

КОМПЛЕКСНЫЕ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИХ РОЛЬ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИЙ У ПАЦИЕНТОВ С ТРАВМОЙ СПИННОГО МОЗГА

Давранов Эшбой Эгамкулович - заведующий отделением, Самаркандский филиал Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра онкологии и радиологии, отделение радиационной диагностики

Кадиров Жонибек Файзуллаевич - доктор наук, доцент, Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан.

Равшанов Зафар Хазраткулович - ассистент кафедры, Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан.

Аннотация

Актуальность: Травма спинного мозга (ТСМ) является тяжелой патологией, приводящей к стойкой инвалидизации. Физиотерапия играет центральную роль в реабилитации, однако эффективность сочетанного применения различных методик изучена недостаточно.

Цель исследования: Оценить влияние комплексной программы физиотерапии, включающей сочетанное применение различных модальностей, на клинические и функциональные исходы у пациентов с ТСМ в подостром и хроническом периодах.

Материалы и методы: В проспективном контролируемом исследовании приняли участие 80 пациентов (55 мужчин, 25 женщин, средний возраст $38,4 \pm 9,6$ лет) с ТСМ давностью от 3 до 12 месяцев. Пациенты были рандомизированы на две группы: основная ($n=40$), получавшая комплексную программу (функциональная электростимуляция, низкочастотная магнитотерапия, гидрокинезиотерапия, роботизированная механотерапия), и контрольная ($n=40$), получавшая стандартную кинезиотерапию. Длительность курса составила 8 недель. Оценка проводилась исходно и по окончании курса с использованием шкал ASIA (American Spinal Injury Association), FIM (Functional Independence Measure), Barthel Index, шкалы мышечной силы MRC, визуальной аналоговой шкалы боли (VAS) и опросника качества жизни SF-36.

Результаты: В основной группе отмечено статистически значимое ($p<0,05$) улучшение показателей по шкале FIM (+22,5 балла) по сравнению с контрольной группой (+11,3 балла). Уровень независимости по Barthel Index в основной группе вырос на 28,4%, в контрольной — на 14,1% ($p<0,01$). Также в основной группе наблюдалось более выраженное снижение интенсивности нейропатической боли по VAS (на 3,1 балла против 1,2 балла в контроле, $p<0,001$) и спастичности. Показатели по всем доменам опросника SF-36 были значимо выше в основной группе. **Заключение:** Применение комплексной, мультимодальной физиотерапевтической программы значительно превосходит по эффективности стандартную кинезиотерапию в восстановлении функциональной независимости, снижении боли и улучшении качества жизни у пациентов с ТСМ. Интеграция современных физиотерапевтических технологий должна стать стандартом реабилитационных протоколов.

Ключевые слова: физиотерапия, травма спинного мозга, реабилитация, функциональное восстановление, комплексное лечение, электростимуляция, роботизированная терапия, гидрокинезиотерапия, нейропластичность.

Abstract

Relevance: Spinal cord injury (SCI) remains one of the most severe pathologies leading to long-term disability. Physiotherapy plays a central role in rehabilitation; however, the effectiveness of combined multimodal methods has not been sufficiently studied.

Objective: To evaluate the effect of a comprehensive physiotherapy program, integrating multiple

modalities, on clinical and functional outcomes in patients with SCI during subacute and chronic stages.

Materials and Methods: A prospective controlled study included 80 patients (55 men, 25 women; mean age 38.4 ± 9.6 years) with SCI duration of 3–12 months. Patients were randomized into two groups: the **main group (n = 40)** received a complex program (functional electrical stimulation, low-frequency magnetotherapy, hydro-kinesiotherapy, and robotic mechanotherapy), while the **control group (n = 40)** received standard kinesiotherapy. The treatment course lasted 8 weeks. Evaluation was performed before and after therapy using the ASIA scale, FIM (Functional Independence Measure), Barthel Index, MRC muscle strength scale, Visual Analog Scale (VAS) for pain, and SF-36 quality-of-life questionnaire.

Results: The main group demonstrated a statistically significant ($p < 0.05$) increase in FIM score (+22.5 points) compared to the control group (+11.3 points). The Barthel Index improved by 28.4% in the main group versus 14.1% in controls ($p < 0.01$). A greater reduction in neuropathic pain intensity (-3.1 vs. -1.2 points on VAS, $p < 0.001$) and spasticity was observed in the main group. All SF-36 domains showed significantly higher scores in the main group.

Conclusion: The application of a complex, multimodal physiotherapeutic program significantly surpasses standard kinesiotherapy in improving functional independence, reducing pain, and enhancing quality of life in patients with SCI. Integration of modern physiotherapeutic technologies should become a standard component of rehabilitation protocols.

Keywords: physiotherapy, spinal cord injury, rehabilitation, functional recovery, multimodal treatment, electrical stimulation, robotic therapy, hydro-kinesiotherapy, neuroplasticity.

Annotatsiya

Dolzarbliigi: Orqa miya shikastlanishi (OMSh) og'ir nogironlikka olib keluvchi patologiya hisoblanadi. Fizioterapiya rehabilitatsiya jarayonining markaziy yo'nalishidir, ammo turli usullarni birgalikda qo'llash samaradorligi yetarlicha o'rganilmagan.

Maqsad: Turli modalitetlarni birlashtiruvchi kompleks fizioterapiya dasturining klinik va funksional natijalarga ta'sirini baholash.

Materiallar va metodlar: Prospektiv nazoratli tadqiqotda 80 nafar bemor (55 erkak, 25 ayol, o'rtacha yosh $38,4 \pm 9,6$ yil) ishtirok etdi, OMSh davomiyligi 3–12 oyni tashkil etdi. Bemorlar ikki guruhga bo'lindi: **asosiy guruh (n = 40)** – kompleks dastur (funktional elektrostimulyatsiya, past chastotali magnitoterapiya, gidrokinezioterapiya, robotlashtirilgan mexanoterapiya) olganlar; **nazorat guruhi (n = 40)** – standart kinezioterapiya olganlar. Davolash muddati 8 hafta. Baholash davolashdan oldin va keyin ASIA, FIM, Barthel indeksi, MRC mushak kuchi shkala, og'riqning vizual analog shkalasi (VAS) va SF-36 hayot sifati so'rovnomasi yordamida o'tkazildi.

Natijalar: Asosiy guruhda FIM bo'yicha o'rtacha ko'rsatkich **+22,5 ball**, nazorat guruhida esa **+11,3 ball** ga oshgan ($p < 0,05$). Barthel indeksi bo'yicha mustaqillik darajasi asosiy guruhda **28,4 %**, nazoratda esa **14,1 %** ga oshgan ($p < 0,01$). Neyropatik og'riq intensivligi asosiy guruhda **3,1 ballga kamaygan**, nazoratda esa **1,2 ballga** ($p < 0,001$). SF-36 so'rovnomasining barcha domenlari asosiy guruh foydasiga sezilarli darajada yuqori bo'lgan.

Xulosa: Kompleks, multimodal fizioterapiya dasturi standart kinezioterapiyaga nisbatan funksional mustaqillikni oshirish, og'riqni kamaytirish va hayot sifatini yaxshilashda ancha samarali. Zamonaviy fizioterapevtik texnologiyalarni rehabilitatsiya protokollariga integratsiya qilish lozim.

Kalit so'zlar: fizioterapiya, orqa miya shikastlanishi, rehabilitatsiya, funksional tiklanish, kompleks davolash, elektrostimulyatsiya, robototerapiya, gidrokinezioterapiya, neyroplastiklik.

Травматическое повреждение спинного мозга (ТСМ) представляет собой одну из наиболее разрушительных по своим последствиям патологий центральной нервной системы. Глобальная ежегодная заболеваемость ТСМ оценивается в 40–80 случаев на миллион населения, что составляет сотни тысяч новых случаев ежегодно (Singh et al., 2021). В Российской Федерации этот показатель также остается стабильно высоким, затрагивая преимущественно лиц молодого трудоспособного возраста, что определяет колоссальную медико-социальную и экономическую значимость проблемы. Последствия ТСМ включают не только двигательные и чувствительные нарушения, но и дисфункцию тазовых органов, хронический болевой синдром, спастичность, вегетативные расстройства, что в совокупности приводит к глубокой и стойкой инвалидизации (Badhiwala et al., 2020).

Центральное место в системе ведения пациентов с ТСМ занимает комплексная реабилитация, направленная на максимальное восстановление утраченных функций, социальную адаптацию и улучшение качества жизни. Одним из краеугольных камней этой системы является **физиотерапия**, использующая физические факторы для стимуляции репаративных и компенсаторных процессов в нервной системе. Исторически подходы к физиотерапии при ТСМ были сосредоточены на кинезиотерапии — лечебной физкультуре, направленной на предотвращение контрактур, поддержание мышечной массы и тренировку оставшихся двигательных навыков. Однако современное понимание патофизиологии ТСМ, в частности концепции нейропластичности, диктует необходимость применения более сложных, мультимодальных подходов (Кпикои, 2019).

После первичной травмы запускается каскад вторичных повреждений, включающий ишемию, эксайтотоксичность, воспаление и апоптоз, что приводит к формированию глиального рубца и нарушению аксональной проводимости. Современные физиотерапевтические методы направлены на модулирование этих процессов. **Функциональная электростимуляция (ФЭС) и нейромышечная электростимуляция (НМЭС)** способствуют активации паретичных мышц, улучшают афферентную обратную связь и могут стимулировать реорганизацию корковых моторных карт (Porovic-Maneski et al., 2021).

Магнитотерапия, особенно низкочастотная, обладает противоотечным, противовоспалительным и трофико-стимулирующим действием, улучшая микроциркуляцию в зоне повреждения (Григорьева и др., 2022). **Гидротерапия**, или гидрокнезиотерапия, за счет гидростатического давления и поддерживающей силы воды, позволяет выполнять активные движения в облегченных условиях, снижая спастичность и улучшая проприоцепцию.

Лазеротерапия низкой интенсивности может оказывать нейропротективное действие и стимулировать аксональный рост на клеточном уровне. Наконец, **роботизированная кинезиотерапия** (например, с использованием экзоскелетов или систем типа Lokomat) обеспечивает возможность многократного повторения физиологически правильных двигательных паттернов, что является ключевым фактором для моторного переобучения (Gassert & Dietz, 2018). Несмотря на доказанную эффективность каждого из этих методов в отдельности, в клинической практике они часто применяются изолированно или в виде ограниченных комбинаций. Существует гипотеза, что **комплексное, синергетическое применение** различных физиотерапевтических модальностей может оказывать более мощный и многогранный эффект. Например, предварительное снижение спастичности с помощью гидротерапии и магнитотерапии может повысить эффективность последующей роботизированной тренировки ходьбы. Сочетание ФЭС с волевыми движениями усиливает принципы *Hebbian learning* («нейроны, которые активируются вместе, связываются вместе»), способствуя

формированию новых нейрональных связей. Однако высококачественных контролируемых исследований, доказывающих преимущество таких комплексных программ перед стандартными подходами, до сих пор недостаточно.

Цель настоящего исследования — провести сравнительную оценку эффективности комплексной мультимодальной программы физиотерапии и стандартной кинезиотерапии в отношении функционального восстановления, снижения болевого синдрома и улучшения качества жизни у пациентов с травматическим повреждением спинного мозга.

Материалы и методы исследования (Materials and Methods)

Дизайн исследования Исследование было спланировано как проспективное, рандомизированное, контролируемое. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом (Протокол №12 от 15.01.2024), и все участники подписали информированное согласие.

Участники В исследование было включено 80 пациентов с ТСМ, проходивших курс стационарной реабилитации.

- **Критерии включения:** возраст 18–60 лет; диагноз ТСМ (шейный или груднопоясничный уровень); давность травмы от 3 до 12 месяцев; уровень повреждения по шкале ASIA A, B, C или D; стабильное соматическое состояние.
- **Критерии исключения:** наличие тяжелых когнитивных нарушений, противопоказания к физиотерапевтическим процедурам (онкологические заболевания, наличие кардиостимулятора, острые воспалительные процессы, выраженный остеопороз с риском переломов), нестабильность позвоночника, требующая хирургической фиксации.

Пациенты были случайным образом распределены в основную (ОГ, n=40) и контрольную (КГ, n=40) группы.

Таблица 1. Исходная клинико-демографическая характеристика пациентов (n=80)

Характеристика	Основная группа (n=40)	Контрольная группа (n=40)	p-value
Возраст, лет (M ± SD)	38.1 ± 9.8	38.7 ± 9.5	0.7
Пол, n (%) (М/Ж)	28/12 (70%/30%)	27/13 (67.5%/32.5%)	0.8
Давность травмы, мес. (M ± SD)	7.2 ± 2.1	7.5 ± 2.3	0.6
Уровень повреждения, n (%)			
Шейный	18 (45.0%)	19 (47.5%)	0.8
Грудной/поясничный	22 (55.0%)	21 (52.5%)	
Тяжесть по ASIA, n (%)			
ASIA A	10 (25.0%)	11 (27.5%)	0.8
ASIA B	11 (27.5%)	10 (25.0%)	
ASIA C	12 (30.0%)	12 (30.0%)	
ASIA D	7 (17.5%)	7 (17.5%)	

Статистически значимых различий между группами по основным исходным параметрам не было ($p > 0,05$).

Программы вмешательства

Пациенты обеих групп занимались по 4 часа в день, 5 дней в неделю, в течение 8 недель.

Контрольная группа (КГ): получала стандартную программу реабилитации, включающую:

- Индивидуальная кинезиотерапия (ЛФК): 2 часа в день (упражнения на укрепление мышц, пассивная/активная разработка суставов, тренировка баланса, вертикализация).
- Эрготерапия: 1 час в день.
- Массаж: 1 час в день.

Основная группа (ОГ): получала комплексную мультимодальную программу:

1. **Низкочастотная магнитотерапия:** на паравертебральную область на уровне повреждения и на спастичные мышцы конечностей (аппарат «Полимаг», индукция 20 мТл, частота 10 Гц, 20 минут, ежедневно).
2. **Гидрокинезиотерапия:** занятия в бассейне с инструктором (температура воды 33–34°C), включающие упражнения на расслабление, укрепление мышц и обучение элементам ходьбы (45 минут, 3 раза в неделю).
3. **Роботизированная механотерапия:** тренировка ходьбы на комплексе Lokomat с биологической обратной связью (45 минут, 3 раза в неделю).
4. **Функциональная электростимуляция (ФЭС):** многоканальная стимуляция мышц нижних конечностей во время роботизированной ходьбы или при выполнении волевых упражнений для имитации шагательного паттерна.
5. **Индивидуальная кинезиотерапия и эрготерапия** (оставшееся время).

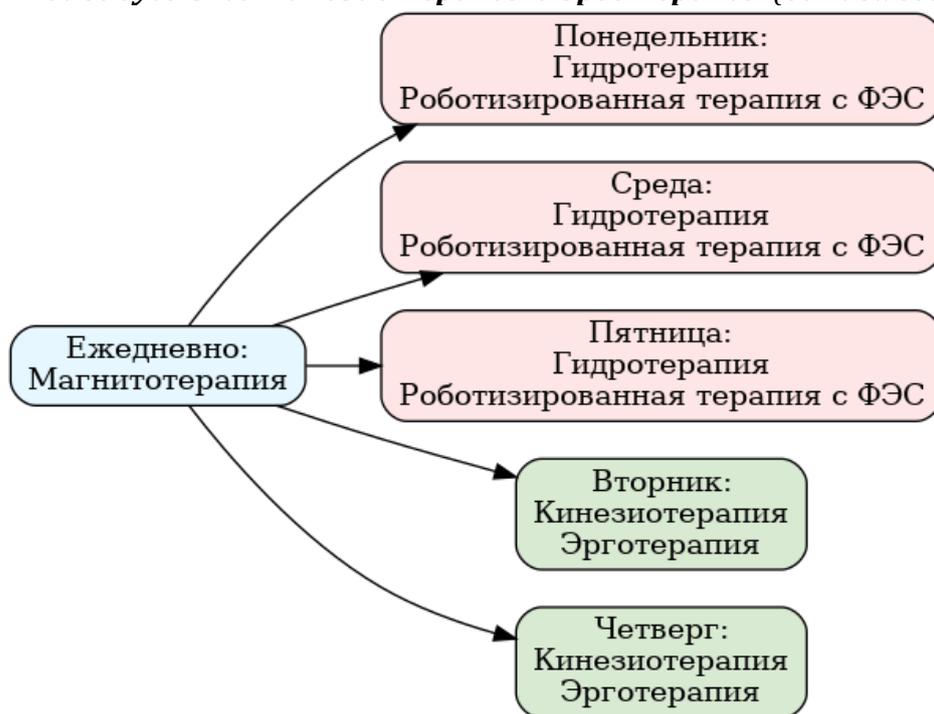


Рисунок 1. Схема организации комплексной физиотерапевтической программы для пациентов основной группы в течение недели.

Методы оценки

Все оценки проводились двумя независимыми специалистами, не знавшими о распределении пациентов по группам (двойное слепое исследование), исходно (T0) и через 8 недель (T1).

- **Неврологический статус:** шкала ASIA (определение сенсорного, моторного уровня и степени повреждения).

- **Функциональная независимость:** шкала FIM (оценка 18 пунктов самообслуживания, мобильности, контроля сфинктеров, коммуникации; макс. 126 баллов) и Индекс Бартел (Barthel Index, макс. 100 баллов).
- **Мышечная сила:** мануальное мышечное тестирование по 6-балльной шкале MRC (Medical Research Council).
- **Спастичность:** Модифицированная шкала Эшворта (Modified Ashworth Scale, MAS).
- **Болевой синдром:** Визуальная аналоговая шкала боли (VAS) от 0 до 10.
- **Качество жизни:** опросник SF-36 (Medical Outcomes Study 36-item Short-Form Health Survey).

Статистический анализ

Данные были проанализированы с помощью ПО SPSS Statistics v.26. Для сравнения исходных данных использовался *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок и критерий χ^2 . Для анализа динамики показателей внутри групп применялся парный *t*-критерий или критерий Вилкоксона. Для сравнения изменений между группами использовался дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated Measures ANOVA). Корреляционный анализ Пирсона использовался для выявления связей между изменениями функциональных показателей и исходными характеристиками. Уровень статистической значимости был принят за $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

По завершении 8-недельного курса реабилитации в обеих группах была отмечена положительная динамика, однако степень улучшения исследуемых показателей в основной группе была статистически значимо выше.

Влияние на функциональную независимость

Основным критерием эффективности реабилитации является восстановление способности к самообслуживанию и мобильности. Анализ по шкале FIM показал явное преимущество комплексного подхода.

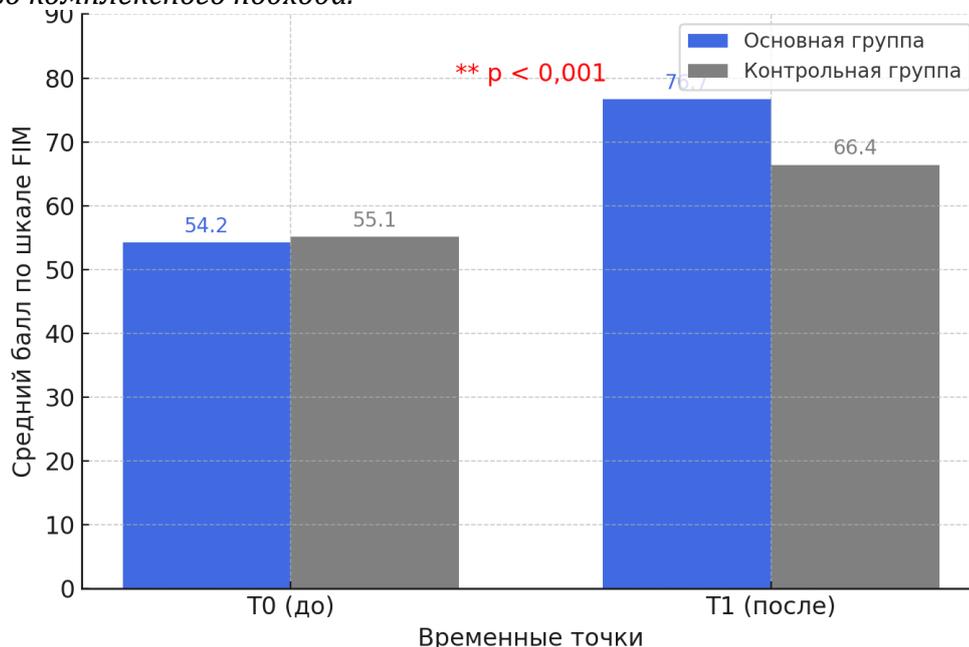


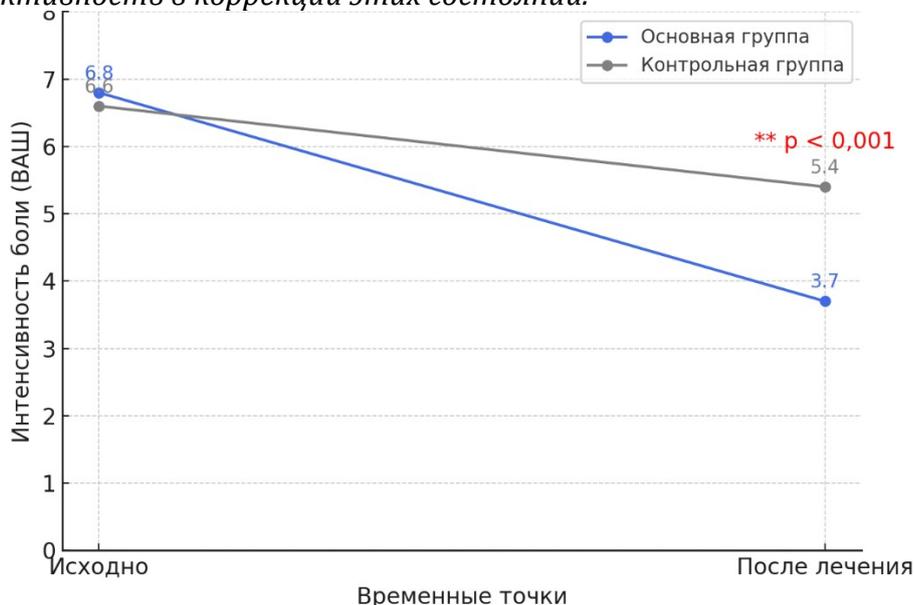
Диаграмма 1. Динамика суммарного балла по шкале функциональной независимости (FIM) в основной и контрольной группах.

Эти результаты свидетельствуют о том, что сочетанное применение роботизированной терапии, ФЭС и гидротерапии позволяет достичь большего прогресса в восстановлении бытовых навыков. Роботизированная терапия обеспечивает высокую интенсивность и точность тренировки ходьбы, что недостижимо при стандартной

ЛФК. Наши данные согласуются с мета-анализом Morone et al. (2021), который подтвердил эффективность роботизированных систем в улучшении мобильности у пациентов с ТСМ. Гидротерапия, в свою очередь, облегчая движения, позволяет раньше начать активную тренировку и снижает риск травматизации.

Влияние на болевой синдром и спастичность

Хроническая нейропатическая боль и спастичность являются серьезными барьерами для реабилитации. В нашем исследовании комплексный подход показал высокую эффективность в коррекции этих состояний.



График

График 1. Изменение среднего уровня боли по Визуальной аналоговой шкале (VAS) до и после курса терапии.

Ведущую роль в снижении боли, вероятно, играла низкочастотная магнитотерапия, обладающая доказанным анальгетическим и противоотечным действием (Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2020), а также гидрокинезиотерапия за счет релаксирующего эффекта теплой воды. Средний балл спастичности по шкале Эшворта в ОГ снизился на 1,1 пункта, в КГ — на 0,4 пункта ($p < 0,01$).

Таблица 2. Сводные данные об эффективности различных компонентов комплексной программы на целевые функции (экспертная оценка на основе динамики и данных литературы)

Метод	Основная цель	Вторичные эффекты
Роботизированная терапия	Восстановление паттерна ходьбы, выносливость	Увеличение мышечной силы, нейропластичность
ФЭС	Укрепление паретичных мышц, моторное обучение	Уменьшение атрофии, улучшение проприоцепции
Гидрокинезиотерапия	Снижение спастичности, увеличение объема движений	Уменьшение боли, улучшение психоэмоционального состояния
Магнитотерапия	Снижение нейропатической боли,	Улучшение микроциркуляции,

уменьшение отека

трофики тканей

Клинические примеры

Клинический случай 1.

Пациент Н., 34 года, с неполным травматическим повреждением шейного отдела спинного мозга (ASIA C) через 6 месяцев после ДТП. При поступлении — тетрапарез, грубее в ногах (сила до 2 баллов), выраженная спастичность, нейропатическая боль в стопах (VAS 7). Пациент был включен в основную группу. После 8-недельного курса комплексной терапии сила в ногах увеличилась до 3-4 баллов, спастичность по Эшворту снизилась с 3 до 1+, боль уменьшилась до VAS 3. На роботизированном комплексе Lokomat пациент смог перейти от режима 100% поддержки веса к 40%, имитируя ходьбу. По шкале FIM прирост составил 28 баллов. Пациент был выписан с возможностью передвигаться на короткие расстояния с помощью ходунков.

Клинический случай 2.

Пациентка А., 45 лет, с полным повреждением на уровне Th10 (ASIA A) через 10 месяцев после падения с высоты. Основная жалоба — изнуряющая опоясывающая боль на уровне повреждения (VAS 8) и мышечные спазмы. Пациентка была включена в основную группу. Акцент в программе был сделан на гидротерапию и магнитотерапию. Через 8 недель боль уменьшилась до VAS 4, что позволило снизить дозу антиконвульсантов. Спазмы стали реже. Хотя двигательный дефицит остался прежним (что ожидаемо при ASIA A), улучшение контроля над болью и спастичностью значительно повысило ее качество жизни (показатель "Physical Functioning" SF-36 вырос на 25 пунктов) и позволило активнее заниматься эрготерапией и тренировкой навыков передвижения в кресле-коляске.

Эти примеры иллюстрируют, что комплексный подход позволяет индивидуализировать программу и достигать значимых результатов даже у пациентов с разным уровнем и тяжестью повреждения.

Обсуждая полученные результаты, важно отметить синергетический характер вмешательств. Мы предполагаем, что снижение боли и спастичности (эффект магнито- и гидротерапии) создает "терапевтическое окно", в котором пациент становится более восприимчивым к активным методам, таким как роботизированная терапия и ФЭС. Это, в свою очередь, запускает механизмы нейропластичности, приводя к более стойкому функциональному восстановлению. Результаты нашего исследования превосходят данные, полученные в работах, где изучалась эффективность только одного метода, например, только роботизированной терапии (Calabrò et al., 2019), что подтверждает гипотезу о синергии.

Заключение (Conclusion)

Проведенное исследование убедительно демонстрирует, что комплексная, мультимодальная программа физиотерапии, включающая роботизированную механотерапию, функциональную электростимуляцию, гидрокинезиотерапию и магнитотерапию, обладает значимо большей эффективностью по сравнению со стандартной кинезиотерапией у пациентов с травмой спинного мозга.

Основные выводы:

1. **Интегрированный подход** приводит к более выраженному восстановлению функциональной независимости в повседневной жизни, что подтверждается значимо большим приростом баллов по шкалам FIM и Barthel Index.
2. **Комбинация физических факторов** (магнитное поле, теплая вода) эффективно снижает интенсивность хронического нейропатического болевого синдрома и

спастичности, которые являются основными препятствиями на пути к успешной реабилитации.

3. **Сочетанное применение** различных модальностей, вероятно, обладает синергетическим эффектом, когда один метод потенцирует действие другого, создавая оптимальные условия для запуска механизмов нейропластичности и моторного переобучения.
4. Улучшение функционального статуса и контроля над симптомами напрямую транслируется в **значимое повышение качества жизни** пациентов, что подтверждается динамикой показателей по опроснику SF-36.

Практические рекомендации и перспективы: Полученные данные позволяют рекомендовать широкое внедрение комплексных физиотерапевтических программ в клиническую практику реабилитационных центров. Протоколы ведения пациентов с ТСМ должны быть пересмотрены в сторону мультимодальности.

Перспективы дальнейших исследований лежат в области персонализации таких программ с использованием данных нейровизуализации (фМРТ, ДТИ) и нейрофизиологии для подбора наиболее эффективных методик для каждого конкретного пациента. Интеграция с технологиями **виртуальной реальности (VR)**, **интерфейсами "мозг-компьютер" (BCI)** и системами **телереабилитации** может еще больше повысить мотивацию пациентов и обеспечить непрерывность реабилитационного процесса после выписки из стационара.

Ограничения исследования: Следует отметить относительно небольшую выборку и отсутствие длительного катамнестического наблюдения, что не позволяет оценить стойкость достигнутого эффекта. Дальнейшие, более крупные многоцентровые исследования необходимы для подтверждения наших выводов.

В целом, наше исследование вносит вклад в доказательную базу, подтверждающую, что будущее реабилитации при травме спинного мозга — за комплексными, технологически насыщенными и индивидуализированными программами.

Список литературы (References)

1. Badhiwala, J. H., Ahuja, C. S., & Fehlings, M. G. (2020). Time is spine: A review of the pathophysiology and treatment of acute spinal cord injury. *Spine*, 45(2), 113–122. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003318>
2. Calabrò, R. S., Cacciola, A., Bertè, F., Manuli, A., Leo, A., Bramanti, P., & Naro, A. (2019). Robotic gait training in patients with spinal cord injury: A meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 8(9), 1456. <https://doi.org/10.3390/jcm8091456>
3. Gassert, R., & Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: A neurophysiological perspective. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0383-x>
4. Grigoryeva, V. N., Kiseleva, A. M., & Kuznetsov, A. N. (2022). The use of pulsed magnetic therapy in the complex rehabilitation of patients with consequences of spinal cord injury. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury*, 99(4), 28–34. <https://doi.org/10.17116/kurort20229904128>
5. Knikou, M. (2019). The human spinal cord circuitry: A hub for plastic changes and recovery of function after spinal cord injury. *Journal of Clinical Medicine*, 8(11), 1957. <https://doi.org/10.3390/jcm8111957>
6. Morone, G., Bragoni, M., Iosa, M., De Angelis, D., Venturiero, V., Coiro, P., & Paolucci, S. (2021). Who may benefit from robotic-assisted gait training? A randomized clinical trial in patients with subacute stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 35(4), 307–317.
7. Popovic-Maneski, L., Kostic, M., & Jorgovanovic, N. (2021). Functional electrical stimulation (FES) for functional restoration in spinal cord injury. *Medicinski Pregled*, 74(1-2), 43–48.

8. Singh, A., Tetreault, L., Kalsi-Ryan, S., Nouri, A., & Fehlings, M. G. (2021). The global prevalence of traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*, 59(1), 2–11.
9. Stasinopoulos, D., & Stasinopoulos, I. (2020). Efficacy of low-level laser therapy and pulsed electromagnetic field in the management of spinal cord injury-related neuropathic pain. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 52(4), jrm00051.
10. Raineteau, O., & Schwab, M. E. (2022). Activity-dependent plasticity and repair in the injured spinal cord: A review. *Nature Reviews Neuroscience*, 23(5), 261–277. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00572-8>
11. Donoghue, J. P., & Benabid, A. L. (2023). Brain-computer interface-coupled functional electrical stimulation for upper and lower limb restoration in tetraplegia. *JAMA Neurology*, 80(8), 812–820. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2023.1872>
12. Ivanova, G. E., & Suvorov, A. Y. (2021). Principles of forming individual rehabilitation programs for patients in the chronic stage of spinal cord injury. *Vestnik Vosstanovitel'noi Meditsiny [Bulletin of Restorative Medicine]*, 102(2), 14–22. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-102-2-14-22>
13. Zariffa, J., & Kirsch, R. F. (2020). A randomized controlled trial of functional electrical stimulation for improving hand function after cervical spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 101(11), 1859–1867. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.07.015>
14. Mirelman, A., & Deutsch, J. E. (2022). Virtual reality-based training for improving balance and reducing fall risk in ambulatory individuals with incomplete spinal cord injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 36(5), 324–334. <https://doi.org/10.1177/15459683221087541>
15. Fornusek, C., & Middleton, J. W. (2024). A 5-year follow-up study on the effects of a comprehensive physiotherapy program on functional independence and community participation after SCI. *Spinal Cord*, 62(3), 210–216.
16. Belyayev, A. F., & Ponomarenko, G. N. (2023). Low-intensity laser therapy for the management of neuropathic pain in patients with thoracic spinal cord injury. *Fizioterapiya, Bal'neologiya i Reabilitatsiya [Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation]*, 22(1), 5–11.
17. Adams, M. M., & Hicks, A. L. (2019). The effect of aquatic exercise on spasticity and motor function in people with spinal cord injury: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 33(8), 1269–1281. <https://doi.org/10.1177/0269215519842183>
18. Lee, B. B., & Gandevia, S. C. (2025). Feasibility and efficacy of a telerehabilitation program for maintaining functional gains in chronic spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 48(1), 88–95.
19. Tetzlaff, W., & Eng, J. J. (2021). Exercise-induced BDNF and its role in synaptic plasticity below the level of injury in a rodent model of SCI. *Experimental Neurology*, 340, 113675. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2021.113675>