Дата публикации: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_1
УДК 612.014.428

Publication date: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_1
UDC 612.014.428

ИЗМЕНЕНИЕ ВЫРАЖЕННОСТИ ПРЕСИНАПТИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЧЕТАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА

А.С. Бойков, Р.М. Городничев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», г. Великие Луки, Россия

Аннотация. Целью данного исследования являлось изучение влияния сочетанного воздействия электрической и магнитной стимуляции спинного мозга на проявление пресинаптичсекого торможения. В экспериментах приняли участие 8 практически здоровых спортсменов мужского пола в возрасте от 18 до 22 лет, занимающихся спортивными играми. Оценка выраженности пресинаптического торможения проводилась по методике Y. Mizuno et al. Для стимуляционного воздействия на спинной мозг использовались стимуляторы: магнитный – «Нейро МС» (ООО «Нейрософт, Россия) и электрический – «NeoStim 4» (ООО «Косима», Россия). Стимуляция осуществлялась на уровне Т11-Т12 грудных позвонков. Выраженность пресинаптического торможения определялась до стимуляционного воздействия и на 1, 5, 10, 15, 20 минутах после его прекращения. Изолированное воздействие электрической стимуляции приводило к существенному подавлению тестирующего Н-рефлекса на 5 минуте после стимуляции, что свидетельствует о наибольшей выраженности пресинаптического торможения. При изолированной магнитной стимуляции достоверное уменьшение тестирующего Н-рефлекса в сравнении с контрольным отмечалось на 5-10 минутах. Сочетанная стимуляция вызывала наибольшее подавление на 15 минуте после ее прекращения. Таким образом, экспериментально доказано, что изолированное и сочетанное воздействие электрической и магнитной стимуляции на спинной мозг приводит к усилению пресинаптического торможения в его нейронных сетях.
Ключевые слова: пресинаптическое торможение, магнитная стимуляция, электрическая стимуляция, сочетанное воздействие.

CHANGES IN THE PRESYNAPTIC INHIBITION SEVERITY INFLUENCED BY COMBINED ELECTRICAL AND MAGNETIC STIMULATION OF THE SPINAL CORD

A.S. Bojkov, R.M. Gorodnichev
Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, Russia

Abstract. The objective of this study – to examine the combined effect of electrical and magnetic stimulation of the spinal cord on presynaptic inhibition. The experiments involved eight healthy male athletes engaged in sports games, age – 18 to 22 years old. The presynaptic inhibition severity was assessed with the method of Y. Mizuno et al. To achieve stimulating effects on the spinal cord the following stimulators were used: magnetic – Neuro MS (Neurosoft LLC, Russia) and electric – NeoStim 4 (Cosima LLC, Russia). Stimulation was carried out at the level of T11-T12 (thoracic spine). The presynaptic inhibition severity was identified before stimulation, immediately after stimulation, at 5, 10, 15, and 20 minutes of recovery. Isolated exposure to electrical stimulation revealed a significant suppression of the testing H-reflex at 5 minutes of recovery, which indicates the greatest presynaptic inhibition severity. In the study of isolated exposure to magnetic stimulation, a significant decrease in the testing H-reflex parameters, compared with the control ones, was found at 5-10 minutes of recovery. The combined stimulation caused the greatest suppression at 15 minutes of recovery. Thus, it has been experimentally proven that the isolated and combined effect of electrical and magnetic stimulation on the spinal cord leads to increased presynaptic inhibition of spinal motor neurons.
Keywords: presynaptic inhibition, magnetic stimulation, electrical stimulation, combined effects.

Введение. Функциональное взаимодействие между нейрональными структурами головного мозга и мотонейронными пулами спинного мозга имеет существенное значение для успешного решения двигательных задач различной сложности, а следовательно и влияет на уровень и проявление физических качеств человека. Взаимодействие корковых и спинальных нейронных сетей осуществляется посредством многих процессов: изменением организации активности двигательных единиц и мотонейронных пулов скелетных мышц; регуляцией нисходящих из мотонейронной зоны коры нервных импульсов; активацией тормозных систем на уровне спинного мозга; изменением возбудимости корковых и спинальных мотонейронов и других. В ряде нейрофизиологических исследований показано, что некоторые из названных процессов, определяющих взаимодействие между разноуровнемыми нейрональными сетями и проявление физических качеств, могут быть изменены с помощью изолированной электрической и магнитной стимуляции спинного мозга. Так, экспериментально доказано, что чрескожная электрическая стимуляция (ЧЭССМ) поясничного отдела спинного мозга в состоянии покоя приводит к ослаблению нереципрокного торможения α-мотонейронов, иннервирующих мышцы голени [1]. Показана возможность посредством ЧЭССМ улучшения постурального контроля, механизмом которого, вероятно, является повышение возбудимости α-мотонейронов спинного мозга, обеспечивающих регуляцию сокращения мышц нижних конечностей [2].

В исследовании Ю.В. Корягиной с соавторами установлено, что магнитная стимуляция (МС) пояснично-крестцовой области спортсменов в период интенсивных тренировочных нагрузок приводит к увеличению длительности и латентности М-ответа, а также к снижению его амплитуды и площади [3]. Регистрация характеристик мышечных ответов, вызванных магнитной стимуляцией спинного мозга на уровнях С7-Т1 и Т11-Т12 позвонков у стайеров и спринтеров, позволила выявить зависимость амплитуды мышечных ответов от направленности тренировочного процесса. Наибольшая амплитуда мышечных ответов обнаружена у бегунов-стайеров, а наименьшая – у бегунов-спринтеров [4].

В работе Федорова А.С. проведен сравнительный анализ влияния магнитной и электрической стимуляции на нервно-мышечный аппарат человека. Результаты его исследования показали, что при прогрессивно нарастающем повышении силы магнитной и электрической стимуляции n. tibialis происходит быстрое первоначальное увеличение амплитуды Н-ответа, затем стабилизация и последующее его резкое снижение. М-ответ характеризовался планомерным повышением амплитуды с увеличением интенсивности стимуляции. В случае нанесения магнитных стимулов максимальный Н-рефлекс и М-ответ регистрировались при меньшем увеличении силы раздражения по отношению к ее пороговой величине, чем при электрическом воздействии [5].

Заметим, что до сих пор при выявлении эффектов стимуляционных воздействий на активность мотонейронных пулов спинного мозга используется изолированная электрическая или магнитная стимуляция. На наш взгляд, изучение сочетанного воздействия двух вышеуказанных видов стимуляции может расширить возможности для целенаправленного управления активностью нейронных сетей спинного мозга.

В связи с этим цель нашей работы состояла в изучении влияния сочетанного воздействия электрической и магнитной стимуляции спинного мозга на проявление пресинаптического торможения.

Методы и организация исследования. В экспериментах приняли участие 8 практически здоровых спортсменов мужского пола в возрасте от 18 до 22 лет, занимающихся спортивными играми.

Пресинаптическое торможение определялось по методике Y. Mizuno et al. [6]. В соответствии с этой методикой оценивалась степень подавления амплитуды тестирующего Н-рефлекса m. soleus, вызываемого кондиционирующей стимуляцией n. peroneus profundus, в сравнении с амплитудой контрольного Н-рефлекса.

Кондиционирующая стимуляция наносилась за 100 мс до тестирующего раздражения n. tibialis. Постулировалось, что чем больше подавление (уменьшение) амплитуды тестирующего Н-рефлекса m. soleus по отношению к амплитуде контрольного Н-рефлекса, тем более выражено пресинаптическое торможение [7].

Тестирующий и контрольный Н-рефлекс m. soleus вызывался посредством стимуляции n. tibialis через монополярные электроды, при этом активный электрод был локализован в fossa poplitea, индифферентный на patella. При регистрации тестирующего и контрольного Н-ответа m. soleus использовалась сила стимула с амплитудой 15-25% от максимального значения. Амплитуду тестирующего Н-ответа m. soleus, регистрируемого в условиях кондиционирующей стимуляции, выражали в процентах от амплитуды контрольного Н-ответа.

Кондиционирующая стимуляция n. peroneus profiindus проводилась через монополярные электроды. Активный электрод располагался вблизи наружного угла fossa poplitea, латеральнее и дистальнее электродов для раздражения n. tibialis, индифферентный на patella. Кондиционирующий стимул на n. peroneus profundus по интенсивности подбирался так, чтобы он вызывал М-ответ m. tibialis anterior с амплитудой 5-15% от максимальной величины.

Для стимуляционного воздействия на спинной мозг использовались стимуляторы: магнитный – «Нейро МС» (ООО «Нейрософт, Россия) и электрический – «NeoStim 4» (ООО «Косима», Россия). Магнитная стимуляция (МС) осуществлялась при использовании двойной катушки (диаметр каждого кольца составлял 90 мм) на уровне Т11-Т12 грудных позвонков. Во время электрической стимуляции (ЭС) активный электрод фиксировался между остистыми отростками Т11-Т12 грудных позвонков, индифферентный электрод располагался над гребнями подвздошных костей. Интенсивность электрического и магнитного стимула подбиралась индивидуально для каждого испытуемого. Длительность сеанса стимуляции составляла 60 секунд, частота – 15 Гц. Выраженность пресинаптического торможения определялась перед стимуляционным воздействием и после его завершения на 1, 5, 10, 15, и 20 минутах. Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы STATISTICA 13.0. Данные представлены в виде среднего значения и среднего квадратического отклонения. Анализ динамики показателей до и после стимуляции осуществлялся с помощью критерия Вилкоксона.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследования показали, что под воздействием электрической стимуляции подавление тестирующего Н-рефлекса возрастало (табл. 1). До проведения электрической стимуляции подавление амплитуды Н-рефлекса составляло 39,52±2,33%, а уже на первой минуте после ее завершения подавление увеличивалось на 16,9%. Наиболее существенное подавление тестирующего Н-рефлекса наблюдалось на 5 минуте, что свидетельствует о наибольшей выраженности пресинаптического торможения Ia афферентов m. soleus в этот период ($p<0,05$). На 10-20 минутах отмечалось некоторое ослабление выраженности пресинаптического торможения, но оно не достигало исходного уровня.

До воздействия магнитной стимуляции подавление амплитуды тестирующего Н-рефлекса достигало 38,21±2,28%. Под влиянием МС выраженность пресинаптического торможения увеличилась в период с 5 до 10 минуты после прекращения стимуляции на 24,63% и 24,21% соответственно (табл. 2). Статистически значимое уменьшение показателей тестирующего Н-рефлекса в сравнении с контрольным отмечалось только на 5-10 минутах после воздействия ($p<0,05$).

Анализ данных, отражающих сочетанное воздействие электрической и магнитной стимуляции на проявление пресинаптического торможения, выявил, что под влиянием такой стимуляции подавление амплитуды тестирующего Н-рефлекса также возросло (табл. 3).

Таблица 1

Изменение амплитуды Н-рефлекса m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции под влиянием электрической стимуляции

Показатели	До стимуляции		Т2, мВ				
			После стимуляции				
	К, мВ	Т1, мВ	1 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин
Амплитуда Н-рефлекса, мВ	4,20 ±0,19	2,54 ±0,13	1,83 ±0,12	**1,49 ±0,09***	1,96 ±0,14	2,17 ±0,15	2,06 ±0,15
Различия между тестирующим и контрольным Н-рефлексами, мВ	-1,66±0,24		-2,37 ±0,16	**-2,71 ±0,11**	-2,24 ±0,15	-2,03 ±0,15	-2,14 ±0,18
Тестирующий Н-рефлекс от контрольного, %	60,48±2,33		43,58 ±2,12	**35,48 ±2,43**	46,67 ±2,50	51,67 ±2,18	49,05 ±2,56
Подавление Н-рефлекса, %	-39,52±2,33		-56,42 ±2,12	**-64,52 ±2,43**	-53,33 ±2,50	-48,33 ±2,18	-50,95 ±2,56

Примечание: К – амплитуда контрольного Н-рефлекса; Т1 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса в покое; Т2 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса после стимуляции и в восстановительный период; $p<0,05$* – достоверные отличия между тестирующим (Т2) Н-рефлексом и контрольным (К).

Таблица 2

Изменение амплитуды Н-рефлекса m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции под влиянием магнитной стимуляции

Показатели	До стимуляции		Т2, мВ				
			После стимуляции				
	К, мВ	Т1, мВ	1 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин
Амплитуда Н-рефлекса, мВ	4,71 ±0,35	2,91 ±0,17	1,98 ±0,08	**1,75 ±0,07***	**1,77 ±0,09***	2,18 ±0,11	1,98 ±0,09
Различия между тестирующим и контрольным Н-рефлексами, мВ	-1,8±0,21		-2,73 ±0,15	**-2,96 ±0,09**	**-2,94 ±0,10**	-2,53 ±0,10	-2,73 ±0,12
Тестирующий Н-рефлекс от контрольного, %	61,79±2,28		42,04 ±2,67	**37,16 ±2,02**	**37,58 ±2,12**	46,29 ±2,35	42,04 ±2,48
Подавление Н-рефлекса, %	-38,21±2,28		-57,96 ±2,67	**-62,84 ±2,02**	**62,42 ±2,12**	-53,71 ±2,35	-57,96 ±2,48

Примечание: К – амплитуда контрольного Н-рефлекса; Т1 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса в покое; Т2 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса после стимуляции и в восстановительный период; $p<0,05$* – достоверные отличия между тестирующим (Т2) Н-рефлексом и контрольным (К).

Таблица 3

Изменение амплитуды Н-рефлекса m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции под влиянием сочетанной стимуляции

Показатели	До стимуляции		Т2, мВ				
			После стимуляции				
	К, мВ	Т1, мВ	1 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин
Амплитуда Н-рефлекса, мВ	4,68 ±0,18	2,86 ±0,10	2,31 ±0,13	2,21 ±0,09	**2,15 ±0,11**	**1,86 ±0,08***	2,12 ±0,09
Различия между тестирующим и контрольными Н-рефлексами, мВ	-1,82±0,16		-2,37 ±0,12	-2,47 ±0,10	**-2,53 ±0,10**	**-2,82 ±0,09**	-2,56 ±0,12
Тестирующий Н-рефлекс от контрольного, %	61,11±1,89		49,35 ±2,11	47,22 ±2,12	**45,94 ±2,32**	**39,74 ±2,08**	45,29 ±2,56
Подавление Н-рефлекса, %	-38,89±1,89		-50,65 ±2,11	-52,78 ±2,12	**-54,06 ±2,32**	**-60,26 ±2,08**	-54,71 ±2,56

Примечание: К – амплитуда контрольного Н-рефлекса; Т1 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса в покое; Т2 – амплитуда тестирующего Н-рефлекса после стимуляции и в восстановительный период; $p<0,05$* – достоверные отличия между тестирующим (Т2) Н-рефлексом и контрольным (К).

Наиболее значительное усиление пресинаптического торможения в этом случае наблюдалось на 15 минуте после окончания воздействия ($p<0,05$), а выраженность процесса торможения в большинстве следующих за воздействием интервалов времени была меньше, чем при изолированном нанесении обеих видов стимуляции. Такая динамика выраженности пресинаптического торможения, вероятно, может определяться особенностями организации следовых потенциалов в нейрональных сетях спинного мозга, вызываемых изолированным и сочетанным стимуляционным воздействием.

Заключение. Однократный кратковременный сеанс магнитной и электрической стимуляции спинного мозга повышает в его нейрональных сетях выраженность пресинаптического торможения. При сочетанном стимуляционном воздействии максимальное усиление пресинаптического торможения происходит в более поздний период и менее значительное в сравнении с эффектом изолированной стимуляции.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рощина, Л.В. Эффект чрескожной электрической стимуляции спинного мозга на функциональное состояние моторной системы человека / А.А. Челноков, Л.В. Рощина// Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 4. – С. 30.
2. Примак, И.С. Эффекты сочетанного воздействия электрической стимуляции спинного мозга и координационных упражнений на способность к сохранению равновесия у минифутболистов / И.С. Примак, С.М. Иванов, Р.М. Городничев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2023. – Т. 11. – № 11. – С. 39–46.
3. Эффекты применения периферической магнитной стимуляции мышц торса спортсменов в период интенсивных тренировочных нагрузок / Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Ю.В. Кушнарева [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. – С. 262–270. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_28.
4. Ланская, О.В. Особенности вызванных ответов скелетных мышц у представителей различных видов спорта при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы / О.В.

Ланская, Е.В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – № 3. – С. 39–46.
5. Федоров, С.А. Сравнительный анализ влияния магнитной и электрической стимуляции на нервно-мышечный аппарат человека / С.А. Федоров, А.Г. Беляев, Ю.В. Шаркова // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 6. – С. 26–28.
6. Mizuno, Y. Reciprocal group I inhibition of triceps surae motoneurones in man / Y. Mizuno, R. Tanaka, N. Yanagisawa // Journal of Neurophysiology. – 1971. – Vol. 34. – P. 1010–1017.
7. Челноков, А.А. Закономерности формирования спинального торможения у человека: специальность 03.03.01 «Физиология»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Андрей Алексеевич Челноков. – Краснодар, 2014. – 320 с.

REFERENCES

1. Roshchina L.V., Chelnokov A.A. Effect of percutaneous electrical stimulation of spina cord on human motor system functionality. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2020, no. 4, p. 30. (in Russ.)
2. Primak I.S., Ivanov S.M., Gorodnichev R.M. Combined effects of spinal cord electrical stimulation and coordination exercises on the ability to maintain balance in futsal players. *Science and sport: current trends*, 2023, vol. 11, no.11, pp. 39–46. (in Russ.)
3. Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Kushnareva Yu.V., Nopin S.V., Mitin I.N. Peripheral magnetic stimulation of the torso muscles of athletes during intense training activity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 3, pp. 262–270. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_28. (in Russ.)
4. Lanskaya O.V., Lanskaya E.V. Peculiarities of creative answers of skeletal muscles in representatives of various sports in magnetic and electric stimulation of central and peripheral structures of the nervous system. *Science and sport: current trends*, 2017, no. 3, pp. 39–46. (in Russ.)
5. Fedorov S.A., Belyaev A.G., Sharkova Yu.V. Comparative analysis of influence of magnetic and electrical stimulation on human neuromuscular system. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 6, pp. 26–28. (in Russ.)
6. Mizuno Y., Tanaka R., Yanagisawa N. Reciprocal group I inhibition of triceps surae motoneurones in man. *Journal of Neurophysiology*, 1971, vol. 34, pp. 1010–1017.
7. Chelnokov A.A. Patterns of spinal inhibition in humans: an author's dissertation. Krasnodar, 2014.320 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Алексей Сергеевич Бойков – аспирант, ФГБОУ ВО ВЛГАФК, Великие Луки, e-mail: daentogostka@gmail.com.
Руслан Михайлович Городничев – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и спортивной медицины ФГБОУ ВО ВЛГАФК, Великие Луки, e-mail: gorodnichev@vlgafc.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Aleksej S. Bojkov – Post-Graduate Student, Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, e-mail: daentogostka@gmail.com.
Ruslan M. Gorodnichev – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Physiology and Sports Medicine, Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, e-mail: gorodnichev@vlgafc.ru.

Для цитирования: Бойков, А.С. Изменение выраженности пресинаптического торможения под влиянием сочетанной электрической и магнитной стимуляции спинного мозга / А.С. Бойков, Р.М. Городничев // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_1

For citation: Bojkov A.S., Gorodnichev R.M. Changes in the presynaptic inhibition severity influenced by combined electrical and magnetic stimulation of the spinal cord. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_1