



## Реабилитация нарушений ходьбы и баланса при рассеянном склерозе с помощью прогрессивной тренировки мощности с сопротивлением: рандомизированное контролируемое исследование

Макшаков Г.С.<sup>1,\*</sup>, Мазур А.П.<sup>2</sup>, Садовских М.О.<sup>2</sup>, Воинова К.В.<sup>1</sup>,  
 Черненко А.Ю.<sup>1</sup>, Калинин И.В.<sup>1</sup>, Евдошенко Е.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ Городская клиническая больница № 31, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

### РЕЗЮМЕ

**ВВЕДЕНИЕ.** Прогрессивные тренировки с сопротивлением (ПТС) считаются эффективным инструментом в реабилитации пациентов с рассеянным склерозом (РС), однако их эффективность в сравнении с другими методиками физической реабилитации еще предстоит выяснить.

**ЦЕЛЬ.** Целью данного исследования была оценка эффективности и безопасности ПТС для улучшения походки и баланса у пациентов с РС по сравнению со стандартной программой реабилитации.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** 60 пациентов с РС были равномерно распределены в контрольную группу (КГ) и группу ПТС (ПГ). Тренировку в обеих группах проводили 5 раз в неделю в течение 4 недель. Первичной конечной точкой был процент пациентов с улучшением показателей теста 6-минутной ходьбы выше минимальных клинически значимых изменений в обеих группах. Тесты скорости (тест ходьбы на 25 футов (T25FW) и баланса ходьбы (тест «Встань и иди»), скорость ходьбы, оценка силы произвольного изометрического сокращения на доминантной и недоминантной ноге, а также тесты качества жизни (когнитивные и физические домены) на 4-й неделе использовались в качестве вторичных конечных точек.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** В ПГ 17/27 (63 %) пациентов достигли первичной конечной точки по сравнению с 11/23 (48 %) в КГ, что не составило статистически значимой разницы ( $p = 0,89$ ). Пациенты в ПГ, но не в КГ показали значительное улучшение в тесте на T25FW и тесте «Встань и иди». Мышечная сила улучшилась в обеих группах, однако пациенты из ПГ показали в основном улучшение силы сгибателей бедра недоминантной ноги, а также в сгибателях коленного сустава и разгибателях стоп, в то время как пациенты из КГ показали улучшение сгибателей бедра на обеих ногах. Показатели качества жизни значимо улучшились в обеих группах. На 4-й неделе статистически значимых различий между группами по всем исследуемым конечным точкам не наблюдалось.

**ОБСУЖДЕНИЕ.** В обеих группах значимые увеличения дистанции и скорости ходьбы не позволили достичь первичной конечной точки. Было показано, что ПТС обеспечивает статистически значимое улучшение скорости ходьбы на короткие расстояния, что могло произойти из-за положительного влияния на скорость развития силы мышечного сокращения, увеличивая скорость ходьбы и улучшая баланс при ходьбе. Увеличение мышечной силы происходило в тренируемых мышечных группах и имело различия между группами исследования. Данный результат мог быть получен как из-за непосредственной тренировки определенных мышечных групп, так и вследствие феномена контралатерального переноса.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Прогрессивные тренировки с сопротивлением могут иметь некоторые преимущества по сравнению со стандартной программой, что требует дальнейшего изучения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** рассеянный склероз, реабилитация, физические упражнения, тренировка с сопротивлением, силовая тренировка.

**Для цитирования / For citation:** Макшаков Г.С., Мазур А.П., Садовских М.О., Воинова К.В., Черненко А.Ю., Калинин И.В., Евдошенко Е.П. Реабилитация нарушений ходьбы и баланса при рассеянном склерозе с помощью прогрессивной тренировки мощности с сопротивлением: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(3): 17-28. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-17-28> [Makshakov G.S., Mazur A.P., Sadovskikh M.O., Voinova K.V., Chernenko A.Yu., Kalinin I.V., Evdoshenko E.P. Rehabilitation of Gait and Balance Disorders in Multiple Sclerosis using Progressive Resistance Power Training: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(3): 17-28. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-17-28> (In Russ.).]

\*Для корреспонденции: Макшаков Глеб Сергеевич, E-mail: [g.makshakov@centremms.com](mailto:g.makshakov@centremms.com)

Статья получена: 17.05.2023

Поступила после рецензирования: 05.06.2023

Статья принята к печати: 20.06.2023

# Rehabilitation of Gait and Balance Disorders in Multiple Sclerosis using Progressive Resistance Power Training: a Randomized Controlled Study

**Gleb S. Makshakov<sup>1,\*</sup>, Anna P. Mazur<sup>2</sup>, Mikhail O. Sadovskikh<sup>2</sup>, Ksenia V. Voinova<sup>1</sup>, Anastasia Yu. Chernenko<sup>1</sup>, Ivan V. Kalinin<sup>1</sup>, Evgeniy P. Evdoshenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> City Center of Multiple Sclerosis, St. Petersburg City Clinical Hospital No. 31, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> The First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**INTRODUCTION.** Progressive resistance training (PRT) has been recognized as an effective tool in the rehabilitation of patients with multiple sclerosis (MS), however its comparative efficacy remains has yet to be determined.

**AIM.** In this study, we aimed to evaluate the efficacy and safety of the self-guided in-patient progressive resistance power training (PRT) program for improving gait and balance in patients with MS compared with the standard rehabilitation program.

**MATERIALS AND METHODS.** 60 patients with MS were equally randomized into control group (CG) and the PRT group (PG). Training was performed 5 times/week, for 4 weeks in both groups. The primary endpoint was the percentage of patients with improvement in the 6-minute walking test above a minimal clinically significant difference in both groups. Tests of walking speed and balance (Timed 25-foot walking test (T25FW), Timed up-and-go (TUG) test, walking speed), mean voluntary muscle contraction on dominant and non-dominant legs as well as quality of life tests (cognitive and physical domains) at week 4 were used as secondary endpoints.

**RESULTS.** In PG, 17/27 (63 %) patients reached the primary endpoint compared to 11/23 (48 %) in CG, which did not make a statistically significant difference ( $p = 0.89$ ). Patients showed significant improvement in the T25FW test and TUG test in PG, but not in CG one. Muscle strength improved in both groups, however patients in PG showed mostly improvement in non-dominant leg and more on knee flexors and feet extensors, while patients in the CG showed improvement in hip flexors on both legs. Quality of life parameters improved in both groups. There were no statistically significant differences between the groups at all the endpoints studied at week 4.

**DISCUSSION.** In both groups, significant increases in distance and walking speed prevented reaching the primary endpoint. PRT has been shown to provide a statistically significant improvement in short-distance walking speed, which may have been due to a positive effect on the rate of force development, increasing walking speed and improving walking balance. The increase in muscle strength occurred in trained muscle groups and had differences between the study groups. This result could be obtained both due to the direct training of certain muscle groups, and due to the phenomenon of contralateral transfer.

**CONCLUSION.** Progressive resistance training may have some beneficial differences compared to non-progressive training that need to be elucidated further.

**KEYWORDS:** multiple sclerosis, rehabilitation, physical exercise, resistance training.

**For citation:** Makshakov G.S., Mazur A.P., Sadovskikh M.O., Voinova K.V., Chernenko A.Yu., Kalinin I.V., Evdoshenko E.P. Rehabilitation of Gait and Balance Disorders in Multiple Sclerosis using Progressive Resistance Power Training: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(3): 17-28. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-17-28> (In Russ.).

\***For correspondence:** Gleb S. Makshakov, E-mail: [g.makshakov@centrems.com](mailto:g.makshakov@centrems.com)

**Received:** 17.05.2023

**Revised:** 05.06.2023

**Accepted:** 20.06.2023

## ВВЕДЕНИЕ

Реабилитация является основной стратегией у пациентов с рассеянным склерозом (РС), направленной на улучшение функционирования, активности и участия. Упражнения улучшают как мышечную силу (в домене функций), так и ходьбу (в домене активности) [1–6]. Одним из перспективных подходов является реабилитация по методике прогрессивной тренировки с сопротивлением (ПТС) [7]. Исследования показывают убедительные доказательства того, что тренировка с сопротивлением эффективно увеличивает мышечную силу и мощность мышечного сокращения в нижних конечностях, скорость ходьбы и расстояние у пациентов с РС [8–10]. В большин-

стве исследований изучалась эффективность тренировок в амбулаторном режиме несколько раз в неделю в течение 10–24 недель [2].

Тренировка мощности проводится для улучшения способности быстро генерировать мышечное сокращение достаточной мощности, которая необходима для движений и поддержания баланса у здоровых людей [11, 12]. На скорость развития мышечного сокращения в основном влияют физиологические параметры работы мышц и иннервация, поэтому этот тип тренировки может быть использован при РС. Однако крайне небольшое количество исследований оценивает эффективность тренировки мощности в этой группе [13, 14]. Некоторые

исследования с применением тренировок с сопротивлением и быстрым мышечным сокращением у пациентов с РС хотя и не называют это вмешательство именно тренировкой мощности, сообщают об улучшении скорости ходьбы и мышечной силы [15, 16].

Ранее мы разработали и изучили оригинальный протокол тренировки мощности для стационарной реабилитации с использованием прогрессивно увеличивающихся весов [17]. Наше пилотное 4-недельное исследование продемонстрировало значительное улучшение дистанции ходьбы в 6-минутном тесте ходьбы (6MWT) у 80 % пациентов с РС [17].

## ЦЕЛЬ

Оценить эффективность и безопасность стационарной ПТС для улучшения ходьбы и баланса у пациентов с РС по сравнению с функциональной программой силовых тренировок без сопротивления (определяемой как стандартная программа реабилитации). Гипотеза исследования состояла в том, что тренировки по методике ПТС приведут к увеличению проходимого расстояния в тесте 6-минутной ходьбы, а также в скорости ходьбы и показателях баланса, при этом улучшения будут более выраженные, чем в группе тренировок по стандартной программе. При этом будут достигнуты изменения в тренируемых мышцах, которые будут ассоциированы с улучшениями ходьбы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Это было рандомизированное контролируемое исследование с заслепленными оценщиками. Исследование проводилось в соответствии с Декларацией Хельсинки и было одобрено Локальным независимым этическим комитетом Городской клинической больницы № 31 (протокол № 5 от 06.05.2021). Все пациенты были проинформированы о целях и методологии исследования и предоставили информированное согласие на участие в исследовании. Испытуемые приглашались к участию во время курса стационарной реабилитации в отделении медицинской реабилитации СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31» с сентября 2021 г. до сентября 2022 г. Скрининг проходил в день поступления в отделение медицинской реабилитации.

### Критерии включения

1. Пациенты подписали добровольное информированное согласие.
2. Мужчины и женщины с РС, достоверным по критериям McDonald 2017 с любым типом течения заболевания.
3. Оценка по Расширенной шкале статуса инвалидности (EDSS)  $\leq 6,0$  балла, при этом значение «пирамидной функциональной системы» должно было быть  $\geq 2$ .
4. Возраст от 18 до 65 лет включительно.

### Критерии невключения

1. Невозможность дать информированное согласие.
2. Пациенты с обострением РС в течение последних 3 месяцев до включения в исследование.
3. Неспособность пациентов придерживаться рекомендованной программы реабилитации и графика посещения.
4. Сильная спастичность мышц ног (по шкале Эшворта  $\geq 3$  баллов).

Расчеты размера выборки были основаны на нашем пилотном исследовании, где 80 % пациентов, использующих принцип ПТС, показали улучшение выше минимальных клинически значимых изменений (МКЗИ) [17]. Предполагая улучшение в контрольной группе примерно на 60 % и процент преждевременного выбывания в 10 %, мы рассчитали, что размер выборки в 30 пациентов в каждой группе имеет достаточно мощности для демонстрации значимой разницы.

Рандомизация проводилась с использованием модуля рандомизации (версия 1.0.0) для Python. Распределение было скрыто по принципу конверта. После рандомизации пациенты проходили реабилитацию в соответствии со стандартной программой (контрольная группа, (КГ)) или программой ПТС (ПТС группа (ПГ)) в течение 4 недель. Процедура ослепления была использована только для оценщиков исследования. Лечащие врачи и физические терапевты не были ослеплены. Специального заслепления пациентов не производилось, однако при работе с ними отдельно не обсуждалось распределение на группы, кроме процедуры подписания согласия.

### Описание медицинского вмешательства

Для тренировки ПТС пациенты получили список упражнений с указанием последовательности и частоты выполнения упражнений и шкалу Борга с указанием наиболее подходящей интенсивности тренировки.

ПТС проводились ежедневно 5 дней в неделю. Первоначальная консультация по методике тренировки проводилась физическим терапевтом в течение 1 часа в день рандомизации. Пациент использовал индивидуальный набор весов, которые были прикреплены к ноге (см. рис. 1 для дополнительной информации). Начиная с минимального веса в 200 г, нагрузка постепенно увеличивалась, но режим тренировки подбирался терапевтом индивидуально, исходя из диагностированной слабости конкретных групп мышц. Правильность выполнения проверялась не реже одного раза в неделю.

Каждый подход упражнений состоял из 6 повторений на каждой группе мышц с 2-минутным отдыхом между упражнениями и 3–5-минутным отдыхом между подходами. Пациентам было дано указание выполнять упражнения на максимальной скорости для тренировки мощности. При полном соблюдении всего тренировочного плана пациент оценивал интенсивность нагрузки по шкале Борга. Если интенсивность тренировок в течение 2 последовательных тренировок достигала 8–10 баллов, пациент увеличивал нагрузку, добавляя веса по 200 г до момента, когда интенсивность тренировки увеличивалась до 11–13 баллов по шкале Борга. При такой нагрузке пациент продолжал работать до достижения 8–10 баллов.

Пациентам в контрольной группе также давали список персональных тренировочных рекомендаций, которые были сосредоточены на их целях реабилитации и работе ослабленных групп мышц. Однако в их случае не использовались тренировки с прогрессивным увеличением веса, а также не давалось указание тренировать мощность сокращения.

Обе группы дополнительно ежедневно получали одинаковое количество физической реабилитации: 30 минут лечебной гимнастики в группе и 30 минут механотерапии



**Рис. 1.** Упражнения для прогрессивной тренировки с сопротивлением  
**Fig. 1.** The list of progressive resistance exercises

**Примечание:** 1. Сгибание бедра и колена: 1A — исходное положение; 1B — окончание движения. 2. Сгибание колена (пятка к ягодицам): 2A — исходное положение; 2B — окончание движения. 3. Мах прямой ногой вперед: 3A — исходное положение; 3B — окончание движения. 4. Мах прямой ногой в сторону: 4A — исходное положение; 4B — окончание движения. 5. Подъем носков вверх из положения сидя на стуле: 5A — исходное положение; 5B — окончание движения. 6. Подъем на носки из положения сидя на стуле: 6A — исходное положение; 6B — окончание движения. Стрелки указывают направление движения.

**Note:** 1. Bending the hip and knee: 1A — initial position; 1B — end of movement. 2. Bending the knee (heel to buttocks): 2A — initial position; 2B — end of movement. 3. Leg swing straight forward: 3A — initial position; 3B — end of movement. 4. Leg side swing: 4A — initial position; 4B — end of movement. 5. Lifting socks up: 5A — initial position; 5B — end of movement. 6. Raising on socks: 6A — initial position; 6B — end of movement. Arrows indicate the direction of movement.

(циклический велоэргометр, беговая дорожка, баланс-платформа). Общее количество времени, затраченного на тренировки, было одинаковым между группами: примерно 100 минут ежедневно 5 дней в неделю.

Пациенты в обеих группах также проходили другие виды вмешательств, такие как эрготерапия, логопедиче-

ские и нейропсихологические вмешательства в зависимости от поставленных целей реабилитации.

**Конечные точки исследования**

Первичная конечная точка: время в тесте 6-минутной ходьбы (6MWT) в конце периода реабилитации (на не-

деле 4) по сравнению с исходной оценкой на 1-й неделе. Сравнивали процент пациентов, достигших улучшения выше МКЗИ в 21,6 м в каждой группе [18].

Вторичные конечные точки на 4-й неделе были следующими: 1) время теста ходьбы на 25 футов (T25FW); 2) пройденное расстояние в тесте 6MWT; 3) время выполнения теста «Встань и иди»; 4) скорость ходьбы (согласно 6MWT); 5) балл по расширенной шкале статуса инвалидности (EDSS); 6) сила максимального произвольного изометрического сокращения (МПИС, N) мышц-сгибателей бедра, сгибателей колена и разгибателей стопы на доминантной и недоминантной ноге; 7) балл по Опроснику оценки ходьбы при PC (MSWS-12); 8) оценка качества жизни по опроснику SF-36 (физические и когнитивные домены); 9) балл по модифицированной шкале влияния утомляемости (MFI); 10) профиль нежелательных реакций.

### Методы регистрации результатов

Все пациенты были протестированы заслепленным оценщиком в течение 3 дней после рандомизации и за 3 дня до выписки. Перед тестированием пациенты заполняли анкеты MSWS-12, SF-36 и MFI. Затем были проведены оценка EDSS и измерение МПИС. МПИС измеряли с использованием тензометра на приборе COBS (PHYSIOMED ELEKTROMEDIZIN AG, Германия). После этого проводили тесты 6MWT, T25FW и «Встань и иди». Ту же самую батарею тестов использовали на 4-й неделе.

Если результат первичной конечной точки был выше МКЗИ на 4-й неделе, состояние пациента в конце курса реабилитации расценивалось как клинически значимое улучшение. МКЗИ был определен на основе литературных данных и составил +21,6 м к исходному уровню в тесте 6MWT [18].

### Статистический анализ

Все непрерывные переменные проверяли на нормальность с помощью Q-Q графика. Различия между ПТС и контрольной группой оценивали непараметрическим U-тестом Манна — Уитни. Тест Wilcoxon signed-rank использовался для проверки различий между исходной оценкой на неделе 1 и в конце периода реабилитации на неделе 4. Для сравнения категориальных данных мы рассчитали количество ожидаемых наблюдений. Если в каждой группе ожидалось минимум пять наблюдений, мы использовали критерий Хи-квадрат ( $\chi^2$ ) Пирсона (для пола, фенотипа PC и количества пациентов, которые превысили МКЗИ в 6MWT). Значение  $p < 0,05$  оценивалось как статистически значимое. Все данные представлены в виде медианы (25-е и 75-е квартили).

Для оценки влияния изменений МПИС в измеряемых мышцах на изменения результатов тестов T25FW, 6MWT и теста «Встань и иди» использовалась модель множественной линейной регрессии с пошаговым исключением. Регрессионный анализ проводили отдельно в ПГ и КГ.

Для расчетов использовались Python 3.8.16 (scipy 1.7.3) и Statistica 13 (StatSoft, США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Характеристики пациентов на исходном уровне

В исследование были включены 60 пациентов: 30 для ПТС и контрольной группы. 51 пациент закончил исследование согласно протоколу: 27 — в группе ПТС и 24 —

в контрольной группе. 9 (15 %) пациентов были исключены из исследования: 3 — из-за инфекции COVID-19 и 6 — из-за нарушения протокола, из которых 3 пациента были исключены из группы ПТС, а 3 — из контрольной группы ( $p = 0,5$ ). 1 испытуемый не мог выполнить тесты на походку во время оценки на неделе 4 (а именно 6MWT) из-за усталости. Этот пациент не был исключен, однако данные были собраны лишь частично. Блок-схема распределения пациентов согласно критериям CONSORT представлена на рис. 2.

Средняя продолжительность госпитализации в группе ПТС составила 28 [25,5; 35,5] дней; в контрольной группе — 28 [25,75; 29,25] дней,  $p = 0,41$ .

Описательная статистика представлена в табл. 1. Между обеими группами не наблюдалось различий в показателях, связанных с основными характеристиками заболевания.

### Анализ первичных и вторичных конечных точек

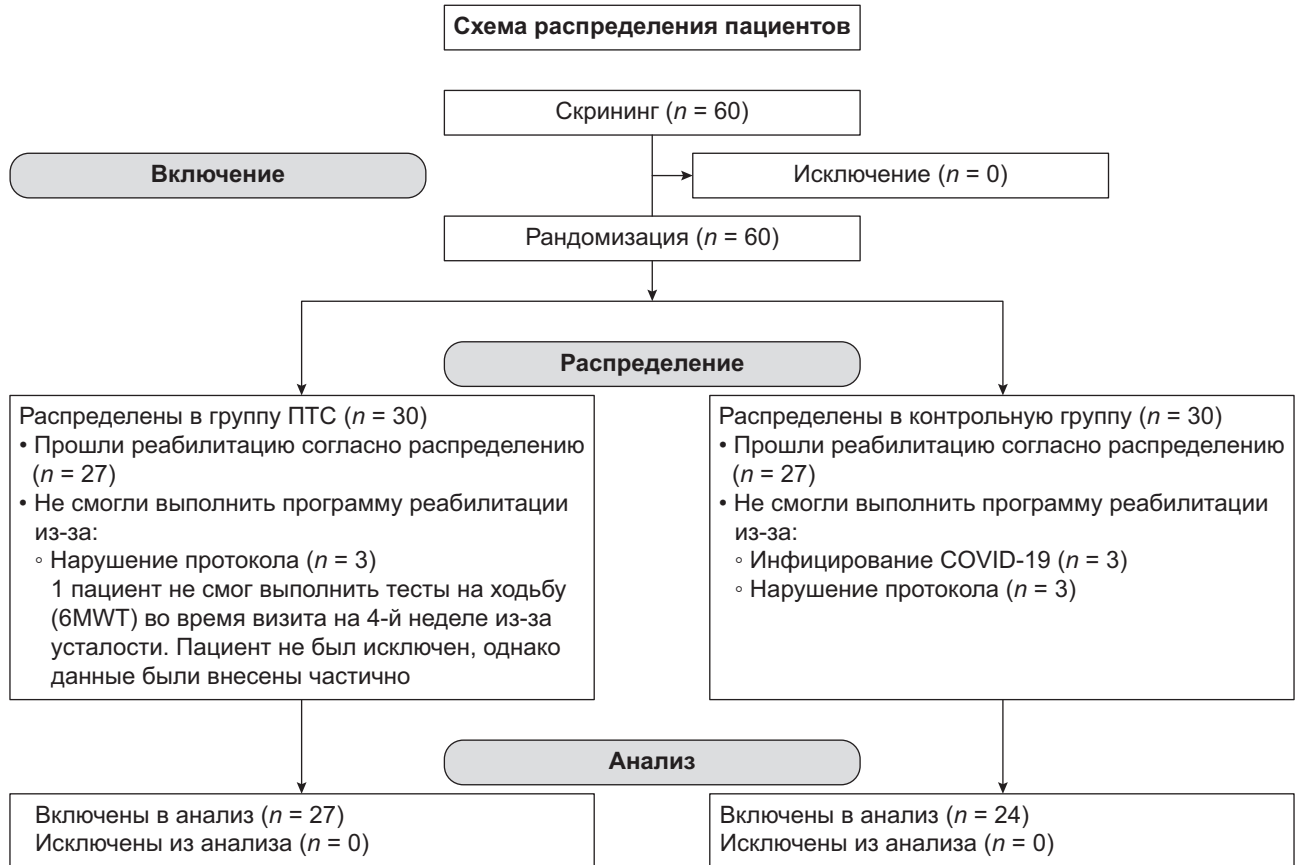
Первичной конечной точкой было количество (%) пациентов, которые превысили МКЗИ в 6MWT (+21,6 м) в ПГ по сравнению с КГ. В ПГ улучшение было достигнуто у 17/27 (63 %) пациентов по сравнению с 11/23 (48 %) в КГ. Критерий  $\chi^2$  не выявил статистически значимых различий между группами ( $OR = 1,15$ ,  $p = 0,89$ ).

Скорость ходьбы, измеренная в тесте T25FW, не показала различий на Н1 в обеих группах. На Н4 только у пациентов с ПГ наблюдалось значительное снижение медианы времени теста ( $p = 0,001$ ). На неделе 4 обе группы показали статистически значимое увеличение скорости ходьбы. Дистанция ходьбы в 6MWT статистически значимо увеличилась на 4-й неделе в обеих группах. Тест TUG применялся для измерения способности как к ходьбе, так и к вертикализации. Наблюдалось значительное снижение медианы времени, использованного для проведения теста в ПГ ( $p = 0,004$ ). Пациенты в контрольной группе также имели снижение медианы времени, но оно не было статистически значимым ( $p = 0,061$ ). Балл EDSS статистически значимо снижался в обеих группах. Важно отметить, что результаты всех тестов и шкал на 4-й неделе не показали статистически значимых различий между ПГ и КГ. Дополнительная информация представлена в табл. 2 и на рис. 3.

В обеих группах были достигнуты статистически значимые улучшения МПИС на 4-й неделе для большинства мышечных групп. Не было зафиксировано увеличения МПИС для сгибателей бедра и сгибателей колена на доминантной ноге в ПГ, тогда как в КГ такие изменения были достигнуты. В то же время статистически значимое увеличение МПИС для сгибателей тазобедренных и коленных суставов было достигнуто на недоминантной ноге в обеих группах. Подробно данные представлены в табл. 2.

Построенная модель множественной регрессии продемонстрировала, что изменения в T25FW, 6MWT и TUG после 4 недель реабилитации были связаны с изменениями МПИС в мышцах ног в обеих группах. Модели общей регрессии были статистически значимыми: для всех регрессий значение  $p$  составляло  $< 0,05$ .

Различия были зафиксированы в распределении групп мышц на обеих ногах. Ниже представлены результаты регрессии для КГ. Нами не было обнаружено значимых связей между изменениями в тесте T25FW



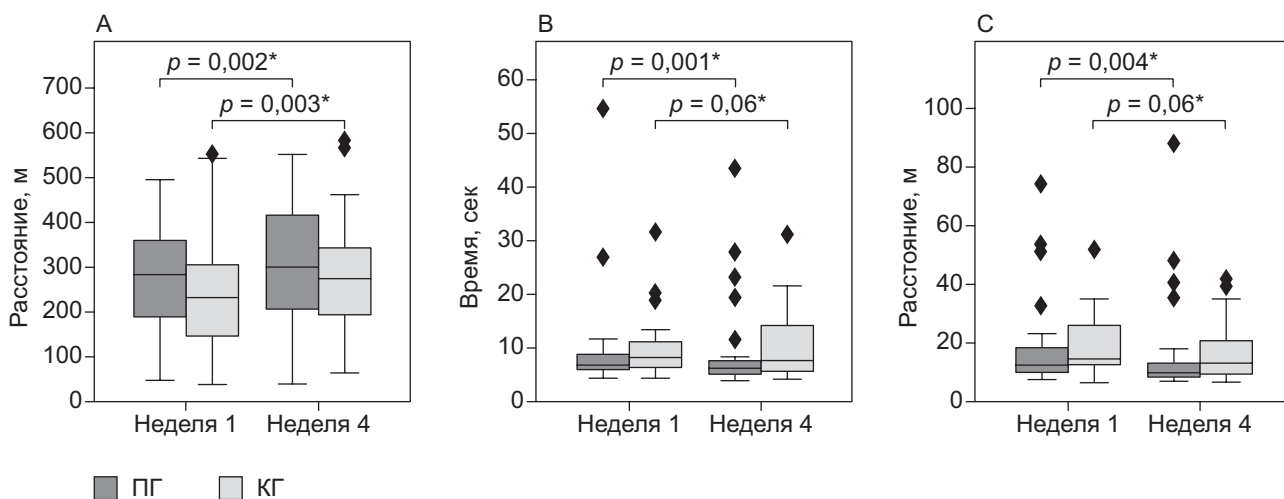
**Рис. 2.** Блок-схема, показывающая включение и участие пациентов  
**Fig. 2.** Flow chart showing patient inclusion and participation

**Таблица 1.** Характеристики пациента на исходном уровне  
**Table 1.** Patients' characteristics at baseline

Характеристики / Characteristics	Группа ПТС / PRT group (ПГ / PG), $n = 27$	Контрольная группа / Control group (КГ / CG), $n = 24$	$p$ -value (ПГ vs КГ / PG vs CG)
Участники (женщины / мужчины) / Participants (Female/Male)	27 (19 / 8)	24 (15 / 9)	0,77*
Возраст, лет / Age, years	42 [38,5; 54,5]	40,5 [33; 54]	0,45**
Балл EDSS / EDSS score	6 [4; 6]	6 [4,5; 6]	0,78**
<b>Тип РС / MS type</b>			
РРС / RMS	12	6	
ВПРС / SPMS	9	10	0,34*
ППРС / PPMS	6	8	

**Примечание:** \* Использовался критерий  $\chi^2$ . \*\* Использовался тест Манна — Уитни. Данные представлены как медиана [25-й и 75-й квартили]. EDSS — расширенная шкала статуса инвалидизации; ВПРС — вторично прогрессирующий рассеянный склероз; КГ — контрольная группа; ПГ — группа ПТС; ППРС — первично-прогрессирующий рассеянный склероз; ПТС — прогрессивная тренировка мощности с сопротивлением; РРС — ремиттирующий рассеянный склероз; РС — рассеянный склероз.

**Note:** \* Chi-squared test has been used. \*\* Mann-Whitney U-test has been used. Data given as median [25th and 75th quantiles]. CG — control group; EDSS — Expanded Disability Status Scale; MS — multiple sclerosis; PG — progressive resistance exercise group; PPMS — primary progressive multiple sclerosis; PRT — progressive resistance training; RMS — relapsing multiple sclerosis; SPMS — secondary progressive multiple sclerosis.



**Рис 3.** Влияние 4 недель реабилитации с использованием прогрессивной тренировки с сопротивлением на результаты тестов 6MWT, T25FW и TUG по сравнению с группой контроля

**Fig 3.** Effects of 4 weeks of progressive resistance training on results of 6MWT, T25FW and TUG tests compared to control

**Примечание:** А — тест 6-минутной ходьбы; В — тест T25FW; С — тест «Встань и иди»; ПГ — группа, выполняющая прогрессивную тренировку с сопротивлением; КГ — контрольная группа.

**Note:** A — 6 minute walking test (6MWT); B — timed 25-foot walking test (T25FW); C — timed Up-and-Go test; PG — progressive resistance exercise group; CG — control group.

и МПИС на обеих ногах. Изменения в силе сгибателей бедра на недоминантной ноге прогнозировали увеличение расстояния в тесте 6MWT ( $b^* = 0,47, p = 0,02$ ). Изменения в сгибателях бедер на недоминантной ноге также предсказывали изменение времени в тесте TUG ( $b^* = -0,75, p = 0,03$ ). Построение моделей множественной регрессии в ПГ дало следующие результаты. Изменения в тесте T25FW были предсказаны изменениями мышечной силы в сгибателях бедра на доминантной ноге ( $b^* = 0,66, p = 0,02$ ), сгибателях колена на недоминантной ноге ( $b^* = -0,69, p = 0,004$ ), а также в разгибателях стопы на недоминантной ноге ( $b^* = -0,63, p = 0,003$ ). Изменения МПИС сгибателей коленного сустава на доминантной ноге предсказывали изменения в тесте 6-минутной ходьбы ( $b^* = 0,43, p = 0,03$ ), а также изменения в тесте TUG ( $b^* = -0,93, p = 0,007$ ).

Результаты опросника MSWS-12 показали статистически значимые улучшения физических и когнитивных доменов на 4-й неделе в обеих группах. Не было обнаружено различий между КГ и ПГ на 4-й неделе ( $p = 0,257$ ). По данным оценки результатов опросника SF-36, улучшения в ПГ наблюдались как в физических, так и в когнитивных доменах опросника ( $p = 0,002$  и  $p = 0,011$  соответственно). Пациенты в КГ показали значимое улучшение только в когнитивных доменах ( $p = 0,001$ ). Статистически значимое улучшение показателя утомляемости было показано в обеих группах на 4-й неделе. При сравнении обеих групп не было обнаружено различий между ними на 4-й неделе. Дополнительные данные представлены в табл. 2.

#### Нежелательные явления

Оба варианта вмешательства имели хорошие профили безопасности. Пациенты не сообщали об увеличении боли или спастичности. У 1 пациента в ПГ было зафиксировано ухудшение течения гипертонической болез-

ни, которая была легкой степени тяжести и считалась не связанной с вмешательством. 3 пациента перенесли инфекцию COVID-19, которая привела к их выбыванию, что также не было связано с вмешательством.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Это было рандомизированное заслепленное исследование с активным контролем для оценки эффективности 4-недельной программы ПТС у пациентов с РС по сравнению со стандартной программой реабилитации.

Известно, что включение методики ПТС в программы реабилитации приводит к увеличению мышечной силы и скорости развития мышечного сокращения у пациентов с РС [19–22]. Однако это не всегда коррелирует с улучшениями в ходьбе [1–5]. Исследователи Marsh и соавт. у пожилых людей с сопутствующими патологиями сообщили, что тренировка мощности была более эффективной по сравнению с силовыми тренировками и привела к одновременному улучшению и мышечной силы, и мощности [23]. Интересной находкой было то, что мощность мышечного сокращения лучше коррелировала с показателями баланса при ходьбе и с уменьшением риска падения, чем сила мышц [24]. В исследованиях у пациентов с РС было показано, что тренировки мощности у пациентов с РС улучшают как мощность, так и силу, но научных доказательств того, что ПТС улучшают дистанцию и качество ходьбы, все еще недостаточно [25]. Основываясь на предыдущих результатах, мы использовали разработанный нами протокол для тренировки мощности [17].

Мало что известно об эффективности ПТС по сравнению с другими подходами реабилитации при РС. Это исследование было предпринято с целью оценить преимущества ПТС по сравнению со стандартной программой реабилитации, включающей силовые

**Таблица 2.** Тесты походки и баланса на исходном уровне и после реабилитации  
**Table 2.** Tests of gait and balance at baseline and after intervention

Тесты	Группа ПТС (ПГ) (n = 27)			Контрольная группа (КГ) (n = 24)			Значение p, ПГ vs КГ на неделе 1	Значение p, ПГ vs КГ на неделе 4
	Неделя 1	Неделя 4	Значение p	Неделя 1	Неделя 4	Значение p		
<b>Тесты на ходьбу и равновесие, неврологический осмотр</b>								
<b>T25FW тест, сек.</b>	6,94 [6,07; 9,04]	6,22 [5,18; 7,54]	0,001	8,02 [6,38; 11,17]	7,73 [5,76; 14,33]	0,601	0,316	0,136
<b>6MWT, м</b>	285,0 [189,0; 360,0]	302,0 [207,5; 417,5]	0,002	240,0 [162,5; 315,0]	277,0 [195,0; 344,5]	0,033	0,661	0,579
<b>Скорость ходьбы, м/мин</b>	47,5 [31,5; 60,0]	50,33 [34,58; 69,56]	0,002	40,0 [27,08; 52,5]	46,17 [32,5; 57,42]	0,033	0,647	0,592
<b>TUG тест, с</b>	12,4 [10,17; 18,64]	10,2 [8,59; 12,88]	0,004	14,66 [12,26; 27,22]	13,51 [9,62; 21,0]	0,061	0,331	0,076
<b>EDSS, балл</b>	6,0 [4,0; 6,0]	4,0 [4,0; 6,0]	0,005	6,0 [4,5; 6,0]	5,25 [4,0; 6,0]	0,017	0,564	0,372
<b>МПИС, N</b>								
<b>Сгибатели бедра, Д</b>	111,0 [57,17; 157,5]	108,0 [55,17; 149,17]	0,572	108,33 [74,17; 135,33]	133,5 [86,67; 178,17]	0,005	0,821	0,099
<b>Сгибатели бедра, НД</b>	55,33 [31,5; 86,5]	87,0 [46,5; 128,67]	0,001	58,5 [34,5; 103,67]	80,83 [50,75; 140,08]	0,005	0,727	1,0
<b>Сгибатели колена, Д</b>	82,67 [41,83; 115,5]	99,67 [58,5; 122,33]	0,07	98,0 [59,0; 128,42]	122,0 [78,17; 148,83]	0,001	0,678	0,157
<b>Сгибатели колена, НД</b>	64,67 [42,34; 90,33]	92,67 [67,83; 110,75]	0,001	65,33 [35,92; 126,67]	85,33 [61,92; 127,67]	0,021	0,685	0,94



Тесты	Группа ПТС (ПГ) (n = 27)			Контрольная группа (КГ) (n = 24)			Значение p, ПГ vs КГ на неделе 1	Значение p, ПГ vs КГ на неделе 4
	Неделя 1	Неделя 4	Значение p	Неделя 1	Неделя 4	Значение p		
<b>Разгибатели стопы, Д</b>	58,67 [24,83; 94,0]	92,0 [31,17; 118,17]	0,016	76,5 [20,83; 125,58]	77,5 [34,83; 134,0]	0,638	0,355	0,91
<b>Разгибатели стопы, НД</b>	47,67 [25,5; 78,33]	66,67 [35,17; 117,83]	0,013	49,67 [21,17; 91,25]	40,83 [24,42; 92,33]	0,685	0,748	0,39
<b>Результаты самооценки состояния</b>								
<b>SF-36, физические домены</b>	30,41 [26,73; 38,39]	39,82 [31,02; 44,45]	0,002	34,3 [28,44; 39,09]	36,34 [31,02; 40,6]	0,053	0,238	0,491
<b>SF-36, когнитивные домены</b>	45,55 [37,25; 56,78]	56,11 [45,68; 59,38]	0,011	40,39 [33,11; 48,87]	52,06 [41,98; 55,9]	0,001	0,136	0,246
<b>MSWS-12</b>	43,0 [34,0; 49,5]	35,0 [30,0; 41,0]	0,001	46,0 [36,75; 49,0]	36,5 [31,5; 45,0]	0,023	0,671	0,257
<b>MFI-20</b>	61,5 [50,25; 71,75]	50,0 [41,5; 60,5]	0,001	68,0 [55,5; 75,25]	57,5 [43,5; 69,75]	0,005	0,168	0,168

**Примечание:** Данные представлены в виде медианы [25-й; 75-й процентили].

6MWT — 6-минутный тест на ходьбу; EDSS — расширенная шкала статуса инвалидности; MFI-20 — модифицированная оценка усталостного воздействия; MSWS-12 — шкала ходьбы при рассеянном склерозе; T25FW — тест ходьбы на 25 футов; TUG — тест с включением и переключением по времени; Д — доминантная нога; КР — контрольная группа; МПИС — максимальное произвольное изометрическое сокращение; НД — недоминантная нога; ПГ — группа ПТС; ПТС — прогрессивная тренировка с сопротивлением.

**Note:** Data are presented as median [25th; 75th percentile].

6MWT — 6-minute walking test; CG — control group; D — dominant leg; EDSS — Expanded Disability Status Scale; MFI-20 — Modified Fatigue Impact score; MSWS-12 — MS Walking Scale 12; MVIC — maximal voluntary isometric contraction; ND — non-dominant leg; PG — PRT group; PRT — progressive resistance exercise; T25FW — timed 25-foot walking test; TUG — timed Up-and-Go test.

тренировки без прогрессивно возрастающего сопротивления или без тренировки мощности мышечного сокращения. Первичная конечная точка была выбрана, руководствуясь прагматичными причинами. 6MWT — это наиболее чувствительный тест для измерения влияния реабилитации на параметры ходьбы при РС [18, 26]. В наших предыдущих исследованиях более 60 % пациентов с РС демонстрировали увеличение расстояния ходьбы выше МКЗИ, а в нашем пилотном исследовании протокола ПТС 80 % пациентов достигли этого результата [17, 26]. В обеих группах было большое количество пациентов с улучшением 6MWT, поэтому первичная конечная точка этого исследования не была достигнута. 6MWT в основном является тестом на выносливость и аэробные способности организма. Возможно, существенные улучшения в этом тесте были достигнуты в обеих группах, так как мы не тренировали выносливость в ПГ специально. Улучшение могло произойти также под действием других частей программы реабилитации, которые были общими в КГ и ПГ (аэробные тренировки, тренировки мышц кора и др.).

Было показано, что ПТС обеспечивает статистически значимое улучшение скорости ходьбы на короткие расстояния. Скорость ходьбы на короткие расстояния измерялась прицельно в тестах T25FW и TUG. Здесь мы видим разницу между группами: улучшение было достигнуто только в группе ПТС между 1-й и 4-й неделей, хотя оно не было значимо лучше по сравнению с КГ. Силовая тренировка с прогрессивным сопротивлением может оказывать влияние на скорость развития силы мышечного сокращения (так называемая rate of force development, RFD), увеличивая скорость ходьбы и улучшая баланс при ходьбе. Исследования протоколов прицельной тренировки RFD сообщают о связи этого параметра со скоростью ходьбы, с балансом и выраженностью инвалидизации [15, 16, 27].

Характеристики мышечной силы показали положительные изменения в обеих группах. Это соответствует предыдущим выводам, которые были подробно описаны в одном из метаанализов [9]. В ПГ не было зафиксировано увеличения МПИС на доминантной ноге для мышц-сгибателей тазобедренного и коленного суставов, но отмечены улучшения МПИС в недоминантной ноге. Одним из объяснений такого результата может быть так называемый эффект контралатеральной тренировки. Контралатеральная тренировка силы, или перекрестное обучение, все чаще исследуется и используется в качестве метода непрямого повышения мы-

шечной силы при РС и других заболеваниях [28–32]. Ранее было показано, что прямая тренировка вызывала изменения до 3 недель по сравнению с контралатеральной тренировкой, которая занимала больше времени, чтобы индуцировать увеличение мышечной силы [28]. Можно предположить, что в нашем исследовании, которое длилось 4 недели и включало упражнения для тренировки обеих сторон тела, мы видим отложенный дополнительный эффект контралатеральной силовой тренировки на недоминантной ноге. Одно из исследований контралатеральной тренировки при РС показало изменение силы сгибателей коленного сустава только на недоминантной ноге [19]. Broekmans и соавт. показали, что улучшение ходьбы в большей степени связано с увеличением мышечной силы в слабой ноге, затем в сильной, которая часто является доминантной [33]. В нашем исследовании разгибатели стопы редко тренировались изолированно в КГ, поэтому только у пациентов с ПГ наблюдалось улучшение МПИС как на доминантной, так и на недоминантной ноге.

Оба подхода оказали благотворное влияние на качество жизни и уменьшили утомляемость и восприятие пациентом качества ходьбы, что соответствует данным других исследований [9, 15, 22].

Реабилитация с применением ПТС показала хороший профиль безопасности с минимальным количеством нежелательных явлений.

#### Ограничения исследования

Проведенное исследование было одноцентровым, поэтому полученные данные требуют репликации в других центрах. Можно заметить, что мощность исследования была недостаточна, поэтому первичная конечная точка не была достигнута, несмотря на некоторую положительную тенденцию. Дальнейшие исследования с активным контролем, вероятно, требуют больше участников. Некоторые параметры сокращения мышц, например RFD, не оценивались по техническим причинам.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, хотя обе группы показали статистически значимое влияние на ходьбу и баланс у пациентов с РС, тренировки по методике ПТС могут быть более эффективными для улучшения скорости ходьбы на короткие расстояния и баланса. Разработанный нами протокол прост в использовании и может применяться пациентами самостоятельно, в том числе, в домашних условиях после выписки.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Макшаков Глеб Сергеевич**, кандидат медицинских наук, заведующий отделением медицинской реабилитации, Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31».

E-mail: g.makshakov@centremms.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6831-0441>

**Мазур Анна Павловна**, студент, лечебный факультет, ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9140-2033>

**Садовских Михаил Олегович**, студент, лечебный факультет,

ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-2088>

**Воинова Ксения Владимировна**, инструктор-методист ЛФК, отделение медицинской реабилитации, Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7333-4963>

**Черненко Анастасия Юрьевна**, инструктор-методист ЛФК, отделение медицинской реабилитации, Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31».

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2162-3015>

**Калинин Иван Владимирович**, статистик, специалист по анализу данных, Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8297-1529>

**Евдошенко Евгений Петрович**, кандидат медицинских наук, руководитель, Городской центр рассеянного склероза, СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31», вице-президент, Медицинская ассоциация врачей и центров рассеянного склероза и других нейроиммунологических заболеваний.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8006-237X>

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией, а также несут ответственность за любой аспект рукописи). Наибольший вклад распределен следующим образом: Макшаков Г.С. — концепция исследования, главный исследователь, концепция статьи, написание работы, обсуждение, выводы; Мазур А.П., Садовских М.О. — сбор и интерпретация материала, написание работы, обсуждение, выводы, участие в одобрении финальной

версии статьи; Калинин И.В. — статистическая обработка и анализ полученных результатов, участие в одобрении финальной версии статьи; Воинова К.В, Черненко А.Ю. — проводили занятия по лечебной физкультуре пациентов исследования, обсуждение, выводы, участие в одобрении финальной версии статьи; Евдошенко Е.П. — разработка концепции и протокола исследования, написание работы, обсуждение, выводы.

**Источники финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Этическое утверждение.** Авторы заявляют, что все процедуры, описанные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, а также Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом при СПб ГБУЗ «Городская клиническая больница № 31» (протокол № 5 от 06.05.2021).

**Доступ к данным.** Данные, подтверждающие выводы этого исследования, находятся в открытом доступе в Figshare, 2023: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23501283>

## ADDITIONAL INFORMATION

**Gleb S. Makshakov**, Dr. Sci. (Med.), Head of the Rehabilitation department, St. Petersburg City Center of multiple sclerosis, City Clinical Hospital #31.

E-mail: [g.makshakov@centremms.com](mailto:g.makshakov@centremms.com);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6831-0441>

**Anna P. Mazur**, student of the medical faculty, The First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9140-2033>

**Mikhail O. Sadovskikh**, student of the medical faculty, The First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-2088>

**Ksenia V. Voinova**, physical therapist of the Rehabilitation department, St. Petersburg City Center of multiple sclerosis, City Clinical Hospital #31.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7333-4963>

**Anastasia Yu. Chernenko**, physical therapist of the Rehabilitation department, St. Petersburg City Center of multiple sclerosis, SBIH City Clinical Hospital #31.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2162-3015>

**Ivan V. Kalinin**, data scientist, St. Petersburg City Center of multiple sclerosis, City Clinical Hospital #31.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8297-1529>

**Evgeniy P. Yevdoshenko**, Dr. Sci. (Med.), Head of the St. Petersburg City Center of multiple sclerosis, SBIH City Clinical Hospital

#31, Vice-President of the Medical Association of professionals and MS centers.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8006-237X>

**Author Contributions.** All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria. Special Contributions: Makshakov G.S. — study concept, principal investigator, writing, discussion, conclusions; Mazur A.P., Sadovskikh M.O. — collection and interpretation of the material, writing, discussion, conclusions, participation in the approval of the final version of the paper; Kalinin I.V. — statistical analysis, participation in the approval of the final version of the paper; Voinova K.V., Chernenko A.Yu. — physical rehabilitation, discussion, conclusions, participation in the approval of the final version of the paper; Evdoshenko E.P. — study concept, writing, discussion, conclusions.

**Funding.** This study was not supported by any external funding sources.

**Disclosure.** The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Ethics Approval.** The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The present study protocol was approved by the local Ethics Committee of the SPb SBIH City Clinical Hospital #31 (Protocol No. 5 dated 06.05.2021).

**Data Access Statement.** The data, supporting conclusions of this study are available in the open-access repository Figshare, 2023: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23501283>

## Список литературы / References

1. Pearson M., Dieberg G., Smart N. Exercise as a therapy for improvement of walking ability in adults with multiple sclerosis: A meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015; 96(7): 1339–1348. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.02.011>
2. Jørgensen M., Dalgas U., Wens I., Hvid L. Muscle Strength and power in persons with multiple sclerosis — A systematic review and meta-analysis. *Journal of the Neurological Sciences*. 2017; (376): 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.03.022>
3. Cruickshank T.M., Reyes A.R., Ziman M.R. A systematic review and meta-analysis of strength training in individuals with multiple sclerosis or parkinson disease. *Medicine*. 2015; 94(4): e411. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000000411>
4. Latimer-Cheung A.E., Pilutti L.A., Hicks A.L. et al. Effects of exercise training on fitness, mobility, fatigue, and health-related quality of life among adults with multiple sclerosis: A systematic review to inform guideline development. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013; 94(9): 1800–1828. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.04.020>

5. Snook E.M., Motl R.W. Effect of exercise training on walking mobility in multiple sclerosis: A meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2008; 23(2): 108–116. <https://doi.org/10.1177/1545968308320641>
6. Rietberg M.B., Brooks D., Uitdehaag B.M., Kwakkel G. Exercise therapy for multiple sclerosis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2005. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003980.pub2>
7. Dalgas U., Stenager E., Jakobsen J. et al. Resistance training improves muscle strength and functional capacity in multiple sclerosis. *Neurology*. 2009; 73(18): 1478–1484. <https://doi.org/10.1212/wnl.0b013e3181bf98b4>
8. Dalgas U., Stenager E., Ingemann-Hansen T. Review: Multiple sclerosis and physical exercise: Recommendations for the application of resistance-, endurance- and combined training. *Multiple Sclerosis Journal*. 2008; 14(1): 35–53. <https://doi.org/10.1177/1352458507079445>
9. Kjølhede T., Vissing K., Dalgas U. Multiple sclerosis and progressive resistance training: A systematic review. *Multiple Sclerosis Journal*. 2012; 18(9): 1215–1228. <https://doi.org/10.1177/1352458512437418>
10. White L.J., McCoy S.C., Castellano V. et al. Resistance training improves strength and functional capacity in persons with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*. 2004; 10(6): 668–674. <https://doi.org/10.1191/1352458504ms1088oa>
11. Aagaard P., Suetta C., Caserotti P. et al. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: Strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010; 20(1): 49–64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x>
12. Aagaard P., Andersen J.L., Bennekou M. et al. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2011; 21(6). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x>
13. Andersen L.L., Andersen J.L., Zebis M.K., Aagaard P. Early and late rate of force development: Differential Adaptive Responses to resistance training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010; 20(1). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00933.x>
14. Gruber M., Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and Neural Activation. *European Journal of Applied Physiology*. 2004; 92(1–2): 98–105. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1080-y>
15. Andreu-Caravaca L., Ramos-Campo D.J., Chung L.H. et al. Effects of fast-velocity concentric resistance training in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Acta Neurologica Scandinavica*. 2022; 146(5): 652–661. <https://doi.org/10.1111/ane.13704>
16. Andreu-Caravaca L., Ramos-Campo D.J., Chung L.H. et al. Fast-velocity resistance training improves force development and mobility in multiple sclerosis. *International Journal of Sports Medicine*. 2021; 43(07): 593–599. <https://doi.org/10.1055/a-1710-1492>
17. Воинова К.В., Макшаков Г.С., Евдосенко Е.П. Реабилитация ходьбы и баланса при рассеянном склерозе с помощью прогрессивных тренировок мощности с отягощением: опыт пилотного исследования. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2021; 3(3): 260–269. <https://doi.org/10.36425/rehab77932> [Voionova K.V., Makshakov G.S., Evdoshenko E.P. Progressive resistance power training for gait and balance rehabilitation in multiple sclerosis: A pilot single-arm study. *Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation*. 2021; 3(3): 260–269. <https://doi.org/10.36425/rehab77932> (In Russ.)]
18. Baert I., Freeman J., Smedal T. et al. Responsiveness and clinically meaningful improvement, according to disability level, of five walking measures after rehabilitation in multiple sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2014; 28(7): 621–631. <https://doi.org/10.1177/1545968314521010>
19. Kjølhede T., Vissing K., de Place L. et al. Neuromuscular adaptations to long-term progressive resistance training translates to improved functional capacity for people with multiple sclerosis and is maintained at follow-up. *Multiple Sclerosis Journal*. 2014; 21(5): 599–611. <https://doi.org/10.1177/1352458514549402>
20. Broekmans T., Roelants M., Feys P. et al. Effects of long-term resistance training and simultaneous electro-stimulation on muscle strength and functional mobility in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*. 2010; 17(4): 468–477. <https://doi.org/10.1177/1352458510391339>
21. Callesen J., Cattaneo D., Brincks J. et al. How do resistance training and balance and motor control training affect gait performance and fatigue impact in people with multiple sclerosis? A randomized controlled multi-center study. *Multiple Sclerosis Journal*. 2019; 26(11): 1420–1432. <https://doi.org/10.1177/1352458519865740>
22. Dodd K., Taylor N., Shields N. et al. Progressive resistance training did not improve walking but can improve muscle performance, quality of life and fatigue in adults with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Multiple Sclerosis Journal*. 2011; 17(11): 1362–1374. <https://doi.org/10.1177/1352458511409084>
23. Marsh A.P., Miller M.E., Rejeski W.J. et al. Lower extremity muscle function after strength or power training in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2009; 17(4): 416–443. <https://doi.org/10.1123/japa.17.4.416>
24. Han L., Yang F. Strength or power, which is more important to prevent slip-related falls? *Human Movement Science*. 2015; (44): 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.09.001>
25. Medina-Perez C., de Souza-Teixeira F., Fernandez-Gonzalo R., Hernandez-Murua J.A., Antonio de Paz-Fernandez J. Effects of high-speed power training on muscle strength and power in patients with multiple sclerosis. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2016; 53(3): 359–368.
26. Stepanova A., Makshakov G., Kulyakhtin A. et al. Improvement of gait and balance in patients with multiple sclerosis after multidisciplinary physical rehabilitation: Analysis of real-world data in Russia. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2022; (59): 103640. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.103640>
27. Taul-Madsen L., Riemenschneider M., Jørgensen M.L.K. et al. Identification of disability status in persons with multiple sclerosis by lower limb neuromuscular function — emphasis on rate of force development. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2022; (67): 104082. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.104082>
28. Manca A., Cabboi M.P., Ortu E. et al. Effect of contralateral strength training on muscle weakness in people with multiple sclerosis: Proof-of-concept case series. *Physical Therapy*. 2016; 96(6): 828–838. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150299>
29. Manca A. et al. Resistance training for muscle weakness in multiple sclerosis: Direct versus contralateral approach in individuals with ankle dorsiflexors' disparity in strength. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2017; 98(7). <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.02.019>
30. Manca A. et al. Gait changes following direct versus contralateral strength training: A randomized controlled pilot study in individuals with multiple sclerosis. *Gait & Posture*. 2020; (78): 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.02.017>
31. Bowen W., Frazer A.K., Tallent J. et al. Unilateral strength training imparts a cross-education effect in unilateral knee osteoarthritis patients. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2022; 7(4): 77. <https://doi.org/10.3390/jfmk7040077>
32. Green L.A., Gabriel D.A. The effect of unilateral training on contralateral limb strength in young, older, and patient populations: A meta-analysis of Cross Education. *Physical Therapy Reviews*. 2018; 23(4-5): 238–249. <https://doi.org/10.1080/10833196.2018.1499272>
33. Broekmans T., Gijbels D., Eijnde B.O. et al. The relationship between upper leg muscle strength and walking capacity in persons with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*. 2012; 19(1): 112–119. <https://doi.org/10.1177/1352458512444497>