L.Q., 2025).

Несмотря на активное внедрение методов нейровизуализации в клиническую практику, особенности структурно-функциональной организации головного мозга при спастической диплегии, а также взаимосвязь параметров церебрального коннектома с клинико-неврологическими проявлениями заболевания изучены недостаточно (Jacobs N.P.T. et al., 2023; Huang X. et al., 2025; de Almeida Marcelino A.L. et al., 2025; Hu J. et al., 2026). В связи с этим поиск объективных нейровизуализационных маркеров, отражающих выраженность неврологического

дефицита и процессы нейропластической перестройки головного мозга, является актуальной задачей современной неврологии и лучевой диагностики (Камилова Т.А. и соавт., 2021; Чегина Д.С. и соавт., 2021; Jacobs N.P.T. et al., 2025; Hu J. et al., 2026).

Степень разработанности темы исследования

В настоящее время ДЦП всё чаще рассматривается не только как двигательное расстройство, обусловленное локальным повреждением головного мозга, но и как заболевание нарушенной структурно-функциональной организации церебральных сетей (Jacobs N.P.T. et al., 2023; Hong Y. et al., 2023; de Almeida Marcelino A.L. et al., 2025; Hu J. et al., 2026). При этом данные структурной визуализации не всегда объясняют степень двигательных нарушений и клиническую вариабельность заболевания (Himmelman K. et al., 2021; Jaatela J. et al., 2023; Hallman-Cooper J.L., Rocha Cabrero F., 2024). Развитие методов диффузионной и функциональной магнитно-резонансной томографии существенно расширило возможности изучения церебрального коннектома и механизмов формирования неврологического дефицита (Никогосова А.К. и соавт., 2022; Абдулаев Ш.К. и соавт., 2024; Amemiya S. et al., 2024; Biswal B.B., Uddin L.Q., 2025).

Исследования с применением диффузионной и функциональной МРТ показали, что изменения при ДЦП затрагивают не только кортикоспинальные тракты, но и комиссуральные, ассоциативные и таламокортикальные проводящие пути, а показатели диффузионной МРТ коррелируют с выраженностью двигательного дефицита (Клюев Е.А. и соавт., 2021; Чегина Д.С. и соавт., 2021; Jaatela J. et al., 2023; Jacobs N.P.T. et al., 2025). Функциональная МРТ покоя позволила выявить нарушения связности сенсомоторных, ассоциативных и исполнительных сетей головного мозга, участвующих в формировании клинических проявлений заболевания (Абдулаев Ш.К. и соавт., 2024; Hong Y. et al., 2023; Amemiya S. et al., 2024; Huang X. et al., 2025).

Вместе с тем большинство исследований посвящено отдельным компонентам коннектома и носит преимущественно поперечный характер (Jacobs N.P.T. et al., 2023; de Almeida Marcelino A.L. et al., 2025; Huang X. et al., 2025). Недостаточно изученными остаются взаимосвязи между структурной и функциональной организацией головного мозга, выраженностью неврологического дефицита и процессами нейропластичности (Jacobs N.P.T. et al., 2025; de Almeida Marcelino A.L. et al., 2025; Hu J. et al., 2026).

Таким образом, сохраняется необходимость комплексного изучения структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга у детей со спастической диплегией с использованием методов мультимодальной МРТ для уточнения механизмов формирования неврологического дефицита и

поиска объективных нейровизуализационных маркеров.

Цель исследования

Оптимизация диагностики нейропластических изменений головного мозга у детей со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича на основе мультимодальной магнитно-резонансной томографии до и после применения технологии проприоцептивного воздействия.

Задачи исследования

1. Оценить особенности структурной и микроструктурной организации головного мозга при спастической диплегии в поздней резидуальной стадии по данным мультимодальной магнитно-резонансной томографии, включая количественный анализ показателей диффузионной МРТ и характеристику основных проводящих путей белого вещества.

2. Выявить особенности функциональной организации головного мозга при спастической диплегии по данным функциональной магнитно-резонансной томографии покоя на основе анализа нейропластических изменений внутрисетевой и межсетевой коннективности.

3. Оценить динамику нейропластических изменений структурного и функционального коннектома и клинико-неврологических характеристик у детей со спастической диплегией до и после использования технологии проприоцептивной коррекции (посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»).

4. Определить взаимосвязь между изменениями нейровизуализационных и клинико-неврологических характеристик при повторном обследовании пациентов после использования технологии проприоцептивной коррекции для выявления объективных маркеров нейропластичности и повышения точности диагностики функционального состояния головного мозга.

Научная новизна исследования

На репрезентативной выборке из 178 детей со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича впервые выполнена комплексная продольная оценка структурного, микроструктурного и функционального коннектома головного мозга в двух временных точках с использованием мультимодальной магнитно-резонансной томографии.

Впервые показано, что спастическая диплегия характеризуется не только последствиями перивентрикулярного поражения белого вещества головного мозга, но и нарушением его структурно-функциональной организации, проявляющимся изменениями кортикоспинальных трактов, мозолистого тела, таламокортикальных проекций, ассоциативных проводящих путей и функциональной коннективности церебральных нейросетей; при этом выраженность двигательных нарушений определяется как морфологическими изменениями головного мозга, так и

состоянием его структурной и функциональной коннективности ($p < 0,05$).

Впервые показано, что изменения структурной и функциональной организации церебрального коннектома сопровождаются статистически значимой перестройкой функциональной коннективности, затрагивающей салиентную сеть, сеть пассивного режима работы мозга, подкорково-мозжечковые взаимодействия и орбитофронтально-сенсомоторные связи, включая усиление функциональной связи правой передней островковой доли с правой лобной покрышкой ($T=2,76$; $p=0,0079$), правой скорлупой ($T=2,45$; $p=0,0176$) и правой задней теменной корой ($T=2,41$; $p=0,0190$), а также снижение функциональной связанности между левым хвостатым ядром и правой долей VI мозжечка ($T=-4,64$; $p < 0,001$), что отражает процессы адаптивной нейропластичности. Полученные данные позволяют предположить, что дополнительный сенсомоторный афферентный поток, формируемый при использовании технологии проприоцептивной коррекции (посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»), может выступать одним из механизмов модуляции функциональной коннективности церебральных сетей, участвующих в обеспечении двигательного контроля и постуральной регуляции.

Установлены статистически значимые взаимосвязи между параметрами структурной и функциональной коннективности головного мозга и клико-неврологическими характеристиками пациентов, включая корреляцию между усилением мозжечково-корковых взаимодействий и улучшением постурального контроля ($r=0,58$; $p=0,007$), а также между снижением функциональной связанности хвостатого ядра и мозжечка и уменьшением выраженности спастичности ($r=-0,66$; $p=0,002$).

Впервые показано, что перестройка структурной и функциональной организации церебрального коннектома сопровождается улучшением постурального контроля по шкале SATCo с $4,0 \pm 1,0$ до $6,3 \pm 0,9$ балла ($p < 0,001$), снижением выраженности спастичности, расширением объёма активных движений и улучшением мануальных функций у детей со спастической диплегией после курса лечения с использованием технологии проприоцептивной коррекции (с использованием нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»), направленной на усиление афферентного сенсомоторного потока и активацию механизмов нейропластической реорганизации церебральных сетей.

Впервые показано, что параметры функциональной коннективности и фракционной анизотропии отражают выраженность двигательного дефицита и сопровождают процессы нейропластической реорганизации центральной нервной системы после применения технологии проприоцептивной коррекции (с использованием нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»), при этом повышение показателей фракционной анизотропии в комиссуральных и

ассоциативных путях, включая мозолистое тело и нижний продольный пучок, достигало статистической значимости ($p \leq 0,01$), что свидетельствует о микроструктурной перестройке белого вещества головного мозга.

Обоснована возможность применения мультимодальной магнитно-резонансной томографии для комплексной оценки структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга, а показатели функциональной коннективности и фракционной анизотропии предложены в качестве дополнительных объективных нейровизуализационных маркеров процессов нейропластической перестройки и динамики клинко-неврологического состояния у детей со спастической диплегией.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость исследования заключается в расширении современных представлений о спастической диплегии как клинической форме детского церебрального паралича, в основе которой лежат не только последствия перинатального поражения белого вещества, но и нарушения структурной и функциональной организации головного мозга. Полученные результаты подтверждают современные представления о ДЦП как заболевании нарушенной церебральной коннективности и уточняют роль изменений структурного и функционального коннектома в формировании двигательного дефицита.

Установлено, что нарушения при спастической диплегии затрагивают не только кортикоспинальные тракты, но и комиссуральные, ассоциативные, таламокортикальные и подкорково-мозжечковые связи. Выявлены особенности функциональной организации салиентной сети, включая усиление связности правой передней островковой доли с лобно-подкорковыми и теменными структурами ($T=2,36-2,76$; $p < 0,05$), а также снижение функциональной связности между хвостатым ядром и мозжечком ($T=-3,49-4,64$; $p < 0,001$). Полученные данные расширяют представления о нейробиологических механизмах формирования двигательных нарушений и процессах нейропластической перестройки головного мозга при детском церебральном параличе.

Практическая значимость работы определяется разработкой и клинической апробацией стандартизированного протокола мультимодальной магнитно-резонансной томографии, включающего структурную МРТ, диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя, позволяющего выполнять комплексную оценку структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга у детей со спастической диплегией.

Установлены статистически значимые взаимосвязи между показателями структурной и функциональной коннективности головного мозга и клинко-неврологическими характеристиками пациентов до и после применения технологии проприоцептивной коррекции (посредством нейрореабилитационного

костюма «Reforma-ТЭКТ»), подтверждающие значимую роль нарушений церебрального коннектома в формировании и динамике двигательного дефицита при спастической диплегии ($p < 0,05$).

Улучшение постурального контроля ассоциировалось с усилением мозжечково-корковой связности ($p = 0,58$; $p\text{-FDR} = 0,007$), а снижение выраженности спастичности — с ослаблением функциональной связности между хвостатым ядром и мозжечком ($p = -0,66$; $p\text{-FDR} = 0,002$).

Показано, что параметры функциональной коннективности и фракционной анизотропии могут использоваться в качестве дополнительных объективных нейровизуализационных маркеров выраженности неврологических нарушений и особенностей структурно-функциональной организации головного мозга. Полученные результаты расширяют диагностические возможности мультимодальной магнитно-резонансной томографии и могут быть использованы в клинической практике врачей-неврологов и врачей лучевой диагностики для комплексной оценки церебрального коннектома и объективизации неврологического дефицита у детей со спастической диплегией.

Методология и методы исследования

Диссертационное исследование является проспективным продольным когортным исследованием с двумя временными точками наблюдения и наличием сопоставимой группы сравнения, выполненным в соответствии с принципами доказательной медицины и современными требованиями к статистической обработке научных данных.

Методология исследования основана на современных представлениях о детском церебральном параличе как заболевании нарушенной структурно-функциональной организации головного мозга и базируется на применении методов мультимодальной магнитно-резонансной томографии для комплексной оценки церебрального коннектома.

Объектом исследования являлись дети со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича. Предметом исследования являлись особенности структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга и их взаимосвязь с клинико-неврологическими показателями.

В исследование включены 178 пациентов со спастической диплегией. В работе использованы клинико-неврологические, нейровизуализационные и статистические методы исследования. Комплексная магнитно-резонансная томография включала структурную МРТ, диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя с последующей постпроцессинговой обработкой и статистическим анализом полученных данных.

Положения, выносимые на защиту

1. По данным мультимодальной МРТ спастическая диплегия у детей в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича характеризуется комплексными нарушениями структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга, выходящие за пределы первичного очага повреждения.

2. Мультимодальная МРТ, включающая структурную МРТ, диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя, позволяет выполнять комплексную оценку церебрального коннектома и выявлять изменения структурной и функциональной коннективности, отражающие особенности организации головного мозга при спастической диплегии в динамике наблюдения на фоне комплексного лечения с применением технологий проприоцептивной стимуляции.

3. Изменения показателей структурной и функциональной коннективности головного мозга, выявляемые до и после использования технологии проприоцептивной коррекции (посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»), достоверно связаны с динамикой клинко-неврологических показателей, что подтверждает значимую роль нарушений церебрального коннектома в формировании двигательного дефицита при спастической диплегии и позволяет рассматривать данные показатели в качестве дополнительных объективных нейровизуализационных маркеров процессов нейропластической перестройки.

Степень достоверности и апробация диссертационной работы

Степень достоверности результатов проведённого исследования обеспечивается репрезентативной выборкой пациентов ($n=178$), использованием комплексного статистического анализа ($p<0,05$), применением современных методов мультимодальной магнитно-резонансной томографии и стандартизированной постпроцессинговой обработкой данных, включая проведение внутригруппового и межгруппового анализов. На основании полученных данных сформулированы выводы, практические рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы диссертационного исследования.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на ведущих российских и международных конгрессах и конференциях: Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (М., 2023, 2025), Невском радиологическом форуме (СПб., 2024), Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология» (М., 2024), Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Поленовские чтения» (СПб., 2024, 2025).

Внедрение результатов работы в практику

Результаты исследования внедрены в клиническую практику отделения магнитно-резонансной томографии ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Детский городской многопрофильный клинический центр высоких медицинских технологий им. К.А. Раухфуса», кабинета магнитно-резонансной томографии СПб ГБУЗ «Детская городская больница Святой Ольги», клиники и отделения лучевой диагностики с кабинетом компьютерной томографии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России.

Результаты работы используются в учебном процессе на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России.

Личный вклад автора

Автором самостоятельно сформулированы и обоснованы актуальность темы исследования, цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы. Проведён анализ отечественной и зарубежной литературы по изучаемой проблеме. Автором сформирована электронная база данных пациентов, выполнено клиничко-неврологическое обследование детей со спастической диплегией с использованием стандартизированных шкал, проведены магнитно-резонансные исследования.

Лично автором выполнены постпроцессинговая обработка данных структурной, диффузионной и функциональной МРТ, статистический анализ результатов и их клиничко-нейровизуализационная интерпретация. Сформулированы выводы и практические рекомендации, подготовлены публикации и написан текст диссертации. Доля личного участия автора составляет 100%.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертационного исследования опубликовано 20 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 177 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, перспектив дальнейшей разработки темы, списка сокращений и списка литературы, включающего 64 отечественных и 164 иностранных источника. Работа содержит 19 таблиц и 15 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Общая характеристика обследованных пациентов

Работа выполнена на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ имени В.А. Алмазова» Минздрава

России в период с 2023 по 2026 годы. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России (протокол №10-23 от 02.10.2023 г.).

Исследование выполнено как проспективное продольное когортное исследование по типу «до/после» с наличием группы сравнения.

В исследование включены 178 детей со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича в возрасте от 4 до 15 лет. Средний возраст обследованных детей составил 8 ± 3 года. Пациенты были распределены на основную группу ($n=95$), получавшую стандартное лечение с использованием технологии проприоцептивного воздействия (посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»), и группу сравнения ($n=83$), проходившую стандартное лечение без применения костюма. Применение костюма было направлено на усиление проприоцептивной афферентации, стабилизацию сегментов тела и формирование физиологических двигательных паттернов (Таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика обследованных пациентов

Показатель	Основная группа ($n=95$)	Группа сравнения ($n=83$)	Показатель
Возраст, лет	$8,1 \pm 3,0$	$8,0 \pm 3,1$	Возраст, лет
Мальчики	38 (40,0%)	37 (44,6%)	Мальчики
Девочки	57 (60,0%)	46 (55,4%)	Девочки
GMFCS II	67 (70,5%)	58 (69,9%)	GMFCS II
GMFCS III	28 (29,5%)	25 (30,1%)	GMFCS III

Группы были сопоставимы по возрасту, полу, уровню двигательных нарушений по шкале GMFCS, сроку гестации и характеру структурного поражения головного мозга ($p > 0,05$).

Всем пациентам выполнялось обследование в двух временных точках: до начала курса лечения (T_0) и через один месяц после его завершения (T_1).

Клинико-диагностический алгоритм обследования пациентов

Диагностический алгоритм исследования был построен по принципу мультимодальной оценки и включал клинико-неврологическое обследование, регистрацию электроэнцефалограммы, структурную МРТ, диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя.

Клинико-функциональная оценка выполнялась в каждой временной точке с использованием стандартизированных шкал GMFCS, SATCo, MACS, Ashworth Scale, Hare/Hallet, CFCS, а также инструментальной гониометрии.

Электроэнцефалографическое исследование проводилось всем пациентам до выполнения функциональной МРТ покоя с использованием цифрового

многоканального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» (ООО «Нейрософт», Россия). Клинически значимой эпилептиформной активности, способной повлиять на результаты функциональной МРТ, выявлено не было.

Методики комплексной магнитно-резонансной томографии головного мозга

Магнитно-резонансную томографию выполняли на томографе MAGNETOM Espree с силой индукции магнитного поля 1,5 Тл (Siemens, Германия) с использованием многоканальной головной катушки.

На этапе T0 использовали расширенный нейровизуализационный протокол, включавший структурную МРТ, диффузионную МРТ и функциональную МРТ покоя. На этапе T1 выполняли сокращённый протокол, необходимый для оценки динамики показателей структурной и функциональной коннективности (Таблица 2).

Таблица 2 – Нейровизуализационные протоколы исследования

Этап исследования	Состав протокола	Цель
T0 (до начала лечения)	Структурная МРТ (T1, T2, FLAIR, 3D T1-MPRAGE), диффузионная МРТ, фМРТ покоя (BOLD-EPI), GRE Field Mapping	Комплексная исходная оценка морфологической, микроструктурной и функциональной организации головного мозга
T1 (через 1 месяц после лечения)	3D T1-MPRAGE, диффузионная МРТ, фМРТ покоя (BOLD-EPI), GRE Field Mapping	Оценка динамики структурной и функциональной коннективности головного мозга

Структурная МРТ использовалась для оценки морфологических изменений вещества головного мозга и являлась анатомической основой для последующей обработки данных функциональной и диффузионной МРТ.

Диффузионно-взвешенная МРТ выполнялась с использованием 36 направлений диффузионного кодирования при значении b-фактора 1000 с/мм² и применялась для анализа микроструктурной организации белого вещества и реконструкции проводящих путей головного мозга.

Функциональную МРТ покоя выполняли по протоколу BOLD-EPI. Исследование проводилось в состоянии спокойного бодрствования без выполнения когнитивных или двигательных задач.

Обработка исходных данных и программное обеспечение

После завершения сканирования исходные данные конвертировали из формата DICOM в формат NIfTI.

Для обработки функциональной МРТ использовали программный пакет CONN Toolbox (v20b), функционирующий в среде MATLAB с применением алгоритмов SPM12. Предварительная обработка включала коррекцию движения головы, временную коррекцию срезов, коррекцию геометрических искажений, ко-регистрацию с анатомическими данными, сегментацию, пространственную

нормализацию и сглаживание.

Для анализа диффузионной МРТ использовали программный пакет DSI Studio. Выполнялись контроль качества диффузионных данных, реконструкция проводящих путей, расчёт показателей фракционной анизотропии и построение структурного коннектома.

Методы статистического анализа

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием пакетов CONN release 22.v2407 и Microsoft Excel.

Проводили описательный и сравнительный статистический анализ данных. Для оценки клинических изменений использовали показатели среднего значения, стандартного отклонения и стандартной ошибки.

При анализе данных функциональной МРТ применяли многомерную параметрическую статистику, методы общей линейной модели, кластерный анализ и коррекцию множественных сравнений методом FDR. Для анализа межрегиональной коннективности использовали ROI-to-ROI подход и методы теории графов. Статистически значимыми считали различия при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты анализа структурной, функциональной и микроструктурной организации головного мозга по данным мультимодальной МРТ у детей со спастической диплегией до и после курса лечения с использованием технологии проприоцептивной коррекции посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ»

По данным структурной МРТ у всех обследованных пациентов выявлялись признаки перенесённого перинатального поражения головного мозга, преимущественно затрагивающего белое вещество полушарий.

Наиболее распространённым вариантом структурных изменений являлась перивентрикулярная лейкомаляция (ПВЛ), выявленная изолированно либо в сочетании с внутрижелудочковыми кровоизлияниями. Данный тип поражения был выявлен у 84,9% пациентов основной группы и у 82,3% пациентов группы сравнения (Рисунок 1). Статистически значимых различий по характеру и распространённости структурных изменений между группами выявлено не было ($p > 0,05$), что свидетельствует об их исходной сопоставимости.

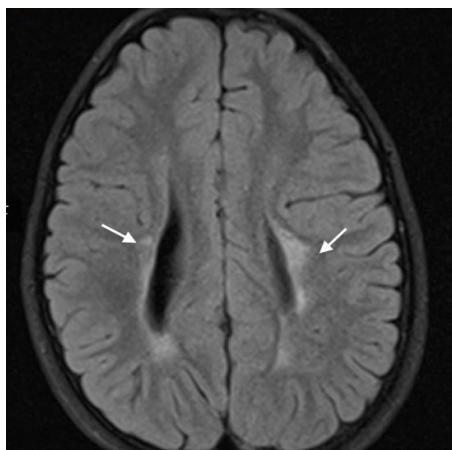


Рисунок 1 – Пациент А., 7 лет, ДЦП, форма спастическая диплегия (амб. № 36/2021). На TIRM-ВИ в аксиальной плоскости указаны перивентрикулярные постгипоксические глиозные изменения белого вещества головного мозга (стрелки). Характерным признаком является плотное прилегание изменений к боковым желудочкам с деформацией их стенок

Представленный клинический пример иллюстрирует типичный вариант перинатального поражения головного мозга при спастической диплегии, лежащего в основе формирования двигательных нарушений. Таким образом, данные структурной МРТ характеризовали исходное состояние головного мозга обследованных пациентов и служили анатомической основой для последующего анализа структурной и функциональной организации церебрального коннектома.

Результаты функциональной магнитно-резонансной томографии покоя

Анализ функциональной коннективности показал наличие статистически значимых изменений организации нейронных сетей после курса лечения с применением технологий проприоцептивного воздействия. Наиболее выраженные изменения были зарегистрированы в салиентной сети. После лечения отмечалось усиление функциональной связи правой передней островковой доли с правой лобной покрывкой, скорлупой, правой задней теменной корой и левой передней верхней височной извилиной. Одновременно выявлено снижение функциональной связи между правой передней островковой долей и зрительной корой (Таблица 3, Рисунок 2).

Таблица 3 – Изменения функциональной коннективности салиентной сети

Связь	Направление изменений	T	p
Правая передняя островковая кора – правая лобная покрывка	усиление	2,76	0,0079
Правая передняя островковая кора – правая скорлупа	усиление	2,45	0,0176
Правая передняя островковая кора – правая теменная кора	усиление	2,41	0,0190
Правая передняя островковая кора – левая верхняя височная извилина	усиление	2,36	0,0217
Правая передняя островковая кора – левая латеральная затылочная кора	ослабление	-2,15	0,0359

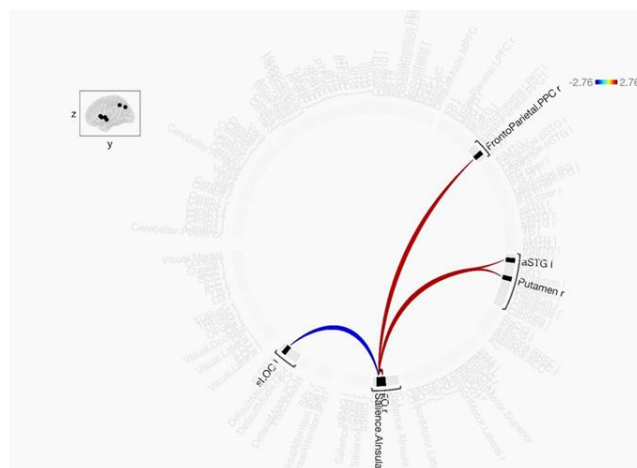


Рисунок 2 – Коннектограмма изменений функциональной связности между различными структурами головного мозга у пациентов с ДЦП по результатам сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа лечения с костюмом «Reforma-ТЭКТ») и группе сравнения (программа лечения без костюма). Градация цвета отражает значения p (FDR corr); переход к красно-бордовым оттенкам соответствует усилению связности, красным цветом картировано усиление (FDR-корр. $p < 0,05$)

Полученные изменения могут свидетельствовать об усилении механизмов переключения внимания на двигательные задачи и уменьшении зависимости моторного контроля от зрительной афферентации.

В подкорково-мозжечковом контуре выявлено снижение функциональной связанности хвостатых ядер с корой мозжечка. Наиболее выраженные изменения зарегистрированы между левым хвостатым ядром и правой долей VI мозжечка, а также между левым хвостатым ядром и долями IV–V мозжечка (Таблица 4, Рисунок 3).

Таблица 4 – Изменения подкорково-мозжечковой функциональной связности

Связь	T	p
Левое хвостатое ядро – правая доля VI мозжечка	–4,64	<0,001
Левое хвостатое ядро – левая доля VI мозжечка	–3,59	<0,001
Левое хвостатое ядро – правая доля IV–V мозжечка	–3,49	<0,001
Правое хвостатое ядро – правая доля VI мозжечка	–2,58	0,013

Снижение функциональной связанности в данном контуре может отражать уменьшение патологической гиперконнективности, характерной для пациентов со спастической диплегией.

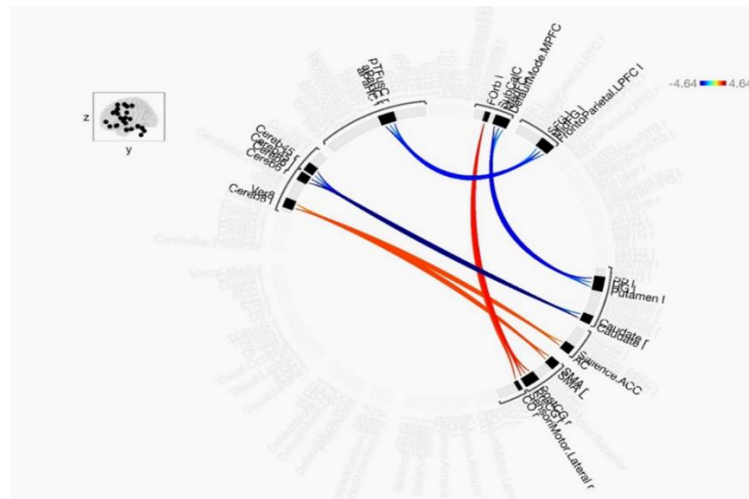


Рисунок 3 – Коннектограмма изменений функциональной связности между различными структурами головного мозга у пациентов с ДЦП по результатам сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа лечения с костюмом «Reforma-ТЭКТ») и группой сравнения (программа лечения без костюма). Градация цвета отражает значения p (FDR corr); переход к красно-бордовым оттенкам соответствует усилению связности

Дополнительно выявлено усиление функциональной связи левой орбитофронтальной коры с сенсомоторными областями, включая латеральную сенсомоторную кору, постцентральную извилину, центральную покрышечную кору и прецентральную извилину (Рисунок 4).

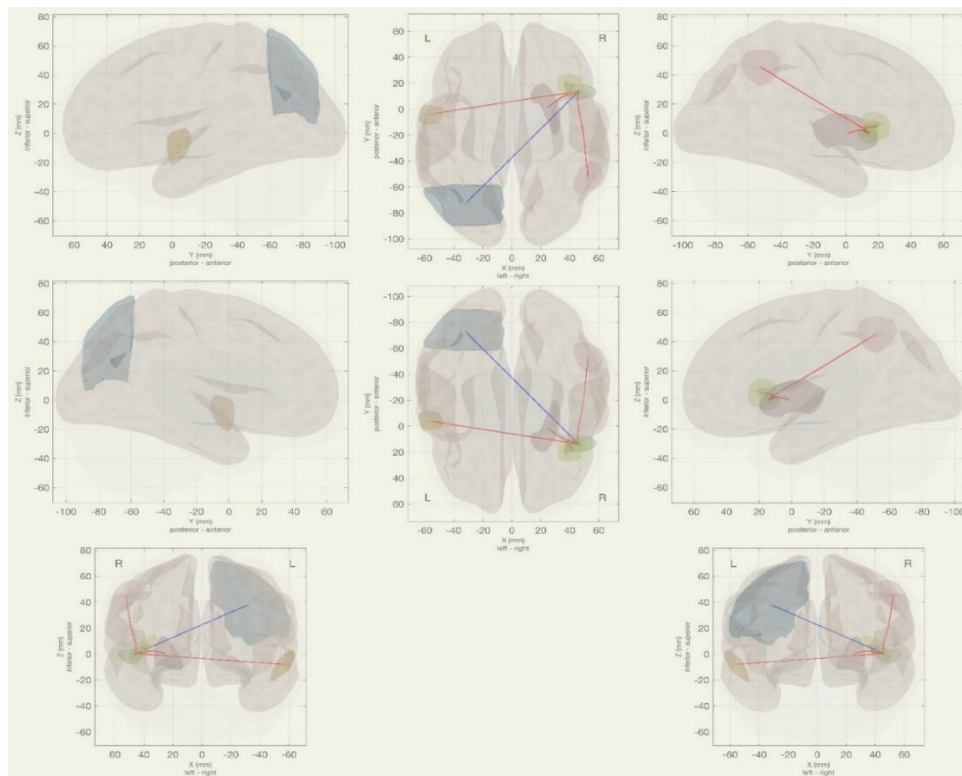


Рисунок 4 – Картограмма зон головного мозга по результатам анализа всех зон интереса (ROI) по данным сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа лечения с костюмом «Reforma-ТЭКТ»)

Таким образом, по данным фМРТ покоя после курса лечения с применением технологий проприоцептивного воздействия выявлена перестройка функциональной организации головного мозга, включающая усиление взаимодействия между салиентной, сенсомоторной и фронто-париетальной сетями, а также снижение избыточной функциональной связанности подкорковых и мозжечковых структур.

Результаты диффузионной магнитно-резонансной томографии

По данным анализа диффузионной МРТ после курса лечения с применением нейрореабилитационного костюма выявлено статистически значимое повышение показателей фракционной анизотропии (FA) в ряде проводящих путей белого вещества. Наиболее выраженные изменения отмечались в мозолистом теле, ассоциативных проводящих путях затылочно-височной области, а также в структурах мозжечка. Повышение показателей FA свидетельствует об улучшении микроструктурной организации белого вещества и повышении эффективности проведения нервных импульсов (Рисунок 5).

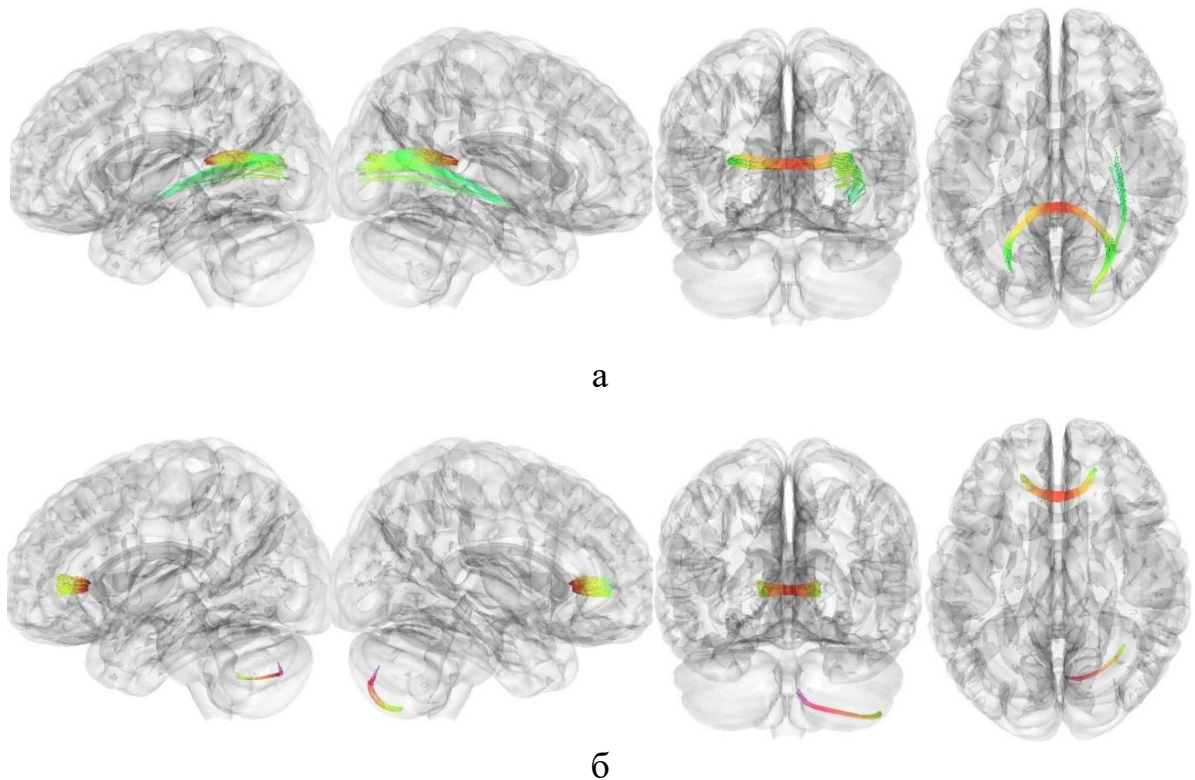


Рисунок 5 – – Тракты с более высоким значением фракционной анизотропии (FA) после курса лечения ($p \leq 0,01$) по данным сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа лечения с костюмом «Reforma-ТЭКТ») и группы сравнения (программа лечения без костюма)

Выявленные изменения формируют структурную основу наблюдаемой функциональной реорганизации мозговых сетей и отражают процессы нейропластической перестройки, происходящие на фоне лечения.

Результаты клинико-неврологического обследования

После курса лечения зарегистрировано статистически значимое улучшение

большинства клинико-функциональных показателей.

Наиболее выраженная положительная динамика отмечена по шкале постурального контроля SATCo (таб.7): показатель увеличился с $4,0 \pm 1,0$ до $6,3 \pm 0,9$ балла ($\Delta = +2,3$; $p < 0,001$). Одновременно наблюдалось снижение выраженности спастичности по шкале Ashworth как в нижних, так и в верхних конечностях ($p < 0,05$).

Положительная динамика мануальных функций по шкале MACS зарегистрирована у 56% обследованных пациентов. По данным гониометрии отмечено увеличение объёма движений в голеностопных, коленных и тазобедренных суставах (Таблица 5).

Таблица 5 – Динамика основных клинико-функциональных показателей

Показатель	До лечения	После лечения	p
SATCo, баллы	$4,0 \pm 1,0$	$6,3 \pm 0,9$	$<0,001$
MACS, уровень	$3,1 \pm 0,6$	$2,8 \pm 0,5$	0,041
Ashworth (нижние конечности)	$3,2 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,3$	$<0,001$
Ashworth (верхние конечности)	$2,5 \pm 0,3$	$2,1 \pm 0,2$	0,024

Дополнительно выявлено улучшение базовых учебных навыков, наиболее выраженное по показателям чтения и графомоторных функций (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Динамика базовых учебных навыков (ЗПВ, чтение, ГМН) у пациентов основной группы и группы сравнения до (T0) и после (T1) курса лечения

Из рисунка 6 следует, что наиболее выраженные изменения в основной группе зарегистрированы по показателю чтения (+25%) и графомоторных навыков (+16%), тогда как в группе сравнения прирост составил +17% и +8% соответственно. Улучшение зрительно-пространственного восприятия

наблюдалось в обеих группах, однако имело меньшую выраженность. Полученные результаты свидетельствуют о том, что положительная динамика на фоне лечения сопровождалась улучшением не только двигательных функций, но и отдельных навыков, связанных с сенсомоторной интеграцией и учебной деятельностью.

Таким образом, клинико-неврологическое обследование показало статистически значимое улучшение моторных функций, постурального контроля, мышечного тонуса, мануальных навыков и объёма движений после курса лечения. Дополнительно выявлена положительная динамика отдельных базовых учебных навыков, преимущественно чтения и графомоторных функций. Полученные результаты послужили основанием для дальнейшего сопоставления клинической динамики с нейровизуализационными показателями структурной и функциональной организации головного мозга.

Интегральный анализ клинико-нейровизуализационных данных

Корреляционный анализ показал наличие статистически значимых взаимосвязей между изменениями параметров структурной и функциональной коннективности головного мозга и динамикой клинико-функциональных показателей.

Улучшение постурального контроля по шкале SATCo ассоциировалось с усилением мозжечково-корковых взаимодействий ($r=0,58$; $p=0,007$), а снижение выраженности спастичности сопровождалось ослаблением функциональной связанности между хвостатым ядром и мозжечком ($r=-0,66$; $p=0,002$).

Повышение показателей фракционной анизотропии в комиссуральных и ассоциативных трактах коррелировало с улучшением мануальных функций и снижением мышечного тонуса.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что клиническое улучшение сопровождается перестройкой структурной и функциональной организации головного мозга и отражает процессы нейропластичности у детей со спастической диплегией после курса лечения с использованием технологии проприоцептивной коррекции посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ».

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Статистический анализ данных мультимодальной МРТ позволил установить особенности структурной, микроструктурной и функциональной организации головного мозга у детей со спастической диплегией.

По данным структурной МРТ у всех обследованных пациентов выявлялись признаки хронического перинатального поражения головного мозга с преимущественным вовлечением перивентрикулярного белого вещества. Доминирующим вариантом изменений являлась перивентрикулярная лейкомаляция,

выявленная у 84,9% пациентов основной группы и у 82,3% пациентов группы сравнения. Статистически значимых различий по характеру структурного поражения между группами не установлено ($p > 0,05$).

Анализ данных функциональной МРТ покоя выявил характерные нарушения организации церебрального коннектома, включающие изменения функциональной коннективности салиентной сети, сети пассивного режима работы мозга, сенсомоторных областей, базальных ганглиев и мозжечка. Наиболее значимые различия зарегистрированы для связей правой передней островковой доли с правой лобной покрывшей ($T=2,76$; $p=0,0079$), правой скорлупой ($T=2,45$; $p=0,0176$) и правой задней теменной корой ($T=2,41$; $p=0,0190$). Одновременно выявлены статистически значимые изменения подкорково-мозжечковых взаимодействий и межсетевых связей между компонентами сети пассивного режима работы мозга, зрительной и сенсомоторной систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным диффузионной МРТ установлены изменения микроструктурной организации белого вещества головного мозга, проявившиеся статистически значимым повышением показателей фракционной анизотропии в комиссуральных, ассоциативных и мозжечковых проводящих путях ($p \leq 0,01$). Наиболее выраженные изменения зарегистрированы в области мозолистого тела, нижнего продольного пучка и проводящих путей мозжечка.

Корреляционный анализ продемонстрировал статистически значимые взаимосвязи между параметрами функциональной коннективности, показателями фракционной анизотропии и клинико-неврологическими характеристиками пациентов ($p=0,50-0,66$; $p\text{-FDR} < 0,05$), что подтверждает клиническую значимость выявленных нейровизуализационных изменений.

Таким образом, применение мультимодальной МРТ позволило объективизировать нарушения структурно-функциональной организации головного мозга при спастической диплегии, выявить нейровизуализационные маркеры состояния церебрального коннектома, а также оценить нейропластические изменения в процессе лечения с использованием технологий проприоцептивной коррекции, сопровождающиеся положительной динамикой двигательных нарушений.

ВЫВОДЫ

1. По данным диффузионной МРТ у детей со спастической диплегией выявлены генерализованные микроструктурные изменения белого вещества в виде снижения фракционной анизотропии в кортикоспинальных трактах, мозолистом теле, таламокортикальных проекциях и ассоциативных пучках (верхний

продольный пучок, нижний лобно-затылочный пучок), что отражает нарушение миелинизации и структурной организации проводящих путей ($p < 0,05$).

2. В основной группе после применения технологии проприоцептивного воздействия выявлена статистически значимая положительная динамика: повышение фракционной анизотропии в комиссуральных (мозолистое тело) и ассоциативных (нижний продольный пучок) трактах ($p < 0,05$), а также улучшение показателей функциональной коннективности (усиление связей правой передней островковой доли, ослабление гиперсвязанности подкорково-мозжечковых контуров, оптимизация взаимодействия сеть пассивного режима работы мозга – салиентная сеть – зрительная кора). Статистическая значимость различий подтверждена с использованием параметрических и непараметрических методов статистического анализа с коррекцией на множественные сравнения (FDR).

3. Выявлены значимые взаимосвязи между нейровизуализационной динамикой и клинико-функциональными улучшениями: усиление функциональной связности между первичной моторной корой и дополнительной моторной областью ассоциировалось с улучшением постурального контроля по шкале SATCo ($r = 0,56$; $p = 0,009$); повышение фракционной анизотропии комиссуральных и кортикоспинальных проводящих путей сопровождалось снижением выраженности спастичности по шкале Ashworth ($r = -0,49$; $p = 0,021$), а усиление мозжечково-корковых взаимодействий сочеталось с улучшением постурального контроля и устойчивости туловища по шкале SATCo ($r = 0,58-0,60$; $p = 0,005-0,007$).

4. Полученные данные свидетельствуют о том, что показатели функциональной коннективности и фракционной анизотропии могут рассматриваться в качестве дополнительных объективных маркеров структурно-функциональной реорганизации головного мозга и процессов нейропластичности, развивающихся на фоне использования технологии проприоцептивной коррекции посредством нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ» ($p < 0,05$).

5. Определена взаимосвязь между изменениями нейровизуализационных параметров и клинико-неврологических показателей на фоне применения технологий проприоцептивной стимуляции, сопровождавшаяся увеличением показателей фракционной анизотропии в ряде комиссуральных, ассоциативных и мозжечковых трактов, включая структуры мозолистого тела и нижний продольный пучок, что позволило выделить потенциальные нейровизуализационные маркеры процессов нейропластической перестройки и эффективности лечения с применением технологий проприоцептивной коррекции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Детям со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии детского церебрального паралича рекомендуется выполнение мультимодальной

MPT, включающей структурную MPT, диффузионно-тензорную MPT и функциональную MPT покоя, для комплексной оценки структурно-функциональной организации головного мозга и нейропластических изменений, ассоциированных с применением нейрореабилитационного костюма «Reforma-ТЭКТ», механизм действия которого связан с усилением проприоцептивной афферентации и модуляцией сенсомоторных церебральных сетей.

2. Для анализа данных мультимодальной MPT целесообразно использование стандартизированных программных комплексов постобработки (SPM, CONN Toolbox, DSI Studio), обеспечивающих количественную оценку параметров структурной и функциональной коннективности головного мозга.

3. При проведении нейровизуализационных исследований у детей с ДЦП рекомендуется применение унифицированных протоколов диффузионной MPT и функциональной MPT покоя, соответствующих современным международным требованиям изучения церебрального коннектома.

4. Показатели функциональной коннективности и фракционной анизотропии могут рассматриваться в качестве дополнительных объективных нейровизуализационных маркеров нарушения структурно-функциональной организации головного мозга и процессов нейропластичности у детей со спастической диплегией.

5. Результаты мультимодальной MPT рекомендуется учитывать при комплексной оценке неврологического статуса детей со спастической диплегией и интерпретации механизмов восстановления двигательных функций, связанных с нейропластической перестройкой церебральных сетей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшее развитие темы связано с углублённым изучением процессов структурной и функциональной реорганизации головного мозга у детей с различными формами ДЦП с использованием современных методов коннектомного анализа.

Перспективным направлением является применение технологий машинного обучения и анализа больших данных для прогнозирования эффективности реабилитации и формирования персонализированных подходов к лечению.

Целесообразно проведение пролонгированных исследований с несколькими временными точками наблюдения для оценки устойчивости нейропластических изменений и их связи с клиническим исходом.

Дополнительные возможности открывает применение ультравысокопольной MPT, МР-морфометрии и МР-спектроскопии для изучения структурных, функциональных и метаболических изменений головного мозга у детей с ДЦП.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тлизамова, Ф.А. Функциональная МРТ в оценке коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом после применения нейрореабилитационного костюма / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 219-220.
2. Тлизамова, Ф.А. Методика проведения функциональной МРТ покоя в оценке коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 221-222.
3. Ефимцев, А.Ю. Функциональная магнитно-резонансная томография в оценке коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом после применения нейрореабилитационного костюма / А.Ю. Ефимцев, **Ф.А. Тлизамова** // Материалы XV Международного конгресса «Невский радиологический форум». – 2024. – С. 155-156.
4. Ефимцев, А.Ю. Усовершенствованная методика проведения функциональной МРТ покоя у детей с церебральным параличом / А.Ю. Ефимцев, **Ф.А. Тлизамова** // Материалы XV Международного конгресса «Невский радиологический форум». – 2024. – С. 31-32.
5. Нейрореабилитация пациентов с детским церебральным параличом: значение функциональной магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности её проведения / **Ф.А. Тлизамова**, Н.Е. Иванова, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Учение академика И.П. Павлова в современной системе нейронаук». – 2024. – С. 168-169.
6. Тлизамова, Ф.А. Функциональная МРТ в оценке коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом после применения нейрореабилитационного костюма / Ф.А. Тлизамова // Материалы XVIII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2024». – 2024. – С. 62.
7. Тлизамова, Ф.А. Усовершенствованная методика проведения функциональной МРТ покоя у детей с церебральным параличом / Ф.А. Тлизамова // Материалы XVIII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2024». – 2024. – С. 63.
8. Тлизамова, Ф.А. Нейрореабилитация пациентов с детским церебральным параличом: функциональная МРТ в оценке коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом после использования нейрореабилитационного костюма / Ф.А. Тлизамова // Актуальные проблемы лучевой диагностики: материалы Международной научно-практической конференции. – Курск, 2024. – С. 204-209.

9. Тлизамова, Ф.А. Особенности методики функциональной магнитно-резонансной томографии в комплексном обследовании пациентов с детским церебральным параличом / Ф.А. Тлизамова // Актуальные проблемы лучевой диагностики: материалы Международной научно-практической конференции. – Курск, 2024. – С. 200-204.

10. Тлизамова, Ф.А. Протокол импульсной последовательности BOLD (blood-oxygen-level-dependent) для детей с детским церебральным параличом / Ф.А. Тлизамова // XIX Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2025». – С. 66-67.

11. Тлизамова, Ф.А. Изменения функциональной коннективности головного мозга у детей с детским церебральным параличом при проведении межгруппового статистического анализа после выполнения методики функциональной магнитно-резонансной томографии покоя / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов // XIX Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2025». – 2025. – С. 67-68.

12. Тлизамова, Ф.А. Анализ коннектома головного мозга детей с ДЦП до и после курса нейрореабилитации с применением методики фМРТ / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов // Петербургский международный конгресс по нейронаукам: сборник материалов. Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова. – 2025. – Т. XVII. – С. 14-15.

13. Ефимцев, А.Ю. Улучшение технических аспектов методики проведения функциональной МРТ покоя у детей с церебральным параличом / А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов, **Ф.А. Тлизамова** // Материалы Петербургского международного конгресса по нейронаукам. – 2025. – Т. XVII. – С. 15-16.

14. Тлизамова, Ф.А. Усовершенствованная методика проведения функциональной МРТ покоя у детей с церебральным параличом / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев // Материалы XVI Международного конгресса «Невский радиологический форум». – 2025. – С. 36.

15. Тлизамова, Ф.А. Разработка оптимального дизайна исследования и методики функциональной магнитно-резонансной томографии покоя у детей с церебральным параличом / Ф.А. Тлизамова // Материалы Алмазовского молодёжного медицинского форума. – 2025. – С. 294.

16. Тлизамова, Ф.А. Коннектом головного мозга у детей с детским церебральным параличом на основе выбора зоны интереса: медиальная префронтальная кора (анализ функциональной магнитно-резонансной томографии) / Ф.А. Тлизамова // Материалы Алмазовского молодёжного медицинского форума. – 2025. – С. 293.

17. Функциональная магнитно-резонансная томография в оценке изменений коннектома головного мозга у детей с церебральным параличом после применения

нейрореабилитационного костюма «REFORMA-ТЭКТ» / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов [и др.] // **Вестник медицинского института «Реавиз: реабилитация, врач и здоровье»**. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 189-197.

18. Функциональная магнитно-резонансная томография в оценке реорганизации рабочих сетей покоя головного мозга на основе выбора зон интереса: первичная моторная кора и дополнительная моторная область у пациентов с детским церебральным параличом после применения нейрореабилитационного костюма / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов [и др.] // **Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова**. – 2025. – Т. XVII, № 3. – С. 110-121.

19. Тлизамова, Ф.А. Функциональная магнитно-резонансная томография в анализе нейропластического потенциала мозга у детей с ДЦП: реорганизация моторных и когнитивно-регуляторных нейронных сетей после применения нейрореабилитационного костюма / **Ф.А. Тлизамова**, Г.Е. Труфанов, А.Ю. Ефимцев // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов: сборник тезисов. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 93-95.

20. Комплексная оценка эффективности нейрореабилитационного костюма у детей со спастической диплегией (ДЦП, поздняя резидуальная стадия): клинические, функциональные и нейровизуализационные показатели, включая коннектомные маркеры нейропластичности и моторных исходов / **Ф.А. Тлизамова**, А.Ю. Ефимцев, Г.Е. Труфанов [и др.] // **Международный научно-исследовательский журнал**. – 2026. — №6 (168). — URL: <https://research-journal.org/archive/6-168-2026-june/10.60797/IRJ.2026.168.39>

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИАСЧ – индекс асимметрии свода черепа КТ – компьютерная томография

МР – магнитно-резонансный (ая, ое, ые) МРТ – магнитно-резонансная томография

ФС – фронтальный стеноз

ФУ – фронтальный угол ЦИ – цефалический индекс

CBF – cerebral blood flow (скорость мозгового кровотока) CBV – cerebral blood volume (объема мозгового кровотока) MTT – mean transit time (среднее время транзита)

TTP – Time to peak (время до пика).

MPR (МПР) – Multiplanar reformation (мультипланарная реконструкция)