



ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА/RADIATION DIAGNOSTICS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39> EDN: OJHHLQ**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**

Научная статья

Тлизамова Ф.А.^{1,*}, Ефимцев А.Ю.², Труфанов Г.Е.³, Иванова Н.Е.⁴, Литус А.Ю.⁵, Феськов Г.П.⁶, Левчук А.Г.⁷¹ ORCID : 0009-0009-2358-7880;² ORCID : 0000-0003-2249-1405;³ ORCID : 0000-0002-1611-5000;⁴ ORCID : 0000-0003-2790-0191;⁵ ORCID : 0000-0002-3414-0074;⁶ ORCID : 0000-0002-8340-6262;⁷ ORCID : 0000-0002-8848-3136;^{1, 2, 3, 4, 7} Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Российская Федерация^{5, 6} Центр Медицинских Технологий и Реабилитации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (fatima.albekovna[at]mail.ru)

Предложена: 19.02.2026; Принята: 22.04.2026; Опубликовано: 17.06.2026

Аннотация

Актуальность. Детский церебральный паралич (ДЦП) остаётся ведущей причиной стойких двигательных нарушений у детей, что определяет необходимость эффективной реабилитации и объективных биомаркеров её результата. Анализ фМРТп и DTI позволяет оценивать структурно-функциональные изменения коннектома как маркеры нейропластичности.

Цель. Оценить динамику структурно-функциональной реорганизации коннектома у детей со спастической диплегией на фоне реабилитации с использованием костюма «Reforma-ТЭКТ» и связь нейровизуализационных изменений с клиническими улучшениями.

Материалы и методы. Обследованы 89 детей (8±3 года), GMFCS II–III, поздняя резидуальная стадия. Они были разделены на основную группу (реабилитация с костюмом) и контрольную (сопоставимая по объёму стандартная реабилитация без костюма); курс реабилитации составлял 4 недели. До и после курса реабилитации оценивали данные GMFM-88, MAS, SATCo, модифицированной шкалы Ашворта, гониометрии. МРТ (Siemens 1,5 T) включало: фМРТп (seed-based, ROI сенсомоторной сети) и DTI с оценкой FA и MD (кортикоспинальные тракты, мозолистое тело).

Результаты. После курса отмечено значимое улучшение клинических показателей (GMFM-88, контроль туловища по SATCo, объём движений). По данным фМРТп выявлено усиление связности внутри сенсомоторной сети (M1—SMA) и снижение избыточной связанности сенсомоторной сети с рабочей сетью покоя. Изменение связности сенсомоторной сети коррелировало с улучшением моторики ($r=0,65$; $p<0,01$).

Заключение. Реабилитация с костюмом «Reforma-ТЭКТ» ассоциируется с клиническим улучшением и перестройкой функциональной организации мозга. Функциональная МРТ в покое и DTI можно использовать в качестве вспомогательных инструментов для объективной оценки реабилитации.

Ключевые слова: ДЦП, спастическая диплегия, реабилитационный костюм, rs-fMRI, DTI, коннективность, сенсомоторная сеть, нейропластичность.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A NEUROREHABILITATION SUIT IN CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA (CEREBRAL PALSY, LATE RESIDUAL STAGE): CLINICAL, FUNCTIONAL, AND NEUROIMAGING METRICS, INCLUDING CONNECTOMIC MARKERS OF NEUROPLASTICITY AND MOTOR OUTCOMES

Research article

Tlizamova F.A.^{1,*}, Efimtsev A.Y.², Trufanov G.Y.³, Ivanova N.Y.⁴, Litus A.Y.⁵, Feskov G.P.⁶, Levchuk A.G.⁷¹ ORCID : 0009-0009-2358-7880;² ORCID : 0000-0003-2249-1405;³ ORCID : 0000-0002-1611-5000;⁴ ORCID : 0000-0003-2790-0191;⁵ ORCID : 0000-0002-3414-0074;⁶ ORCID : 0000-0002-8340-6262;⁷ ORCID : 0000-0002-8848-3136;^{1, 2, 3, 4, 7} National Medical Research Center named after V.A. Almazov, Saint-Petersburg, Russian Federation^{5, 6} Center for Medical Technologies and Rehabilitation, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (fatima.albekovna[at]mail.ru)

Suggested: 19.02.2026; Accepted: 22.04.2026; Published: 17.06.2026

Abstract

Background. Cerebral palsy (CP) remains a leading cause of persistent motor impairment in children, highlighting the need for effective rehabilitation and objective biomarkers of treatment response. Resting-state fMRI (rs-fMRI) and diffusion tensor imaging (DTI) enable assessment of structural and functional connectome changes as markers of neuroplasticity.

Objective. To evaluate the dynamics of structural–functional connectome reorganization in children with spastic diplegia undergoing rehabilitation with the “Reforma-TEKT” suit and to examine the association between neuroimaging changes and clinical motor improvements.

Materials and Methods. Eighty-nine children (8 ± 3 years) with CP, GMFCS levels II–III, late residual stage, were examined. Participants were assigned to the main group (rehabilitation with the suit) or a control group (volume-matched standard rehabilitation without the suit) for 4 weeks. Before and after the course, GMFM-88, MAS, SATCo, the Modified Ashworth Scale, and goniometry were performed. MRI (Siemens 1,5 T) included rs-fMRI (seed-based analysis; sensorimotor network ROI) and DTI with FA and MD measurements (corticospinal tracts, corpus callosum). Statistics: t-tests for within- and between-group comparisons of change scores (Δ) and Pearson correlation analysis.

Results. After rehabilitation, significant improvements were observed in key clinical outcomes (GMFM-88, trunk control by SATCo, and range of motion). rs-fMRI revealed increased connectivity within the sensorimotor network (M1–SMA) and decreased excessive connectivity between the sensorimotor network and the default mode network (DMN). Changes in sensorimotor network connectivity correlated with motor improvement ($r=0,65$, $p<0,01$).

Conclusion. Rehabilitation using the “Reforma-TEKT” suit is associated with clinical improvement and favorable reorganization of functional brain architecture. rs-fMRI and DTI may serve as sensitive tools for objective evaluation of rehabilitation effects.

Keywords: cerebral palsy, spastic diplegia, rehabilitation suit, rs-fMRI, DTI, connectivity, sensorimotor network, neuroplasticity.

Введение

ДЦП — ведущая причина стойких двигательных нарушений у детей [1]; при спастической диплегии преимущественно страдают нижние конечности [2], [3], постуральный контроль [4] и ходьба, и даже в поздней резидуальной стадии сохраняются выраженные ограничения, требующие длительной реабилитации [5], [6]. В практике всё чаще применяются нейрореабилитационные костюмы, сочетающие проприоцептивную коррекцию и дозированную внешнюю поддержку на фоне активных тренировок; предполагается, что они улучшают селективный контроль и паттерны ходьбы, однако доказательная база их эффективности остаётся неоднородной [7], [8]. Клинические шкалы фиксируют изменения, но не объясняют механизмы восстановления, поэтому важна комплексная оценка с функциональными методами и нейровизуализацией (DTI, фМРТп, коннектомика), позволяющей объективировать нейропластические перестройки и связать их с клиническими исходами [9].

Цель исследования — оценить эффективность нейрореабилитационного костюма у детей со спастической диплегией в поздней резидуальной стадии ДЦП по совокупности клинических, функциональных и нейровизуализационных показателей и определить их связь с изменениями моторных навыков.

Материалы и методы

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.).

В исследование включены 89 детей 4–15 лет (8 ± 3 года) с ДЦП, спастической диплегией; GMFCS II — 74, GMFCS III — 15. Сформированы две сопоставимые группы: основная (программа реабилитации с костюмом «Reforma-ТЭКТ») и контрольная (программа реабилитации без костюма). Критерии включения: ДЦП со спастической диплегией, 4–15 лет, возможность сохранять неподвижность для фМРТп, информированное согласие. Исключали противопоказания к МРТ, эпилепсию, выраженные когнитивно-поведенческие нарушения, ботулинотерапию менее чем за 6 месяцев до включения в группу.

Обследование включало неврологический осмотр, ЭЭГ и МРТ 1,5 Т с нативными последовательностями, фМРТп и диффузионно-тензорную визуализацию. Обследование проводили в 2 точках: до курса реабилитации, и через 1 месяц после его окончания. МР-исследование выполняли на томографе с силой индукции магнитного поля 1,5 Тл. Протокол включал стандартные нативные последовательности для оценки структурных изменений головного мозга, а также фМРТп и диффузионно-тензорную визуализацию.

Все пациенты прошли 4-недельный курс реабилитации, включавший ежедневные (5 дней в неделю) 60-минутные занятия. Каждое занятие состояло из комплекса лечебной гимнастики, выполняемой в нейро-ортопедическом реабилитационном костюме «Reforma-ТЭКТ» (рис. 1). Программа упражнений была индивидуализирована, но включала общие элементы, направленные на растяжку, укрепление мышц, тренировку равновесия и ходьбы.

Реабилитационный костюм представляет из себя носимую систему с компрессионным воздействием и транскутанной электростимуляцией, управляемой программируемым контроллером; в нем предусмотрены датчики и адаптивная настройка параметров.



Рисунок 1 - Костюм «Reforma-ТЭКТ»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39.1>

Основу методологии составила система Manual Ability Classification System (MACS — Система классификации мануальных (ручных) возможностей) — стандартизированный инструмент классификации функциональных возможностей верхних конечностей по пятиуровневой шкале с акцентом на повседневную активность. Постуральный контроль — по Segmental Assessment of Trunk Control (SATCo — Сегментарная оценка контроля туловища). Спастичность оценивали по Modified Ashworth Scale (MAS) — Модифицированная шкала Эшворта, объём движений — инструментальной гониометрией (активные/пассивные движения по стандартизированному протоколу).

Данный мультимодальный подход обеспечил сопоставимость результатов за счёт комбинации функциональной стратификации (MACS), биомеханического анализа (SATCo, гониометрия) и объективной клинической шкалы (MAS), что позволило сформировать целостную картину нейромоторных нарушений и динамики реабилитационного процесса.

МРТ выполняли на томографе Siemens 1,5 Тл после получения информированного согласия и одобрения локальным этическим комитетом НМИЦ им. В.А. Алмазова (протокол №10-23 от 02.10.2023).

Протокол включал стандартные анатомические последовательности (T1, T2, TIRM, DWI) и фМРТп.

Седация не применялась; уменьшение двигательных артефактов обеспечивали подготовкой пациента и наблюдением инструкций.

Данные обрабатывали в программных пакетах SPM12 и CONN.

Функциональную коннективность оценивали методом на основе выбора точек и зон интереса (ROI — области/регионы интереса) с их билатеральной локализацией в ключевых узлах сенсомоторной сети — M1 (первичная моторная кора) и SMA (дополнительная моторная область). Для каждого ROI (региона интереса) строили карты корреляционной связности и сравнивали показатели до и после курса реабилитации. Комбинация стандартного МРТ-протокола и фМРТп (функциональная МРТ покоя) позволила объективизировать структурно-функциональные изменения, а параметры связности M1/SMA (первичной моторной коры/дополнительной моторной области) рассматривались как потенциальные биомаркеры эффективности реабилитации при ДЦП (детский церебральный паралич).

Применялись следующие параметры импульсной последовательности при выполнении функциональной МРТ головного мозга: время повторения (TR) 3000 мс, время эхо (TE) — 30 мс, угол поворота вектора намагниченности — 90 градусов. Размер поля обзора (FOV) равен 192 мм, матрица — 64 на 64 вокселя. Толщина получаемого среза 4,5 мм, общее количество срезов — 29, количество повторений — 120, общее время сканирования при таких составило 6 минут.

Для диффузионной визуализации в ходе каждого исследования получали 36 направлений измерения диффузии. Значение b-фактора составляло 1000 с/мм². Разрешение в плоскости составляло 1,797 мм. Толщина среза составляла 4,20 мм. Данные диффузии были реконструированы в пространстве MNI с использованием диффеоморфной реконструкции.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было установлено улучшение показателей по шкале оценки мануальных способностей у 56% исследуемых, улучшение показателей по шкале оценки постурального контроля у 100% исследуемых, улучшение показателей по шкале оценки мышечного тонуса в нижних конечностях у 100% исследуемых, в верхних конечностях у 72% исследуемых, улучшение показателей по гониометрии по показателям тыльного сгибания голеностопных суставов (при согнутых и разогнутых коленных суставах) у 75% исследуемых, улучшение показателей по гониометрии

по показателям отведения в тазобедренных суставах (при согнутом и разогнутом коленном суставе) у 100% исследуемых, улучшение показателей по гониометрии по показателям сгибания/разгибания в КС у 63% исследуемых.

По данным фМРТ в покое у детей с ДЦП после реабилитации с применением костюма можно выделить следующие ключевые изменения функциональной связности.

После курса реабилитации было отмечено усиление функциональной связности передней островковой коры с правой фронтальной покрывкой, правой скорлупой, с правой теменной корой и левой передней верхней височной извилиной ($T=2,36-2,76$; $p=0,0217-0,0079$), при одновременном снижении связности с левой верхней латеральной затылочной корой ($T=-2,15$; $p=0,0359$) (рис. 2, 4). Это может указывать на повышение эффективности сети выявления значимости, вероятно связанное с улучшением переключения внимания на двигательные задачи и интеграцией сенсорной информации. Полученные данные согласуются с результатами Role of the right anterior insula for the emergence of flow, где показана центральная роль правой передней островковой коры в интеграции фронтальных взаимодействий при целенаправленной вовлечённости, а также с выводами Higher handgrip strength is linked to higher salience ventral attention functional network segregation, продемонстрировавшими связь большей сегрегации сети значимости с лучшими показателями физической функции. В этом контексте усиление островковой интеграции может отражать повышение эффективности сенсомоторной регуляции [10], [11].

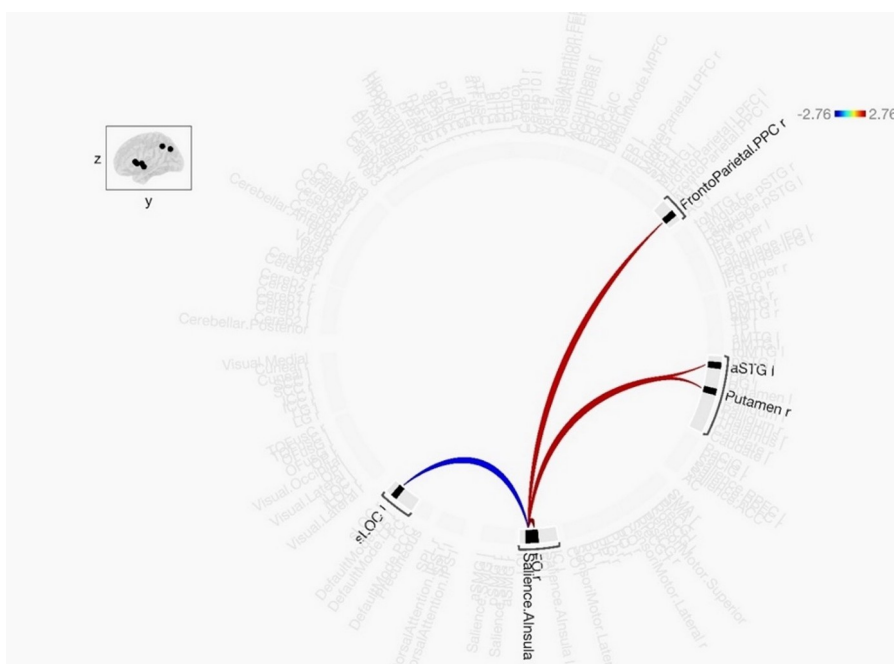


Рисунок 2 - Коннектограмма изменений функциональной связности между различными структурами головного мозга у пациентов с ДЦП по результатам сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа реабилитации с нейрореабилитационным костюмом «Reforma-ТЭКТ») и контрольной (программа реабилитации без костюма)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39.2>

Примечание: градация цвета отражает значения p (FDR corr); переход к красно-бордовым оттенкам соответствует усилению связности

В подкорково-мозжечковой сети отмечено снижение функциональной связности: левого хвостатого ядра — с корой мозжечка (доли IV–V и VI; T от $-4,64$ до $-2,58$; $p<0,013$), (рис. 3). Поскольку при ДЦП нередко наблюдается повышенная связность базальных ганглиев и мозжечка, это снижение можно трактовать как сдвиг к более физиологичной фоновой нейродинамике, что согласуется с уменьшением спастичности и улучшением селективности движений [12].

В РСП и сенсомоторной сети выявлено снижение функциональной связности: правая латеральная теменная область РСП – с передней поясной корой ($T = -2,56$; $p = 0,013$). Это может отражать уменьшение влияния DMN на перераспределение ресурсов в пользу произвольного внимания и моторного обучения (рис. 3) Это согласуется с данными D. De Ridder и соавторов (2022), где показано, что в рамках три-сетевой модели сеть значимости (включая переднюю поясную кору) обеспечивает переключение между антикоррелированными DMN и центрально-исполнительной сетью, а нарушение их межсетевой связности отражает изменение перераспределения когнитивных ресурсов [13].

В зрительно-ассоциативных зонах выявлено снижение связности с передней поясной корой, дополнительной моторной областью и РСП (рис. 3, 5). Это может указывать на больший вклад соматосенсорной/проприоцептивной афферентации после реабилитации, что соответствует росту автоматизации движений и более корректному распределению внимания. Как отмечают A. Sansare и соавторы (2022), лица с ДЦП при нарушенной соматосенсорной и проприоцептивной обработке существенно усиливают опору на зрение, что приводит к искажённому распределению

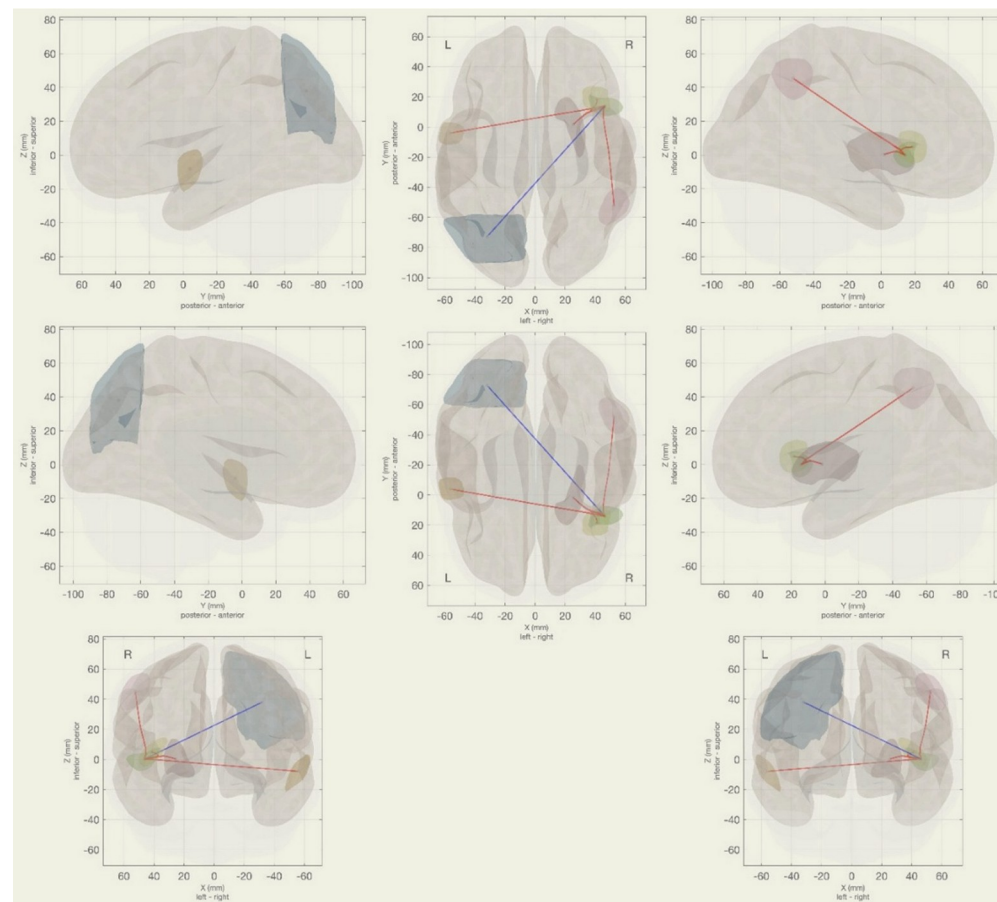


Рисунок 4 - Картограмма зон головного мозга по результатам анализа всех зон интереса (ROI) по данным сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа реабилитации с нейрореабилитационным костюмом «Reforma-ТЭКТ») и контрольной (программа реабилитации без костюма)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39.4>

Примечание: цветовая градация отражает статистическую значимость различий (p, FDR corr)

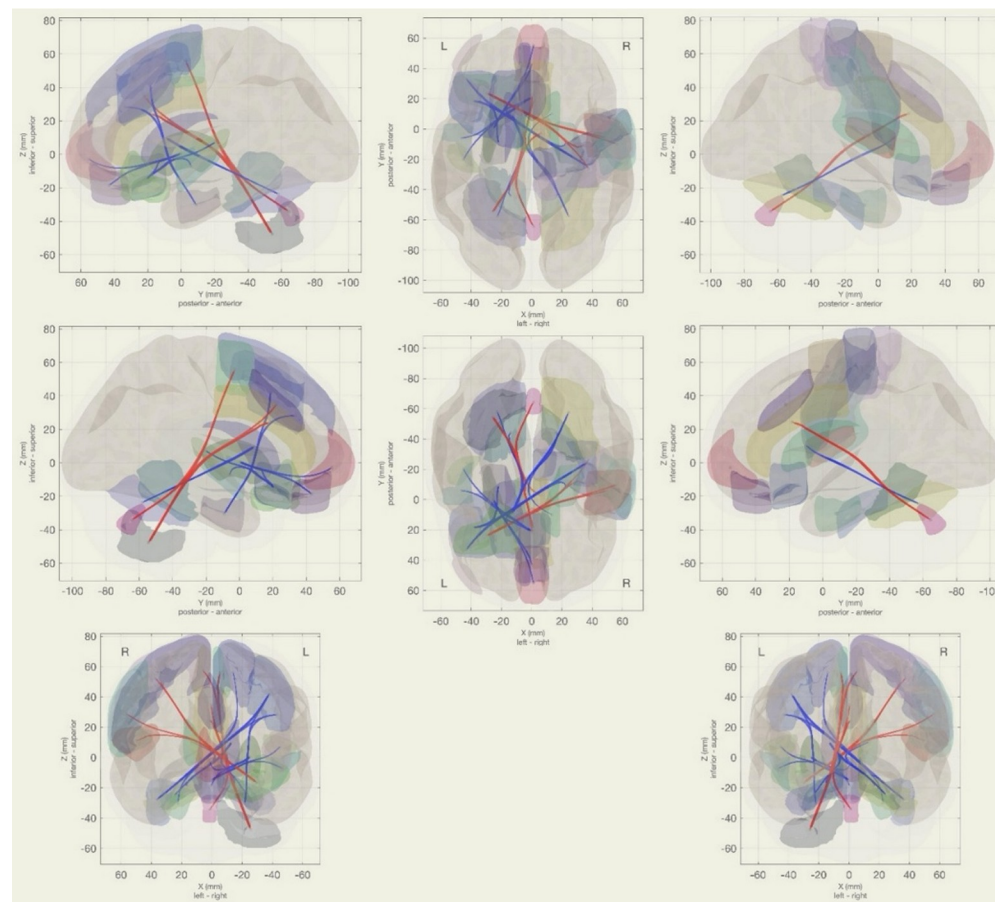


Рисунок 5 - Картограмма зон головного мозга по результатам анализа всех зон интереса (ROI) по данным сравнения двух временных точек (до и после курса) в двух сопоставимых группах: основной (программа реабилитации с нейрореабилитационным костюмом «Reforma-ТЭКТ») и контрольной (программа реабилитации без костюма)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39.5>

Примечание: цветовая градация отражает статистическую значимость различий (p, FDR corr)

В целом данные отражают многовекторную перестройку рабочих сетей с переходом к более целенаправленной моторной организации. Такая конфигурация благоприятна для реабилитации: ускоряется выделение значимых стимулов, улучшается переключение между сетью пассивного режима работы мозга и центрально-исполнительной сетью, укрепляется цепочка «инструкция → действие → обратная связь», что, в свою очередь, способствует закреплению новых двигательных стереотипов. Снижение связности с верхней латеральной затылочной корой в этом контексте можно расценивать как вариант адаптивной оптимизации с уменьшением влияния зрительного восприятия и усилением работы сенсомоторных и когнитивных механизмов, определяющих качество движения.

Установлено снижение избыточной межсетевой коактивации: уменьшается функциональная связанность латеральных теменных отделов сети пассивного режима работы мозга с передней поясной корой — ключевым узлом сети значимости, а также связи верхней латеральной затылочной коры с дополнительной моторной областью и передней поясной корой. Это указывает на более автономную работу сети пассивного режима в состоянии покоя, повышенную готовность сети значимости к быстрому переключению на выполнение задачи. Подобная интерпретация согласуется с обзором I. Sezer, D.A. Pizzagalli и M.D. Sacchet (2022), где показано, что осознанность сопровождается снижением межсетевой функциональной связности между DMN и ключевыми узлами сети значимости и исполнительной сети, что рассматривается как отражение большей сетевой дифференциации и функциональной гибкости. Таким образом, уменьшение межсетевой коактивации может интерпретироваться в рамках концепции функционального разобщения сетей как нейрофункционального механизма, способствующего более эффективному переключению на внешне ориентированную деятельность [15].

Выявленное усиление связности левой орбитофронтальной коры с сенсомоторными областями также отражает «привязку значимости к действию»: мотивационная оценка быстрее транслируется в планирование, выполнение и коррекцию движения, усиливая обучение через проприоцептивную обратную связь и потенциально снижая зрительную сверхзависимость. Полученные данные согласуются с результатами N. Kumar и соавторов (2022), показавших, что нарушение работы левой 9/46v снижает эффективность подкреплённого моторного обучения и устойчивость использования соматической информации, что указывает на ведущую роль вентролатеральной префронтальной коры в связывании оценочных сигналов с параметрами движения [16].

Анализ целостности проводящих путей белого вещества (трактов) позволил оценить структурные изменения, согласующиеся с функциональной перестройкой рабочих сетей по данным фМРТп.

На рисунке 6 представлены тракты с более высоким показателем фракционной анизотропии у пациентов после проведения курса реабилитации.

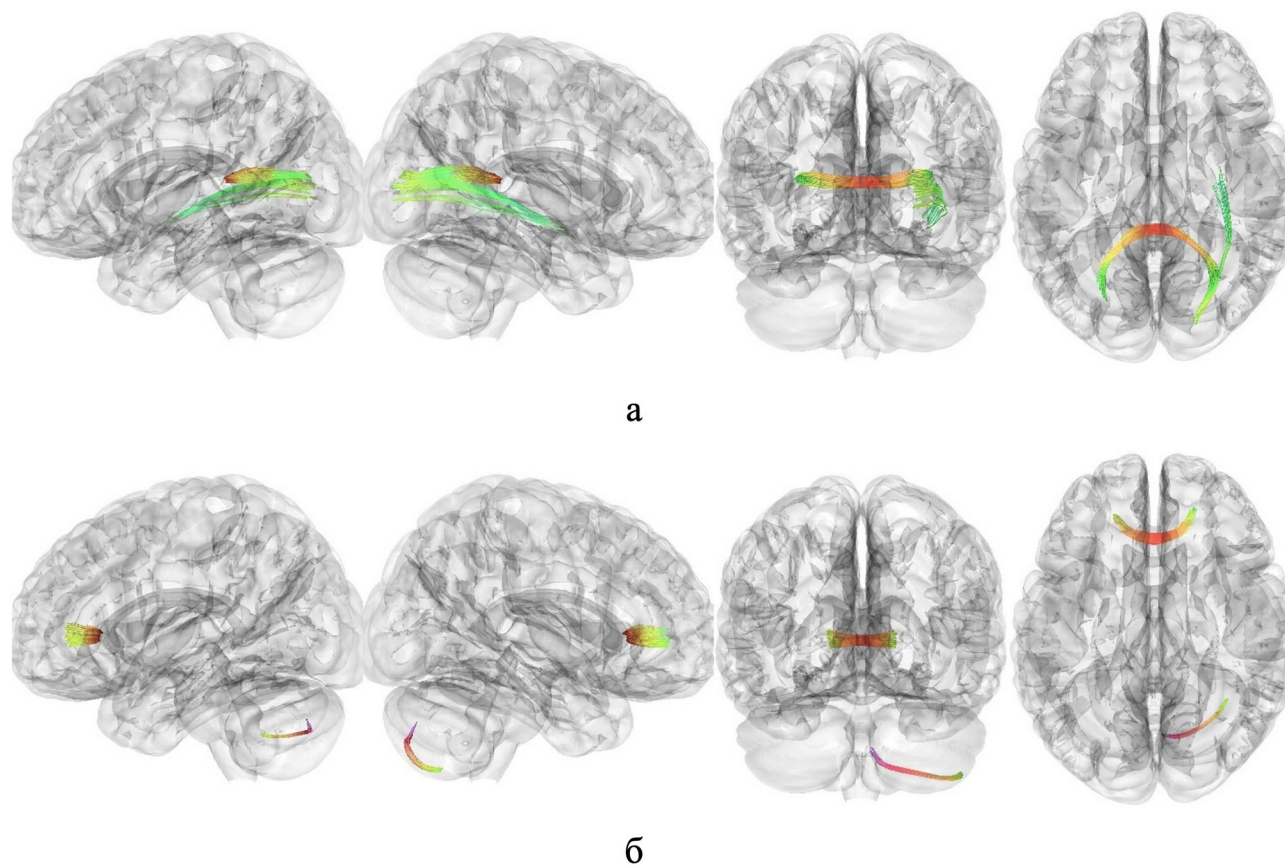


Рисунок 6 - Тракты с более высоким значением фракционной анизотропии (FA) после курса реабилитации ($p \leq 0,01$) по данным сравнения двух временных точек до (а) и после курса (б) в двух сопоставимых группах: основной (программа реабилитации с нейрореабилитационным костюмом «Reforma-ТЭКТ») и контрольной (программа реабилитации без костюма)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.39.6>



Было выявлено увеличение фракционной анизотропии (ФА), что указывает на улучшение микроструктурной организации и эффективности передачи сигналов, в нескольких ключевых трактах. В левом полушарии мозжечка повышение ФА говорит об усилении связности внутри его коры и с другими отделами. Это может отражать более точную координацию, в том числе при сложных движениях, что является основой улучшения моторного контроля. Увеличение ФА в колоне и валике мозолистого тела отражает укрепление связей между лобными и теменно-затылочными отделами двух полушарий соответственно. Такие изменения способствуют более быстрому и интегрированному обмену информацией между полушариями, что критически важно для сложного моторного обучения и планирования действий. Увеличение ФА в нижнем продольном пучке, связывающем затылочную и височную кору, свидетельствует об улучшении интеграции зрительной информации с высшими когнитивными и, возможно, сенсомоторными областями. Это может отражать переход от простого зрительного мониторинга к более осмысленному использованию зрительной информации в контексте действий. В исследовании N. Friedman и соавторов (2025) показано, что в процессе моторного обучения происходит увеличение фракционной анизотропии и снижение средней диффузивности в моторно-релевантных областях, включая мозжечок, что отражает непрерывную микроструктурную перестройку ткани. Совпадение направленности этих изменений подтверждает наличие диффузионно-детектируемой структурной нейропластичности в ходе формирования навыка [17].

Выявленные изменения в структуре основных ассоциативных и комиссуральных трактов составляют основу для наблюдаемой функциональной реорганизации рабочих сетей головного мозга, ответственных за внимание, моторный контроль и сенсорную интеграцию (рис. 6).

Заключение

В целом система смещается от компенсаторно-гиперсвязной архитектуры к модульной и управляемой: нормализация рабочей сети покоя, более эффективное переключение режимов с сетью выявления значимости, менее выраженное влияние зрительной коры на моторный контур, вовлечение в обучение и моторный контроль орбитофронтальных механизмов.

Связать выявленные перестройки с реабилитационным костюмом возможно, рассматривая его как источник направленной соматосенсорной модуляции. Нормализация тонуса уменьшает избыточную афферентацию от гиперактивных мышц, снижая «перегрузку» подкорковых петель и излишнюю связность базальных ганглиев/мозжечка. Механическая стабилизация суставов уменьшает кинестетический «шум», облегчает работу салиентной сети и перераспределяет ресурсы в пользу исполнительных и сенсомоторных контуров, что ускоряет формирование более устойчивых и экономичных двигательных программ. Полученные данные позволяют интерпретировать действие реабилитационного костюма как форму направленной соматосенсорной модуляции. Это согласуется с результатами T.V. Jessey и соавторов (2023), показавшими, что нарушение соматосенсорной обработки ухудшает моторное исполнение при сохранности моторного воображения, что указывает на критическую роль периферической афферентации в формировании моторного выхода. В этом контексте нормализация афферентного потока может рассматриваться как механизм, поддерживающий более устойчивую реализацию двигательных программ [18].

На физиологическом уровне это выражается в улучшении сенсорной интеграции, снижении спастичности и усилении кортикального контроля над движением. На поведенческом — в большей точности, устойчивости и обучаемости моторики. Таким образом, картина соответствует нейропластическим процессам, запускаемым усиленной проприоцептивной стимуляцией и постуральной коррекцией. Как показано в работе J. Du и соавторов (2022), восстановление после повторной транскраниальной магнитной стимуляции сопровождается усилением функциональной связности моторной сети, что связано с клиническим улучшением двигательной функции. Это согласуется с выявленными нами признаками нейропластической реорганизации, отражающей усиление кортикального контроля и повышение эффективности моторного выполнения [19]. Аналогично, в исследовании S. Takeda и R. Miyamoto (2023) показано, что краткосрочное обучение моторному навыку сопровождается изменениями функциональной связности моторной сети в состоянии покоя, причём выраженность этих перестроек коррелирует с улучшением выполнения задачи, что отражает процессы нейропластической реорганизации [20].

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hastings S. A pilot study combining noninvasive spinal neuromodulation and activity-based neurorehabilitation therapy in children with cerebral palsy / S. Hastings, H. Zhong, R. Feinstein [et al.] // Nature Communications. — 2022. — Vol. 13. — № 1. — DOI: 10.1038/s41467-022-33208-w.



2. Hurd C.L. Engaging the Lower Extremity via Active Therapy Early (ELEVATE) Is Feasible and May Improve Gross Motor Function in Children with Spastic Bilateral Cerebral Palsy: A Case Series / C.L. Hurd, D. Livingstone, A. Smith [et al.] // *Physiotherapy Canada*. — 2023. — Vol. 75. — № 4. — P. 311–321. — DOI: 10.3138/ptc-2023-0005.
3. Kay R.M. Assessment and Treatment of Varus Foot Deformity in Children with Cerebral Palsy: A Review / R.M. Kay, S.A. Rethlefsen // *Journal of Clinical Medicine*. — 2026. — Vol. 15. — № 3. — DOI: 10.3390/jcm15031147.
4. Wu M. Improving trunk posture control in children with CP through a cable-driven robotic hippotherapy: A randomized controlled feasibility study / M. Wu, J. Kim, D. Gaebler-Spira // *Gait & Posture*. — 2024. — Vol. 113. — P. 209–214. — DOI: 10.1016/j.gaitpost.2024.06.020.
5. Clewes K. Clinical Gait Evaluation with Neuromuscular Impairments (Clinical GENI) for spastic cerebral palsy / K. Clewes, Y. Dong, M. Meyer [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2025. — Vol. 19. — DOI: 10.3389/fnhum.2025.1637164.
6. Sarmiento C.A. Rehabilitation needs and healthcare utilization of adults with cerebral palsy: A mixed methods study / C.A. Sarmiento, C. Glaros, J.M. Wyrwa [et al.] // *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*. — 2025. — Vol. 18. — № 4. — P. 268–281. — DOI: 10.1177/18758894251391901.
7. Loffi R.G. Narrative Review of the Theoretical-Methodological Foundations of the TREINI Program / R.G. Loffi, D.O. Souto, T.K.F. Cruz [et al.] // *Children*. — 2024. — Vol. 11. — № 10. — DOI: 10.3390/children11101181.
8. Motanova E. Application of Space Technologies Aimed at Proprioceptive Correction in Terrestrial Medicine in Russia / E. Motanova, M. Bekreneva, I. Rukavishnikov [et al.] // *Frontiers in Physiology*. — 2022. — Vol. 13. — DOI: 10.3389/fphys.2022.921862.
9. Damiano D.L. Functional and Structural Brain Connectivity in Children With Bilateral Cerebral Palsy Compared to Age-Related Controls and in Response to Intensive Rapid-Reciprocal Leg Training / D.L. Damiano, J.J. Pekar, S. Mori [et al.] // *Frontiers in Rehabilitation Sciences*. — 2022. — Vol. 3. — DOI: 10.3389/fresc.2022.811509.
10. Ulrich M. Role of the right anterior insula for the emergence of flow – A combined task-based fMRI activation and connectivity study / M. Ulrich, F. Niemann, G. Grön // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2022. — Vol. 16. — DOI: 10.3389/fnhum.2022.1067968.
11. Chong J.S.X. Higher handgrip strength is linked to higher salience ventral attention functional network segregation in older adults / J.S.X. Chong, K.Y. Chua, K.K. Ng [et al.] // *Communications Biology*. — 2024. — Vol. 7. — № 1. — 214 p. — DOI: 10.1038/s42003-024-05862-x.
12. Passaretti M. The Role of Cerebellum and Basal Ganglia Functional Connectivity in Altered Voluntary Movement Execution in Essential Tremor / M. Passaretti, C. Piervincenzi, V. Baione [et al.] // *The Cerebellum*. — 2024. — Vol. 23. — № 5. — P. 2060–2081. — DOI: 10.1007/s12311-024-01699-6.
13. De Ridder D. Pain and the Triple Network Model / D. De Ridder, S. Vanneste, M. Smith [et al.] // *Frontiers in Neurology*. — 2022. — Vol. 13. — DOI: 10.3389/fneur.2022.757241.
14. Sansare A. Individuals with cerebral palsy show altered responses to visual perturbations during walking / A. Sansare, M. Arcodia, S.C.K. Lee [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2022. — Vol. 16. — DOI: 10.3389/fnhum.2022.977032.
15. Sezer I. Resting-state fMRI functional connectivity and mindfulness in clinical and non-clinical contexts: A review and synthesis / I. Sezer, D.A. Pizzagalli, M.D. Sacchet // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. — 2022. — Vol. 135. — DOI: 10.1016/j.neubiorev.2022.104583.
16. Kumar N. Ventrolateral Prefrontal Cortex Contributes to Human Motor Learning / N. Kumar, A. Sidarta, C. Smith [et al.] // *eNeuro*. — 2022. — Vol. 9. — № 5. — DOI: 10.1523/ENEURO.0269-22.2022.
17. Friedman N. Continuous Diffusion-Detected Neuroplasticity during Motor Learning / N. Friedman, C. Malovani, I. Perets [et al.] // *The Journal of Neuroscience*. — 2025. — Vol. 45. — № 24. — DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1152-24.2025.
18. Jessey T.B. Disrupting somatosensory processing impairs motor execution but not motor imagery / T.B. Jessey, B. Lin, S.V. Subramaniam [et al.] // *Human Movement Science*. — 2023. — Vol. 90. — DOI: 10.1016/j.humov.2023.103101.
19. Du J. Motor Network Reorganization After Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Early Stroke Patients: A Resting State fMRI Study / J. Du, W. Yao, J. Li [et al.] // *Neurorehabilitation and Neural Repair*. — 2022. — Vol. 36. — № 1. — P. 61–68. — DOI: 10.1177/15459683211054184.
20. Takeda S. A randomized controlled trial of changes in resting-state functional connectivity associated with short-term motor learning of chopstick use with the non-dominant hand / S. Takeda, R. Miyamoto // *Behavioural Brain Research*. — 2023. — Vol. 452. — DOI: 10.1016/j.bbr.2023.114599.