

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar690429>

EDN: IWKSZW

Новые подходы к коррекции спастичности после спинальной травмы: применение многоуровневой магнитной стимуляции

Д.А. Соловьев¹, В.Ю. Лобзин^{1,2}, И.А. Лупанов¹, Д.Н. Фрунза¹, А.С. Родионов¹, А.В. Рябцев¹, П.С. Дынин¹, К.М. Наумов¹, Н.В. Цыган¹, И.В. Литвиненко¹

¹ Военно-медицинская академия, Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Ежегодно в мире фиксируется 5–6 млн травм с повреждением нервной системы, из которых 5–9% составляют поражения спинного мозга. Хотя они встречаются реже, последствия остаются тяжелыми: до 100% пострадавших становятся инвалидами или погибают. Одним из наиболее распространенных осложнений спинальной травмы является спастичность, наблюдающаяся у большинства пациентов, особенно при повреждениях шейного и верхнегрудного отделов. Она развивается вследствие повреждения проводящих путей и утраты тормозящего влияния коры головного мозга. Выраженная спастичность ограничивает реабилитацию, способствует формированию контрактур и пролежней, снижает качество жизни и повышает социально-экономическую нагрузку, что требует поиска более эффективных методов лечения.

Цель — оценить эффективность многоуровневой магнитной стимуляции как метода для снижения выраженности спастичности мышц у пациентов со спастической моно- и параплегией вследствие спинальной травмы.

Методы. Проведено комплексное обследование 30 пациентов со спинальной травмой, разделенных на основную и контрольную группы. Оценка спастичности проводилась по модифицированной шкале Эшворта. Основная группа получала стандартную терапию в сочетании с многоуровневой магнитной стимуляцией, контрольная — только стандартное лечение.

Результаты. Проанализированы данные по 30 пациентам. В ходе анализа было исключено 4 пациента из контрольной группы и 3 из основной по причине отсутствия спастичности. В основной группе средний показатель по модифицированной шкале Эшворта снизился с 3,73 до 2,00 баллов, в контрольной — с 3,58 до 2,08. В обеих группах уменьшение выраженности спастичности было статистически значимым, но клинически более выраженным при использовании многоуровневой магнитной стимуляции (Cohen's d — 1,45 против 0,91). Межгрупповые различия по статистическим критериям значимости не достигли, однако величина эффекта указывает на явное преимущество исследуемой методики. Результаты подтверждают целесообразность применения многоуровневой магнитной стимуляции в комплексной реабилитации пациентов со спинальной травмой.

Заключение. Многоуровневая магнитная стимуляция в сочетании со стандартной терапией обеспечивает более выраженное клинически значимое уменьшение спастичности по модифицированной шкале Эшворта по сравнению с одной лишь базовой терапией. Методика представляет собой перспективное направление реабилитации пациентов со спинальной травмой и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: многоуровневая магнитная стимуляция; модифицированная шкала Эшворта; нейромодуляция; периферическая стимуляция; реабилитация; спастичность; спинальная травма; транскраниальная стимуляция; трансспинальная стимуляция.

Как цитировать

Соловьев Д.А., Лобзин В.Ю., Лупанов И.А., Фрунза Д.Н., Родионов А.С., Рябцев А.В., Дынин П.С., Наумов К.М., Цыган Н.В., Литвиненко И.В. Новые подходы к коррекции спастичности после спинальной травмы: применение многоуровневой магнитной стимуляции // Известия Российской военно-медицинской академии. 2025. Т. 44, № 4. С. 395–404. DOI: 10.17816/rmmar690429 EDN: IWKSZW

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar690429>

EDN: IWKSZW

New Approaches to Spasticity Management After Spinal Cord Injury: Application of Multilevel Magnetic Stimulation

Daniil A. Solovev¹, Vladimir Yu. Lobzin^{1,2}, Ivan A. Lupanov¹, Daria N. Frunza¹, Aleksandr S. Rodionov¹, Aleksandr V. Ryabtsev¹, Pavel S. Dynin¹, Konstantin M. Naumov¹, Nikolay V. Tsygan¹, Igor' V. Litvinenko¹

¹ Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Each year, 5–6 million injuries involving the nervous system are reported worldwide, of which 5%–9% are spinal cord injuries. Although these occur less frequently, the outcomes are severe: up to 100% of affected individuals develop disability or die. Muscle spasticity is one of the most common complications after spinal cord injury, particularly if the cervical and upper thoracic spine is involved. Spasticity develops as a result of damage to descending pathways and loss of inhibitory cortical control. Severe spasticity substantially limits rehabilitation, contributes to contractures and pressure ulcers, reduces quality of life, and increases socioeconomic burden, highlighting the need for more effective treatment methods.

AIM: This work aimed to assess the effectiveness of multilevel magnetic stimulation as a method for reducing the severity of muscle spasticity in patients with spastic mono- and paraplegia due to spinal cord injury.

METHODS: A comprehensive evaluation was performed in 30 patients with spinal cord injury who were assigned to either the main group or the control group. Spasticity was assessed using the Modified Ashworth Scale. The main group received standard of care combined with multilevel magnetic stimulation, whereas the control group received standard of care alone.

RESULTS: Data from 30 patients were analyzed. Four patients in the control group and three in the intervention group were excluded due to absence of spasticity. The mean Modified Ashworth Scale score decreased from 3.73 to 2.00 points in the main group and from 3.58 to 2.08 points in the control group. Although the reduction in both groups was statistically significant, clinical improvement was more pronounced when multilevel magnetic stimulation was used (Cohen's *d*: 1.45 vs 0.91, respectively). Intergroup differences did not reach statistical significance, yet the effect size indicates a clear advantage of the experimental technique. The results support the feasibility of multilevel magnetic stimulation as part of comprehensive rehabilitation in spinal cord injury patients.

CONCLUSION: Multilevel magnetic stimulation combined with standard therapy provides a more clinically meaningful reduction in spasticity on the Modified Ashworth Scale compared with standard therapy alone. This method represents a promising area in rehabilitation after spinal cord injury and warrants further investigation.

Keywords: multilevel magnetic stimulation; Modified Ashworth Scale; neuromodulation; peripheral stimulation; rehabilitation; spasticity; spinal cord injury; transcranial stimulation; transspinal stimulation.

To cite this article

Solovev DA, Lobzin VYu, Lupanov IA, Frunza DN, Rodionov AS, Ryabtsev AV, Dynin PS, Naumov KM, Tsygan NV, Litvinenko IV. New Approaches to Spasticity Management After Spinal Cord Injury: Application of Multilevel Magnetic Stimulation. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2025;44(4):395–404. DOI: 10.17816/rmmar690429 EDN: IWKSZW

Submitted: 15.09.2025

Accepted: 24.09.2025

Published: 05.11.2025

ОБОСНОВАНИЕ

По данным статистических исследований, ежегодно по всему миру регистрируется около 5–6 млн травм, сопровождающихся поражениями нервной системы, что по своему объему составляет около 5–9% от всей неврологической патологии. Несмотря на то что поражения спинного мозга имеют относительно небольшой вес в структуре травм нервной системы, они имеют важное социальное и медицинское значение, а точность диагностики и эффективность терапии все еще остаются недостаточно удовлетворительными. Большинство пациентов (80–100%) со спинальной травмой (СТ) становятся инвалидами или вовсе погибают [1]. СТ сопровождается рядом осложнений, которые снижают функциональные возможности пациента, потенциал реабилитации и скорость возвращения к социально продуктивной жизни. Помимо двигательных нарушений также возникают неврогенная дисфункция тазовых органов, вегетативные и чувствительные нарушения, а также спастичность мускулатуры [2]. Спастичность — распространенное осложнение после СТ. По результатам Е.В. Филатова из 884 пациентов с травматической болезнью спинного мозга синдром спастичности наблюдался у 74% пациентов. Чаще всего спастичность наблюдается при повреждениях шейного и верхнегрудного отделов позвоночника, тогда как при поражении нижнегрудного и поясничного отделов она встречается реже [3]. Спастичность возникает из-за повреждения кортикоспинальных путей, вследствие чего происходит растормаживание тонических рефлексов при отсутствии коркового тормозящего воздействия [4].

Спастичность существенно влияет на качество жизни пациентов после СТ. При ее значительной выраженности возникают осложнения в виде контрактур и пролежней, что, в свою очередь, существенно ограничивает проведение лечебной физкультуры, пассивной гимнастики и других реабилитационных мероприятий. Данное ограничение приводит к замедлению восстановления функциональных возможностей пациента и вызывает еще большую социально-экономическую нагрузку на лечебное учреждение, что подчеркивает важность оптимизации диагностики и лечения спастичности [5]. Классическим подходом к диагностике и оценке выраженности спастичности является модифицированная шкала Эшворта (МШЭ), которая представляет собой пятибалльную числовую шкалу от 0 до 4. Эта шкала подходит как для первичной диагностики повышенного мышечного тонуса, так и для оценки результатов реабилитационных мероприятий [6]. Менее распространенной методикой объективной оценки спастичности мышц является модифицированная шкала Тардье (МШТ) [7]. Ключевая особенность МШТ — это анализ динамики мышечного тонуса и амплитуды движений в суставе, возникающих в результате провокации спастической ко-контракции (вовлечения мышц-антагонистов) и стретч-рефлекса (ответа на растяжение сухожилия), которые

оцениваются при различных скоростях пассивного движения [8]. Однако в отечественной неврологии данная шкала не получила особой распространенности в практике по причине длительности и сложности проведения.

Регулярно появляются новые обзоры и исследования методов, посвященных терапии спастичности у пациентов, перенесших СТ, которые включают в себя физиотерапию, медикаментозное лечение и локальную инъекционную терапию [9, 10]. Однако большинство из них имеют свои противопоказания и возможные осложнения для пациентов.

Медикаментозное лечение спастичности включает использование миорелаксантов центрального действия и препараты группы бензодиазепинов (диазепам), обладающих системным эффектом. Пероральные миорелаксанты при легкой степени спастичности могут давать существенный положительный эффект, однако в тяжелых случаях требуются высокие дозы, что часто сопровождается побочными реакциями. Основными из них являются: сонливость, головокружение, снижение АД (в отдельных случаях вплоть до сосудистого коллапса и потери сознания), диспептические явления (что усугубляет имеющиеся нарушения работы ЖКТ, вызванные СТ). Использование диазепама ограничено из-за сильного седативного действия и риска развития зависимости [11, 12].

В качестве локальной инъекционной терапии в настоящее время применяется ботулотоксин типа А (БТА). БТА используется для коррекции изолированной спастичности отдельных мышц. Фармакологическое действие препарата реализуется через ингибирование выделения ацетилхолина в нервно-мышечных синапсах, что приводит к временному прерыванию передачи нервных импульсов к мышце. Однако данный метод также обладает рядом недостатков: аллергические реакции, необходимость проведения процедуры под УЗИ контролем, возможные системные реакции в виде гриппоподобного синдрома, а также формирование толерантности к препарату при длительном использовании [13].

Большинство последних разработок в области физиотерапии сосредоточены на методах нейромодуляции, а не на простом симптоматическом лечении. Они направлены на устранение первопричины спастичности путем неинвазивной модуляции нервной системы на различных уровнях [14]. С целью изменения свойств нейронов и межнейронных связей используется направленная электрическая, механическая, магнитная или термическая стимуляция нервной системы. Основными представителями данного направления являются: электростимуляция, магнитная стимуляция и ультразвуковая стимуляция [15]. Современным и перспективным направлением является использование магнитной стимуляции. Данный метод обладает наименьшим количеством противопоказаний (наличие металлических элементов в зоне воздействия и/или электромагнитных имплантов), малым списком возможных осложнений (редкая головная боль после процедуры

с транскраниальным уровнем воздействия) и универсальностью в применении, так как различные катушки позволяют воздействовать на разную глубину, а набор протоколов — оказывать стимулирующее или ингибирующее воздействие на нервную систему [16–18].

Методики магнитной стимуляции разделяются по уровню воздействия на нервную систему. Выделяют транскраниальную (ТМС), транспинальную (ТсМС) и периферическую (ПМС) магнитную стимуляцию. Исследования показывают, что у пациентов с СТ наблюдалось статистически значимое улучшение состояния после применения нескольких методов магнитной стимуляции, включая повторяющуюся ТМС и ТсМС первичной моторной области пораженной конечности. Так, в метаанализе Korzhova et al. (2018) авторы нашли 26 статей, в которых изучалась эффективность ТМС при лечении спастичности. Метаанализ включал 6 исследований, в которых приняли участие 149 пациентов, прошедших реальную или имитационную стимуляцию. У пациентов, перенесших инсульт, не было обнаружено статистически значимой разницы в эффекте от реальной и имитационной стимуляции. У пациентов с травмой спинного мозга и спастичностью реальная стимуляция сопровождалась достоверным снижением выраженности спастичности (средняя величина эффекта $-0,80$; 95% доверительный интервал от $-1,12$ до $-0,49$, то есть истинное значение эффекта с высокой вероятностью находится в отрицательной зоне). При имитации стимуляции статистически значимого снижения спастичности не отмечено (средняя величина эффекта $0,15$; 95% доверительный интервал от $-0,30$ до $0,00$, что включает нулевое значение). Статистически значимые различия между группами с реальной стимуляцией и имитацией были продемонстрированы при использовании высокочастотной повторяющейся ТМС для области М1 спастичной ноги ($p=0,0002$). Авторы пришли к выводам, что статистически значимый эффект ТМС в виде снижения спастичности был продемонстрирован только при спастичности, развившейся в результате поражений на уровне ствола головного и спинного мозга [19]. В рандомизированном двойном слепом перекрестном исследовании Nardone et al. (2017) с плацебо-контролем десять пациентов с неполным повреждением спинного мозга в шейном или грудном отделе в течение 10 дней ежедневно проходили сеансы настоящей или плацебо-стимуляции с помощью ритмической ТМС (рТМС). До и после протоколов стимуляции сравнивали соотношение амплитуд рефлексов камбаловидной мышцы, амплитуду моторных вызванных потенциалов (МВП) в состоянии покоя и во время фоновой сокращения, а также МШЭ и шкалу оценки спастичности при повреждении спинного мозга (SCAT). В результате у пациентов, получавших настоящую рТМС, наблюдалось значительное увеличение амплитуды МВП в состоянии покоя и при активной стимуляции. У этих же пациентов после лечения также наблюдалось значительное снижение показателей МШЭ и SCAT. Эти изменения сохранялись

в течение недели после окончания лечения рТМС и не наблюдались при использовании фиктивного ТМС [20]. Эффективность методик подтверждается и в других исследованиях, как на людях, так и на животных [21, 22].

Не менее эффективной является и ПМС. Различные исследования подтверждают уменьшение выраженности спастичности по МШЭ у пациентов со спастическим параличом и улучшение двигательной функции пораженных конечностей [23, 24]. В исследовании Lomovtsev et al. (2023) был проведен систематический обзор, в результате которого было отобрано 10 клинических исследований. Частота варьировалась от 1 до 150 Гц, при этом чаще всего использовалась частота 25 Гц, а интенсивность постепенно увеличивалась, но этот процесс не был однородным. В 80% исследований были получены положительные результаты в отношении спастичности: улучшение порога рефлекса растяжения, снижение количества трудностей, связанных со спастичностью по результатам самоопроса, снижение клинической выраженности спастичности, показателей шкалы производительности, МШЭ, спастического тонуса, соотношения активного и пассивного дорсального сгибания [25]. В пилотном исследовании Zschorlich et al. (2019) было обследовано 38 участников, часть прошли либо лечение с помощью ПМС ($n=19$) по протоколу стимуляции заднего большеберцового нерва с частотой 5 Гц, либо имитацию стимуляции ($N=19$). Стимуляция проводилась в течение 5 мин. Исследование проводилось в формате «до и после» с разделением на сопоставимые группы. Показатели оценивались на исходном уровне и после вмешательства, основным результатом стало значительное снижение рефлекторной активности камбаловидной мышцы. Разница в активности сухожильного рефлекса до и после лечения составила $-23,7\%$ ($p < 0,001$) в группе, получавшей ПМС. В группе, получавшей имитацию стимуляции, значимых изменений не наблюдалось [26].

Таким образом, каждая из вышеуказанных методик является эффективным способом уменьшения спастичности у пациентов с СТ, и мы предполагаем, что при комплексном воздействии возможно потенцировать общую эффективность терапии. С этой целью мы объединили три методики, воздействующие на разные уровни нервной системы, в одну — многоуровневую магнитную стимуляцию (ММС).

Цель

Оценка эффективности ММС как метода для снижения выраженности спастичности мышц у пациентов со спастической моно- и параплегией вследствие перенесенной СТ.

МЕТОДЫ

Для контролируемого рандомизированного открытого исследования было отобрано 30 пациентов в возрасте от 18 до 55 лет (средний возраст 36 ± 4 лет) с СТ.

Для их обследования были сформированы две группы. Контрольная группа получала стандартную терапию и базовые методики реабилитации, включающие в себя медикаментозное лечение, физиотерапию и ЛФК ($n=15$). Основной группе пациентов проводилась базовая терапия и ММС ($n=15$). Все участники исследования проходили стационарное обследование и лечение в клинике нервных болезней Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург.

Критерии отбора:

- Отсутствие у пациентов в анамнезе черепно-мозговых травм, острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК) за последние 2 года, перенесенных нейроинфекций.
- Наличие противопоказаний к МС.
- Наличие СТ.
- Отсутствие компрессионно-ишемических осложнений СТ.
- Отсутствие противопоказаний к проведению стандартной терапии и реабилитации.

Всем пациентам было проведено клинико-неврологическое обследование по общепринятой методике с акцентом на нарушение чувствительности, двигательной функции и признаков спастичности [27]. По данным инструментальной и клинической диагностики с использованием шкалы ASIA определен уровень травматического повреждения спинного мозга. Для оценки выраженности спастичности использовалась МШЭ, представляющая собой пятибалльную систему: 0 — мышечный тонус не повышен; 1 — легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения и быстрого расслабления мышцы или минимального сопротивления в конце пассивного сгибания или разгибания; 2 — выраженное повышение мышечного тонуса, которое ощущается на протяжении практически всего движения, без затруднения пассивного движения; 3 — затруднение пассивных движений; 4 — полная неподвижность при пассивных сгибаниях или разгибаниях [28].

Для магнитной стимуляции использовалось устройство магнитный стимулятор «Neuro-MSX» (Нейрософт, Россия) с круглой катушкой.

Протокол терапевтической магнитной стимуляции:

1. ТМС: точка стимуляции М1 (нижние конечности Cz). Частота 10 Гц, пауза 25 с, 50 импульсов в трейне, общее количество импульсов 500, продолжительность 4,08 мин.

2. ТсМС: точка стимуляции — средний грудной уровень позвоночника, бифазная серия стимулов с частотой 1 Гц, 480 импульсов в серии, 50 серий без пауз, продолжительность 7.59 мин, общее количество импульсов 24 000;

3. ПМС: точки стимуляции — передняя и задняя поверхность бедер. Частота 10 Гц, пауза 3,5 с, стимулов в серии 48, длительность серии 4,7, серий в сеансе 74, продолжительность 10.03 мин, общее количество импульсов 3552 [29].

Длительность курса составила 15 процедур (ежедневно в течение 5 дней с последующим 2-дневным перерывом в течение 3 нед).

Статистический анализ проводился с использованием программно-вычислительного сервиса StatTech v. 4.8.6 (разработчик ООО «Статтех», Россия). Для проверки нормальности распределения данных использовался тест Шапиро–Уилка. Для оценки значимости изменений в связанных выборках применялся параметрический парный t -тест Стьюдента (при нормальном распределении) или непараметрический критерий Вилкоксона для связанных выборок (при отклонении от нормальности). Сравнение независимых выборок проводилось с помощью критерия Манна–Уитни. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью точного критерия Фишера (ТКФ). Для оценки различий в распределении качественных характеристик между группами использовался метод Хи-квадрата Пирсона. Для оценки величины клинического эффекта рассчитывался коэффициент Cohen's d . Разделенные на группы пациенты были проверены на однородность распределения по основным характеристикам (табл. 1, 2). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Пациенты были стратифицированы по уровню поражения на три группы (табл. 2). При проверке методом «Хи-квадрат Пирсона» мы не выявили значимых отличий

Таблица 1. Распределение пациентов по наличию симптомов спастичности

Показатель	Категории	Спастичность		ТКФ	p
		отсутствие	наличие		
Группа	Контрольная группа	4	11	1	1,000
	Основная группа	3	12		

Таблица 2. Распределение пациентов по уровню поражения спинного мозга

Показатель	Категории	Уровень поражения			χ^2	p
		шейный отдел	грудной отдел	пояснично-крестцовый отдел		
Группа	Контрольная группа	4	9	2	2,519	0,284
	Основная группа	1	10	4		

в распределении пациентов, что позволяет считать дальнейшие сравнения корректными.

В дальнейшем в анализ включались только пациенты, у которых при первом осмотре регистрировалась спастичность (МШЭ >0).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Последовательность формирования выборки представлена на рис. 1. Нами были проанализированы данные 23 пациентов, у которых была выявлена спастичность на момент первого осмотра. Тест Шапиро–Уилка, проведенный для исходных значений МШЭ, показал нормальное распределение данных в основной группе

и отклонение от нормальности в контрольной, что определило выбор статистических критериев для внутригруппового анализа.

Распределение средних значений МШЭ до и после лечения в исследуемых группах представлено в табл. 3.

При исходной оценке спастичности по МШЭ у пациентов основной группы средний показатель составил $3,73 \pm 0,90$ балла, а в контрольной группе — $3,58 \pm 0,79$ балла. После проведенного курса лечения в основной группе среднее значение снизилось до $2,00 \pm 1,10$ балла, а в контрольной — до $2,08 \pm 1,16$ балла. Таким образом, в обеих группах наблюдалось статистически значимое уменьшение выраженности спастичности. В основной группе,

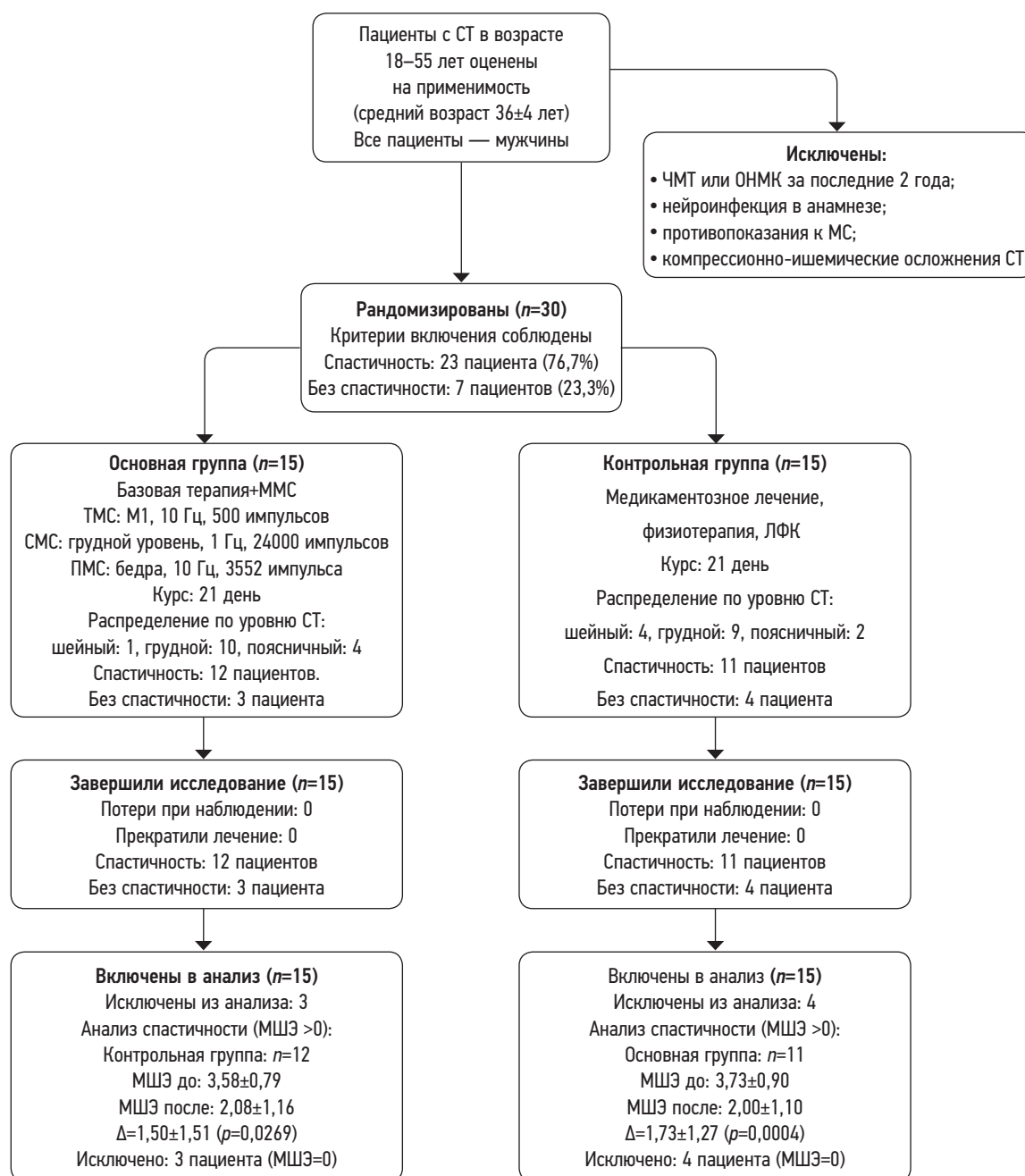


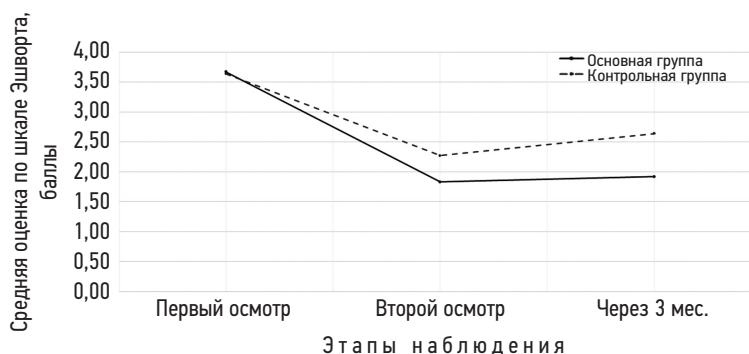
Рис. 1. Диаграмма формирования выборки пациентов.

Таблица 3. Динамика выраженности спастичности по шкале Эшворта в группах

Группа	Количество пациентов	МШЭ 1 осмотр (M±SD)	МШЭ 2 осмотр (M±SD)	Δ (M±SD)
Контрольная	12	3,58±0,79	2,08±1,16	1,50±1,51
Основная	11	3,73±0,90	2,00±1,10	1,73±1,27

Таблица 4. Динамика показателей по шкале Эшворта через 3 месяца после лечения

Группа	До лечения (M±SD)	После лечения (M±SD)	Через 3 мес. (M±SD)	Δ от исходного (%)
Контрольная	3,58 ± 0,79	2,08 ± 1,16	2,50 ± 1,20	–30,2
Основная	3,73 ± 0,90	2,00 ± 1,10	2,20 ± 1,05	–41,0

**Рис. 2.** Динамика изменений по шкале Эшворта.

где распределение различий было нормальным, применялся параметрический парный t -тест Стьюдента ($t=5,73$; $p=0,0004$), что свидетельствует о высокой статистической значимости эффекта вмешательства. В контрольной группе, где распределение не соответствовало нормальному, использовался непараметрический критерий Уилкоксона для связанных выборок ($Z=-2,21$; $p=0,0269$), также показавший статистически значимое, но менее выраженное снижение.

Сравнение величины изменений показателя спастичности (Δ) между группами проводилось с использованием критерия Манна–Уитни ($U=80,0$; $p=0,3945$). Статистически значимых различий между группами выявлено не было. Однако расчет величины эффекта по Козну (Cohen's d) показал, что в контрольной группе размер эффекта составил 0,91, что соответствует крупному клиническому эффекту, а в основной — 1,45, что характеризуется как очень крупный эффект. Это свидетельствует о том, что хотя формально статистическая разница между группами не достигла порога значимости, но в клиническом плане многоуровневая магнитная стимуляция обеспечила более выраженное снижение спастичности.

Значения t и Z , используемые в анализе, представляют собой статистические показатели, характеризующие соотношение между величиной наблюдаемого эффекта и разбросом данных. Чем выше абсолютное значение этих показателей, тем менее вероятно, что наблюдаемый эффект является случайным. Показатель U в критерии Манна–Уитни отражает степень различий между двумя независимыми выборками по ранговым значениям. Показатель Cohen's d отражает стандартизированную

величину эффекта: значения порядка 0,2 трактуются как малый эффект, около 0,5 — как средний, а $\geq 0,8$ — как крупный. Полученные значения (0,91 и 1,45) подтверждают, что в обеих группах снижение спастичности было клинически значимым, а в основной группе — особенно выраженным.

Для оценки стойкости достигнутого снижения спастичности был проведен контрольный осмотр пациентов через 3 мес. после завершения курса терапии. В обеих группах отмечалась тенденция к частичному возврату исходных значений по МШЭ, однако средние показатели оставались существенно ниже исходных. В основной группе эффект сохранялся в большей степени, чем в контрольной, что представлено в табл. 4.

Через 3 мес. средний балл МШЭ в основной группе увеличился лишь на 0,20 относительно показателя сразу после лечения, тогда как в контрольной группе прирост составил 0,42, что свидетельствует о более стойком клиническом эффекте при использовании многоуровневой магнитной стимуляции (рис. 2).

Таким образом, проведенный анализ показал, что обе схемы лечения приводили к снижению выраженности спастичности у пациентов с СТ, однако применение ММС обеспечивало более выраженный клинический эффект. Кроме того, через 3 мес. после окончания курса терапии именно в основной группе наблюдалось лучшее сохранение достигнутого результата, что позволяет рассматривать данную методику как перспективное дополнение к базовой терапии.

Во время исследования нежелательные явления отсутствовали.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании применялась ММС — комплексный метод, включающий транскраниальную, транспинальную и периферическую магнитную стимуляцию. В обеих группах пациентов — как в контрольной, получавшей стандартную терапию, так и в основной, где применялась ММС в дополнение к базовой терапии, — было достигнуто статистически значимое снижение выраженности спастичности по МШЭ. При этом в основной группе уменьшение показателя было более выраженным, что подтверждается как величиной внутригруппового статистического эффекта, так и клинической значимостью изменений.

Так, среднее значение МШЭ в основной группе снизилось с $3,73 \pm 0,90$ до $2,00 \pm 1,10$ балла, тогда как в контрольной группе — с $3,58 \pm 0,79$ до $2,08 \pm 1,16$ балла. Несмотря на отсутствие статистической значимости при межгрупповом сравнении ($p=0,3945$), величина эффекта по Козну ($1,45$ против $0,91$) указывает на более выраженное клиническое улучшение именно в основной группе. Более того, при оценке через 3 мес. после окончания курса лечения в основной группе наблюдалось выраженное сохранение достигнутого результата.

Полученные данные согласуются с результатами других исследований, которые демонстрируют эффективность каждого из компонентов ММС. ТМС снижает мышечный тонус и способствует нейропластичности у пациентов с травмами спинного мозга, рассеянным склерозом и инсультом [30]. ТсМС модулирует спинальные рефлекторные дуги и улучшает проводимость по нисходящим путям, что приводит к уменьшению патологической гиперактивности альфа-мотонейронов [31, 32]. ПМС воздействует на периферические нервы и мышцы, улучшая их функциональное состояние и снижает спастичность [33].

Комплексное применение всех трех видов стимуляции в рамках ММС, по-видимому, обеспечивает синергетический эффект, воздействуя на различные уровни нервной системы — кортикальный, спинальный и периферический. Это может объяснять более выраженное и устойчивое снижение спастичности, наблюдаемое в нашей основной группе по сравнению с контрольной.

Однако необходимо учитывать ограничения исследования: небольшой объем выборки и отсутствие стратификации по срокам с момента травмы могут влиять на интерпретацию результатов и требуют дополнительного изучения в будущих работах.

В целом, наши результаты подтверждают клинический потенциал ММС как эффективного дополнения к стандартным программам реабилитации пациентов с СТ, способствующего более выраженному снижению спастичности с длительным сохранением эффекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования установлено, что ММС в дополнение к базовой терапии приводит к более значимому и длительно сохраняющемуся снижению спастичности у пациентов с СТ по сравнению с одной базовой терапией. Несмотря на ограниченный объем выборки, полученные данные свидетельствуют о клинической эффективности ММС и ее влиянии на нейрофизиологические механизмы регуляции мышечного тонуса. Методика ММС может рассматриваться как перспективное дополнение к реабилитационным программам и требует дальнейших клинических исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.А. Соловьев — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; В.Ю. Лобзин, И.А. Лупанов — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, внесение окончательной правки, утверждение рукописи для публикации; Д.Н. Фрунза, А.С. Родионов, А.В. Рябцев, П.С. Дынин, К.М. Наумов, Н.В. Цыган, И.В. Литвиненко — концепция и дизайн исследования, утверждение рукописи для публикации. Все авторы прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ (протокол № 324 от 11.06.2025).

Раскрытие интересов авторов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: D.A. Solovov: conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, writing—original draft; V.Yu. Lobzin, I.A. Lupanov — study concept and design, analysis of obtained data, final editing, approval of the manuscript for publication; D.N. Frunza, A.S. Rodionov, A.V. Ryabtsev, P.S. Dynin, K.M. Naumov, N.V. Tsygan, I.V. Litvinenko — study concept and design, approval of the manuscript for publication. All authors have read and approved the final version of the manuscript prior to publication.

Ethics approval: The conducted study was approved by the local ethics committee of the S.M. Kirov Military Medical Academy (protocol No. 324 dated June 11, 2025).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests over the past three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Funding sources: The study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication: Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

Statement of originality: The authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement: All the data obtained in this study is available in the article.

Generative AI: Generative artificial intelligence technologies were not used in the creation of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Andreeva GO, Bazilevich SN, Bisaga GN, et al. *Spinal Neurology: Textbook*. Saint Petersburg: SpetsLit; 2024. 463 p. (In Russ.) ISBN 978-5-299-01204-0
2. Odinak MM, Litvinenko IV, eds. *Nervous diseases: Textbook for students of medical universities*. Saint Petersburg: SpetsLit; 2020. 575 p. (In Russ.) ISBN 978-5-299-01025-1
3. Filatov EV, Konovalova NG, Uryupin VYu. Time course of spastic syndrome in patients with traumatic spinal cord injury during treatment and its effects on motor rehabilitation. *Polytrauma*. 2018;(3):34–41. EDN: YKWDMT
4. Pandyan AD. Spasticity: clinical perceptions, neurological realities and meaningful measurement. *Disabil Rehabil*. 2005;27(1–2):2–6. doi: 10.1080/09638280400014576
5. Nene AV. Clinical assessment of spasticity in people with spinal cord damage: recommendations from the Ability Network, an international initiative. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(9):1917–1926. doi: 10.1016/j.apmr.2018.01.018
6. Escaldi SV. Assessing competency in spasticity management: a method of development and assessment. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91(3):243–253. doi: 10.1097/phm.0b013e31823c73bf
7. Glinsky J. Tardieu scale. *J Physiother*. 2016;62(4):229. doi: 10.1016/j.jphys.2016.07.007
8. Kovalenko AP, Misikov VK, Iskra DA. Tardieu scales in the diagnostic of spasticity. *Zh Nevrol Psikiatr Im S S Korsakova*. 2019;119(9):83–90. doi: 10.17116/jnevro201911909183 EDN: LEKMZP
9. Burns AS, Lanig I, Grabljevec K, et al. Optimizing the management of disabling spasticity following spinal cord damage: the Ability Network — an international initiative. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016;97(12):2222–2228. doi: 10.1016/j.apmr.2016.04.025
10. Chu VWT, Hornby TG, Schmit BD. Effect of antispastic drugs on motor reflexes and voluntary muscle contraction in incomplete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(4):622–632. doi: 10.1016/j.apmr.2013.11.001
11. Parfenov V. A systems approach to treating spasticity. Use of muscle relaxants. *Directory of outpatient physician*. 2021;(1):48–53. (In Russ.) EDN: FXOOWE
12. Pau C. Muscle Relaxants. In: *First Aid Perioperative Ultrasound: Acute Pain Manual for Surgical Procedures*. Cham: Springer International Publishing; 2023. P. 147–157. doi: 10.1007/978-3-031-21291-8_10
13. Mukhambetova GA, Akhmetche AA, Demesinova BK. Methods of pharmacotherapy of spasticity syndrome in cerebral palsy (literature review). *Vestnik KAZNMU*. 2021;(4):325–332. EDN: JSFIVX
14. Hodge JO, Brandmeir CL, Brandmeir NJ. Neuromodulation therapies for spasticity control: Now and beyond. *Neurol India*. 2020;68(Suppl 2):S241–S248. doi: 10.4103/0028-3886.302464
15. Zibly Z, Averbuch S, Deogaonker M. Emerging technologies and indications of neuromodulation and increasing role of non-invasive neuromodulation. *Neurol India*. 2020;68(Suppl 2):S316–S321. doi: 10.4103/0028-3886.302453
16. Piradov MA. *Transcranial Magnetic Stimulation in Clinical and Research Practice*. Academician of the Russian Academy of Sciences Piradov MA, ed. Moscow, 2024. ISBN 978-5-9912-1063-8
17. Henry R, Deckert M, Guruviah V, Schmidt B. Review of neuromodulation techniques and technological limitations. *IETE Tech Rev*. 2016;33(4):368–377. doi: 10.1080/02564602.2015.1106926
18. Zhong G, Yang Z, Jiang T. Precise modulation strategies for transcranial magnetic stimulation: advances and future directions. *Neurosci Bull*. 2021;37(12):1718–1734. doi: 10.1007/s12264-021-00781-x
19. Korzhova J, Sinitsyn D, Chervyakov A, et al. Transcranial and spinal cord magnetic stimulation in treatment of spasticity: a literature review and meta-analysis. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018;54(1):75–84. doi: 10.23736/s1973-9087.16.04433-6
20. Nardone R. Effects of intermittent theta burst stimulation on spasticity after spinal cord injury. *Restor Neurol Neurosci*. 2017;35(3):287–294. doi: 10.3233/rnn-160701
21. Nardone R. rTMS modulates reciprocal inhibition in patients with traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2014;52(11):831–835. doi: 10.1038/sc.2014.136
22. Gao W. Effects of high frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on KCC2 expression in rats with spasticity following spinal cord injury. *Curr Med Sci*. 2017;37(5):777–781. doi: 10.1007/s11596-017-1804-y
23. Pan JX. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on spasticity evaluated with modified Ashworth scale/Ashworth scale in patients with spastic paralysis: A systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*. 2022;13:997913. doi: 10.3389/fneur.2022.997913
24. El Nahas N, Kenawy FF, Eldayem EH, et al. Peripheral magnetic theta burst stimulation to muscles can effectively reduce spasticity: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2022;19(1):5. doi: 10.1186/s12984-022-00985-w
25. Lomovtsev I, Tsvetkova E, Gusakova E. Impact of repetitive peripheral magnetic stimulation on post-stroke patients with upper limb spasticity: a randomized controlled trial. *Int J Res Phys Med Rehabil*. 2023;1(1):1–7. doi: 10.33425/2996-4377.1005
26. Zschorlich VR. Repetitive peripheral magnetic nerve stimulation (rPMS) as adjuvant therapy reduces skeletal muscle reflex activity. *Front Neurol*. 2019;10:930. doi: 10.3389/fneur.2019.00930
27. Andreeva GO, Bisaga GN, Vorobyov SV, et al. *Spinal neurology: a textbook*. Odinak M.M., ed. Saint Petersburg: SpetsLit; 2017. 430 p. (In Russ.) ISBN 978-5-299-00886-9
28. Suponeva NA, Yusupova DG, Ilyina KA, et al. Validation of the Modified Ashworth Scale in Russia. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2020;14(1):89–96. doi: 10.25692/ACEN.2020.1.10 EDN: UJYSPN
29. Nielsen JF, Sinkjaer T, Jakobsen J. Treatment of spasticity with repetitive magnetic stimulation; a double-blind placebo-controlled study. *Mult Scler J*. 1996;2(5):227–232. doi: 10.1177/135245859600200503

30. Korzhova YuE, Chervyakov AV, Poydasheva AG, et al. Transcranial magnetic stimulation in the treatment of spasticity. *Bulletin of Restorative Medicine*. 2014;(1(59)):80–87. EDN: SPLCBH
31. Jiang G. Low frequency of repetitive trans-spinal magnetic stimulation promotes functional recovery after spinal cord injury in mice through inhibit-

- ing TGF- β 1/Smad2/3 signaling pathway. *Neurosci Lett*. 2024;836:137890. doi: 10.1016/j.neulet.2024.137890
32. Estudillo-Guerra MA. Trans-spinal direct current stimulation in spasticity: a literature mini-review. *Front Stroke*. 2022;1:921450. doi: 10.3389/fstro.2022.921450
33. Vinolo-Gil MJ. Effects of peripheral electromagnetic fields on spasticity: a systematic review. *J Clin Med*. 2022;11(13):3739. doi: 10.3390/jcm11133739

ОБ АВТОРАХ

***Соловьев Даниил Александрович**, ординатор; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0009-0007-8821-348X; eLibrary SPIN: 8592-5718; e-mail: dankrute@gmail.com

Лобзин Владимир Юрьевич, д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0003-3109-8795; eLibrary SPIN: 7779-3569

Лупанов Иван Александрович, канд. мед. наук; ORCID: 0009-0008-7918-9227; eLibrary SPIN: 2986-6679

Фрунза Дарья Николаевна, врач-невролог; ORCID: 0009-0004-6631-0420; eLibrary SPIN: 7177-8195

Родионов Александр Сергеевич, врач-невролог; ORCID: 0000-0002-7455-8600; eLibrary SPIN: 4458-9650

Рябцев Александр Владимирович, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0002-3832-2780; eLibrary SPIN: 9915-4960

Дынин Павел Сергеевич, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0001-5006-8394; eLibrary SPIN: 8323-3951

Наумов Константин Михайлович, канд. мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007

Цыган Николай Васильевич, д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0002-5881-2242; eLibrary SPIN: 1006-2845

Литвиненко Игорь Вячеславович, д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792

AUTHORS' INFO

***Daniil A. Solovlev**, the resident; address: 6, Akademika Lebedeva st, Saint Petersburg, 194044, Russia; ORCID: 0009-0007-8821-348X; eLibrary SPIN: 8592-5718; e-mail: dankrute@gmail.com

Vladimir Yu. Lobzin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0003-3109-8795; eLibrary SPIN: 7779-3569

Ivan A. Lupanov, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0009-0008-7918-9227; eLibrary SPIN: 2986-6679

Daria N. Frunza, neurologist; ORCID: 0009-0004-6631-0420; eLibrary SPIN: 7177-8195

Aleksandr S. Rodionov, neurologist; ORCID: 0000-0002-7455-8600; eLibrary SPIN: 4458-9650

Aleksandr V. Ryabtsev, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0002-3832-2780; eLibrary SPIN: 9915-4960

Pavel S. Dynin, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0001-5006-8394; eLibrary SPIN: 8323-3951

Konstantin M. Naumov, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007

Nikolay V. Tsygan, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0002-5881-2242; eLibrary SPIN: 1006-2845

Igor' V. Litvinenko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author