

УДК 612.816  
DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-4-390-396

## **Эффект длительной электрической стимуляции спинного мозга на проявления нереципрокного торможения $\alpha$ -мотонейронов скелетных мышц человека**

**Л.В. Рощина, Д.А. Гладченко, Е.А. Пивоварова, А.А. Челноков**

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
Великие Луки, Российская Федерация

**Аннотация.** Известно, что длительная чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ) в области T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> грудных позвонков повышает силовые возможности мышц-агонистов голени. Одним из тормозных спинальных механизмов, предохраняющим скелетные мышцы от чрезмерного напряжения (силы), является нереципрокное торможение. Учитывая биологическую роль нереципрокного торможения, целью исследования являлось изучение влияния длительной ЧЭССМ на проявление нереципрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов m. soleus человека в состоянии покоя и при удержании слабого по величине статического усилия. *Материалы и методы:* В исследовании приняли участие 22 здоровых испытуемых мужского пола в возрасте от 27 до 35 лет. Нереципрокное торможение  $\alpha$ -мотонейронов регистрировалось на протяжении 20-минутной ЧЭССМ в области T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> грудных позвонков в покое, в сочетании с произвольным мышечным усилием (5% от МПС) и после ее воздействия. *Результаты:* ЧЭССМ в покое приводила к ослаблению нереципрокного торможения в течение 20 минут воздействия и 10 минут после окончания стимуляции. ЧЭССМ в сочетании с произвольным мышечным напряжением в 5% от МПС усиливает активность нереципрокного торможения на протяжении 20 минут стимуляционного воздействия и 10 минут после его окончания. Обсуждаются предполагаемые физиологические механизмы, лежащие в основе влияния длительной ЧЭССМ на проявление нереципрокного торможения.

**Ключевые слова:** чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ), нереципрокное торможение, Н-рефлекс, спинной мозг, мотонейроны, максимальное произвольное сокращение (МПС)

**Вклад авторов.** Все авторы — разработка, проведение исследования; Л.В. Рощина и Д.А. Гладченко — сбор и обработка материалов; все авторы — анализ полученных данных, написание текста.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют, что исследование проводилось при отсутствии какого-либо конфликта интересов.

Поступила 17.11.2019. Принята 09.12.2019

**Для цитирования:** Рощина Л.В., Гладченко Д.А., Пивоварова Е.А., Челноков А.А. Эффект длительной электрической стимуляции спинного мозга на проявления нереципрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов скелетных мышц человека // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2019. Т. 23. № 4. С. 390—396. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-4-390-396

© Roshchina L., Gladchenko D., Pivovarova E., Chelnokov A., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Effect of Long-Term Electrical Spinal Cord Stimulation on Expression of Non-Reciprocal Inhibition $\alpha$ -Motoneurons of Human Skeletal Muscles

L.V. Roshchina, D.A. Gladchenko, E.A. Pivovarova, A.A. Chelnokov

Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports,  
Velikie Luki, Russian Federation

**Abstract.** It is known, transcutaneous electrical spinal cord stimulation (tESCS) in the T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> level of the thoracic vertebrae increases the power capabilities of the leg agonist muscles. One of the inhibition spinal mechanisms that protects skeletal muscles from excessive force is non-reciprocal inhibition. Taking into account the biological role of non-reciprocal inhibition, the *aim of the study* was to research the effect of long-term tESCS on expression of non-reciprocal inhibition of soleus muscle  $\alpha$ -motoneurons in humans at rest and when holding a weak static force. *Materials and methods:* the study involved 22 healthy male subjects aged 27 to 35 years. Non-reciprocal inhibition of  $\alpha$ -motoneurons was recorded during the 20-minute tESCS in the T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> level of the thoracic vertebrae at rest, in combination with arbitrary muscular effort (5% of MVC) and after its impact. *Results:* TESCOs at rest resulted in the weakening of non-reciprocal inhibition within 20 minutes of exposure and 10 minutes after the end of stimulation. TESCOs in combination with arbitrary muscular effort in 5% of the MVC increases the activity of non-reciprocal inhibition for 20 minutes of stimulation and 10 minutes after its end. The proposed physiological mechanisms underlying the effect of long-term tESCS on expression of non-reciprocal inhibition are discussed.

**Key words:** transcutaneous electrical spinal cord stimulation (tESCS), non-reciprocal inhibition, H-reflex, spinal cord, motor-neurons, maximum voluntary contraction (MVC)

**Author Contributions.** All authors — development and research; L.V. Roshchina and D.A. Gladchenko — collection and processing of materials; all authors — analysis of the data received, writing the text.

**Conflict of Interest Statement.** The authors declare no conflict of interest.

Received 17.11.2019. Accepted 09.12.2019

**For citation:** Roshchina L, Gladchenko D, Pivovarova E, Chelnokov A. Effect of Long-Term Electrical Spinal Cord Stimulation on Expression of Non-Reciprocal Inhibition  $\alpha$ -Motoneurons of Human Skeletal Muscles. *RUDN Journal of Medicine*. 2019 Dec; 23 (4): 390—396. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-4-390-396

В наших ранних исследованиях показано, что длительная чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ) в области T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> грудных позвонков повышает силовые возможности мышц-агонистов голени [1, 2]. Одним из механизмов моторной системы, предохраняющим скелетные мышцы от чрезмерного напряжения (силы) и обеспечивающим координированные сокращения различных мышечных групп, является нерцепрокное (аутогенное) торможение, которое осуществляется по афферентным волокнам Ib от сухожильных органов Гольджи на спинальные мотонейроны собственной мышцы и мышцы-синергисты, и находится под супраспинальным контролем [3—6]. Тем не менее, сведения о влиянии длительной ЧЭССМ на функцио-

нальную активность нерцепрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов скелетных мышц человека до сих пор не изучены. Учитывая биологическую роль нерцепрокного торможения, целесообразно было исследовать проявление нерцепрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов m. soleus человека под влиянием курса продолжительной ЧЭССМ в состоянии относительного мышечного покоя и при удержании слабого по величине статического усилия.

## Материалы и методы

В эксперименте приняло участие 22 здоровых испытуемых мужского пола в возрасте от 27 до 35 лет, у которых было получено информированное согласие на участие в исследовании

согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено комиссией по вопросам этики Великолукской государственной академии физической культуры и спорта.

*Методика длительной ЧЭССМ.* ЧЭССМ (стимулятор «Нейро-МВП-8») осуществлялась с помощью стимуляционного активного электрода, локализованного по средней линии позвоночника на уровне грудных позвонков T<sub>11</sub>-T<sub>12</sub> в положении лежа на спине в течение 20 минут. Индифферентные электроды располагались билатерально над гребнями подвздошных костей. На протяжении первых 10 минут стимуляции интенсивность стимула находилась в пределах 30 мА, а в дальнейшем достигала 40 мА. Длительность однократного стимула составляла 0,5 мс, частота следования стимулов — 10 Гц [1, 7].

*Методика регистрации нереципрокного (Ib) торможения  $\alpha$ -мотонейронов спинного мозга.* Для регистрации нереципрокного торможения гомонимных  $\alpha$ -мотонейронов m. soleus использовали коротколатентную кондиционирующую стимуляцию n. common peroneal за 6 мс до тестирующего стимула на n. tibialis. Коротколатентный кондиционирующий стимул на n. common peroneal активирует Ib афференты соответствующих тормозных интернейронов Ib к  $\alpha$ -мотонейронам m. soleus. Выраженность нереципрокного торможения анализировалась по степени подавления амплитуды тестирующего Н-рефлекса m. soleus при нанесении кондиционирующего стимула на n. common peroneal. Тормозной эффект оценивали как отношение амплитуды тестирующего Н-ответа m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции от контрольного рефлекса (%). Тестирующая стимуляция n. tibialis осуществлялась монополярными электродами: активный электрод был локализован в fossa poplitea, индифферентный — на patella. Интенсивность стимулов при регистрации тестирующего и контрольного

Н-рефлексов m. soleus составляла 15% от максимальной их амплитуды. Нанесение кондиционирующего стимула на n. common peroneal производилось через монополярные электроды с интенсивностью 95% от величины максимального М-ответа m. gastrocnemius, при этом активный электрод находился в более низкой части fossa poplitea, на 6—8 см латеральнее или дистальнее электродов для раздражения n. tibialis, индифферентный — на patella. Регистрация амплитуды Н-рефлексов и М-ответов, кондиционирующая стимуляция афферентов Ib и тестирующее раздражение афферентов Ia, ЭМГ активность скелетных мышц выполнялась на восьмиканальном миниэлектромиографе с программным обеспечением Myo (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003) [6, 8, 9].

*Максимальное произвольное сокращение (МПС).* Слабое по величине мышечное усилие (5% от МПС) испытуемые удерживали с помощью комплекса «Biodex Multi-Joint System Pro-3» (USA, 2006) в течение 20-минутной ЧЭССМ. Выбор слабого по величине МПС связан с тем, чтобы испытуемые могли удерживать данное мышечное напряжение в течение 20-минутной ЧЭССМ.

Регистрацию нереципрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов m. soleus осуществляли в следующих экспериментальных условиях: 1) в состоянии покоя до воздействия длительной ЧЭССМ, во время воздействия на 5, 10, 20 минутах и после ее воздействия на 5, 10, 20, 30 минутах; 2) при удержании изометрического усилия, составляющего 5% от МПС до воздействия длительной ЧЭССМ, во время воздействия на 5, 10, 20 минутах и после ее воздействия на 5, 10, 20, 30 минутах.

Статистический анализ данных проводили в программе «Statistica 12.5». Для оценки достоверности различий в амплитуде тестирующего Н-рефлекса рефлекса m. soleus от контрольного рефлекса на 5, 10, 20 минутах электрической стимуляции поясничного утолщения спинного мозга в покое и в сочетании с изометрическим

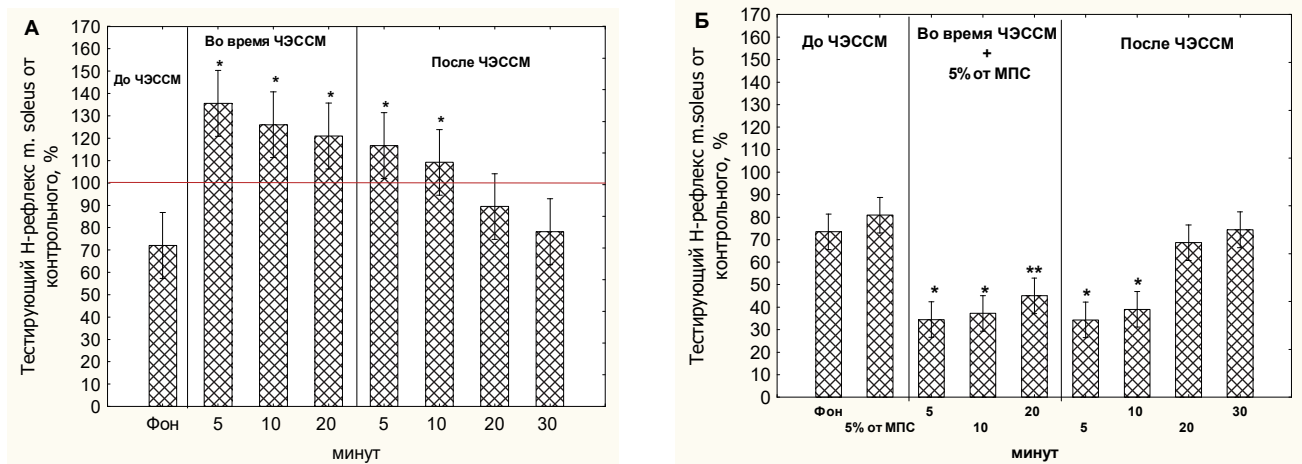
сокращением 5% от МПС, а также после прекращения электрической стимуляции поясничного утолщения спинного мозга на 5, 10, 20, 30 минутах с фоном применяли параметрический однофакторный дисперсионный анализ с post-hoc анализом Newman-Keuls при уровне значимости  $P < 0,05$ .

## Результаты

Результаты исследований показали, что во время длительной ЧЭССМ в состоянии покоя нерцепрокное торможение  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus* инвертируется на нерцепрокное облегчение (рис. 1А). Наибольшая выраженность нерцепрокного облегчения наблюдалась на 5 минуте ЧЭССМ ( $P = 0,000$ ), а наименьшая — на 20 минуте ( $P = 0,000$ ). После прекращения ЧЭССМ нерцепрокное облегчение ослаблялось вплоть до 10 минуты восстановления ( $P = 0,003$ ). Начиная с 20 минуты после воздействия длительной ЧЭССМ нерцепрокное облегчение инвертировалось на нерцепрокное торможение и дости-

гало выраженности фоновых значений, зарегистрированных до стимуляции спинного мозга ( $P = 0,225$ ). Полное восстановление нерцепрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus* наступало на 30-й минуте последствия ЧЭССМ ( $P = 0,557$ ; рис. 1А).

Результаты анализа амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* от контрольного рефлекса, зарегистрированной до ЧЭССМ, показали, что при выполнении изометрического сокращения в 5% от МПС происходит незначительное ослабление нерцепрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus* ( $P = 0,385$ ) по сравнению с состоянием покоя (фон) (рис. 1Б). Во время длительной ЧЭССМ в сочетании с изометрическим сокращением в 5% от МПС происходило значительное усиление нерцепрокного торможения спинальных  $\alpha$ -мотонейронов по сравнению с фоном. Наиболее выраженное нерцепрокное торможение наблюдалось на 5 минуте ЧЭССМ ( $P = 0,000$ ), а менее выраженное — на 20 минуте ( $P = 0,000$ ).



**Рис. 1.** Амплитуда тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* от контрольного рефлекса до, во время и после длительной ЧЭССМ, %.

*Примечание:*  $p < 0,01^*$ ,  $p < 0,05^{**}$  — достоверность различий в амплитуде тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* от контрольного рефлекса на 5, 10, 20 минутах стимуляции спинного мозга в покое (А) и в сочетании с изометрическим сокращением 5% от МПС (Б) и 5, 10, 20, 30 минутах после прекращения ЧЭССМ с фоном (А, Б) (One-way Anova с post-hoc анализом Newman-Keuls)

**Figure 1.** Amplitude of the testing H-reflex soleus muscle from the control reflex before, during and after a long-term tESCS, %.

$p < 0,01^*$ ,  $p < 0,05^{**}$  — significance of differences in the amplitude of the testing H-reflex soleus muscle from the control reflex at 5, 10, 20 minutes of spinal cord stimulation at rest (A) and in combination with isometric contraction of 5% of MVC (B), and 5, 10, 20, 30 minutes after of tESCS with background (A, B) (One-way Anova with post-hoc analysis Newman-Keuls)

После прекращения воздействия ЧЭССМ в сочетании с изометрическим сокращением в 5% от МПС усиление нерцепрожного торможения наблюдалось вплоть до 10-й минуты после окончания стимуляционного воздействия ( $P = 0,000$ ), а к 20 ( $P = 0,395$ ) по 30 минутам ( $P = 0,867$ ) отмечалось его постепенное ослабление, которое достигало фоновых значений, что указывает на восстановление данного тормозного процесса на спинальном уровне (рис. 1Б).

### Обсуждение

Результаты исследования влияния длительной ЧЭССМ на выраженность нерцепрожного торможения спинальных  $\alpha$ -мотонейронов скелетных мышц голени показали, что в течение 20-минутной стимуляции спинного мозга в состоянии покоя нерцепрожное торможение  $\alpha$ -мотонейронов мышцы-агониста снижается и проявляет себя в виде нерцепрожного облегчения. Такой постактивационный эффект сохранялся до десяти минут после 20-минутной электрической стимуляции спинного мозга. Другими авторами, изучающими влияние длительной ЧЭССМ на выраженность дисинаптического реципрожного торможения  $\alpha$ -мотонейронов и пресинаптического торможения афферентов Ia *m. soleus* в покое у здоровых людей, показано, что после 20-минутной электрической стимуляции спинного мозга реципрожное торможение усиливается в течение 15 минут последствия, а пресинаптическое торможение не отличается от исходного уровня на протяжении 30 минут последствия [10]. Авторы предполагают, что длительная ЧЭССМ может индуцировать кратковременные пластические изменения в Ia интернейронах реципрожного торможения [10].

Авторы-разработчики неинвазивного способа ЧЭССМ высказывают предположение, что при воздействии электрической стимуляции на спинной мозг последовательно вовлекаются афференты группы Ia и Ib, афференты группы II, возбуждающие и тормозные спинальные интернейроны, реализующие поли- и олигосинаптические реф-

лексы, а также пирамидный, ретикулоспинальный и симпатический тракты [11, 12]. Опираясь на высказывания авторов, мы предполагаем, что при воздействии длительной ЧЭССМ в покое последовательно вовлекаются восходящие периферические влияния от Ia и Ib афферентов на  $\alpha$ -мотонейроны, а также возбуждающие супраспинальные входы (кортико-, вестибуло-, ретикулоспинальные) на соответствующие мотонейроны, что приводит к усилению нерцепрожных облегчающих влияний на мотонейронный пул мышц-агонистов голени (*m. soleus* и *m. gastrocnemius*).

Результаты собственных исследований показали, что в условиях удержания усилия, составляющего 5% от МПС, нерцепрожное торможение  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus* до воздействия электрической стимуляции на спинной мозг было слабее, чем в состоянии покоя. Сходные результаты, описывающие ослабление нерцепрожного торможения  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus* при выполнении умеренного по величине статического усилия, описаны в работах E. Pierrot-Deseilligny et al. (1981) и А.А. Челнокова с соавторами (2017) [8, 9, 13]. Авторами установлено, что при выполнении умеренного по величине статического усилия наиболее выражено пресинаптическое торможение, которое активно регулирует избыточный афферентный приток к  $\alpha$ -мотонейронам мышц-агонистов и антагонистов голени, растормаживая нерцепрожные и реципрожные тормозные влияния на них, обеспечивая нормальную двигательную активность человека [8].

Собственные результаты исследований указывают на то, что на фоне длительной ЧЭССМ и выполнения слабого по величине статического усилия проявлялось наиболее выраженное нерцепрожное торможение  $\alpha$ -мотонейронов *m. soleus*, которое сохранялось в течение 10 минут последствия. Учитывая то, что кортикоспинальные волокна оказывают возбуждающие влияния на интернейроны Ib нерцепрожного торможения при произвольном мышечном сокращении, можно предположить, что длительная ЧЭССМ в сочетании со слабым по величине статическим усилием

и ее постактивационный эффект дополнительно активирует возбуждающие кортикоспинальные пути и периферические влияния Ib афферентов от рецепторов Гольджи, усиливая их функциональную активность на тормозные интернейроны Ib нерцепрокного торможения [14—20]. Проявление нерцепрокного торможения  $\alpha$ -мотонейронов мышц-агонистов голени может регулироваться механизмами возвратного торможения через клетку Реншоу и пресинаптического торможения, опосредованного Ia афферентами на соответствующие интернейроны [4, 6, 21, 22].

Таким образом, в заключение отметим, что длительная ЧЭССМ модулирует нерцепрокное торможение спинальных  $\alpha$ -мотонейронов, которое обеспечивает оптимальное функционирование поддержания напряженности скелетных мышц и степени растягивающего усилия, развиваемой ими силы.

### Библиографический список / References

1. Федоров С.А., Городничев Р.М., Челноков А.А. Влияние длительной электрической стимуляции спинного мозга на силовые возможности скелетных мышц // Ульяновский медико-биологический журнал. 2017. № 1. С. 123—130.  
Fedorov SA, Gorodnichev RM, Chelnokov AA. The effect of prolonged electrical stimulation of the spinal cord on the strength capabilities of skeletal muscles. *Ulyanovsk Medical Biological Journal*. 2017;1: 123—130. (In Russ.)
2. Челноков А.А., Рощина Л.В. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга как метод повышения силовых возможностей скелетных мышц голени // В сб.: Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов. 2017. С. 334—336.  
Chelnokov AA, Roshchina LV. Percutaneous electrical stimulation of the spinal cord as a method of increasing the power capabilities of the skeletal muscles of the lower leg. In: *Modern methods of organizing the training process, assessing the functional state and recovery of athletes*. 2017; 334—336. (In Russ.)
3. Pierrot-Deseilligny E, Morin C, Bergego C, Tankov N. Pattern of group I fibre projections from ankle flexor and extensor muscle in man. *Exp Brain Res*. 1981;42: 337—350.

4. Бикмуллина Р.Х., Розенталь А.Н., Плещинский И.Н. Тормозные системы спинного мозга в контроле взаимодействий функционально сопряженных мышц // Физиология человека. 2007. Том 33. № 1. С. 119—130.  
Bikmullina RH, Rozental' AN, Pleshchinskij IN. Spinal cord inhibitory systems in the control of interactions of functionally conjugated muscles. *Human physiology*. 2007;33(1): 119—30.
5. Knikou M, Smith AC, Mummidisetty CK. Locomotor training improves reciprocal and nonreciprocal inhibitory control of soleus motoneurons in human spinal cord injury. *J Neurophysiol*. 2015;113(7): 2447—60.
6. Челноков А.А. Нейрональные тормозные сети спинного мозга // NovaInfo.Ru (Электронный журнал). 2016. № 42. Т. 3. С. 24—47. URL: <http://novainfo.ru/article/4893>  
Chelnokov AA. Neuronal inhibitory networks of the spinal cord (Scientific review). *Nova Info. Ru*. 2016;42(3): 24—47; Available from: <http://novainfo.ru/article/4893>
7. Челноков А.А., Рощина Л.В. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга как метод повышения силовых возможностей скелетных мышц голени // В сб.: Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов. 2017. С. 334—336.  
Chelnokov AA, Roshchina LV. Percutaneous electrical stimulation of the spinal cord as a method of increasing the power capabilities of the skeletal muscles of the lower leg. In: *Modern methods of organizing the training process, assessing the functional state and recovery of athletes*. 2017; S. 334—336. (In Russ.)
8. Челноков А.А., Бучацкая И.Н. Функциональные особенности спинального торможения человека при произвольной двигательной активности // Теория и практика физической культуры. 2015. № 6. С. 11—13.  
Chelnokov AA, Buchackaya IN. Functional features of spinal inhibition of a person with arbitrary motor activity. *Theory and practice of physical education*. 2015;6: 11—13. (In Russ.)
9. Челноков А.А., Gladchenko Д.А., Федоров С.А., Городничев Р.М. Возрастные особенности спинального торможения скелетных мышц у лиц мужского пола в регуляции произвольных движений // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 1. С. 35—44.  
Chelnokov AA, Gladchenko DA, Fedorov SA, Gorodnichev RM. Age-related features of spinal inhibition of skeletal muscles in males in the regulation of voluntary movements. *Human physiology*. 2017;43(1): 35—44. (In Russ.)
10. Yamaguchi T, Fujiwara T, Takahara T, Takahashi Y, Mizuno K, Ushiba J, Masakado Y, Liu M. The effects of transcutaneous spinal cord stimulation on spinal re-

- reciprocal inhibition in healthy persons. *Clinical Neurophysiology*. 2017; 128(3):115—6.
11. Городничев Р.М., Пивоварова Е.А., Пухов А.М. и др. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 46—56.  
Gerasimenko Y, Kozlovskaya I, Edgerton VR. Sensorimotor regulation of movements: novel strategies for the recovery of mobility. *Human physiology*. 2016;42(1): 106—117.
  12. Pierrot-Deseilligny E, Morin C, Bergego C, Tankov N. Pattern of group I fibre projections from ankle flexor and extensor muscle in man. *Exp Brain Res*. 1981;42: 337—50.
  13. Meunier S. Modulation by corticospinal volleys of presynaptic inhibition Ia afferents in man. *J. Physiol. (Paris)*. 1999;93(4): 387—94.
  14. Pyndt HS, Nielsen JB. Modulation of transmission in the corticospinal and group Ia afferent pathways to soleus motoneurons during bicycling. *J. Neurophysiol*. 2003;89: 304—14.
  15. Knikou M. The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls. *Journal of Neuroscience Methods*. 2008;171: 1—12.
  16. Cash RF, Ziemann U, Murray K, Thickbroom GW. Late cortical disinhibition in human motor cortex: a triple-pulse transcranial magnetic stimulation study. *J. Neurophysiol*. 2010;103(1): 511—8.
  17. Pierrot-Deseilligny E, Burke D. *The Circuitry of the Human Spinal Cord: Spinal and Corticospinal Mechanisms of Movement*. United States: Cambridge University Press; 2012. 606 p.
  19. Guzmán-López J, Selvi A, Barraza G, Casanova-Molla J, Valls-Solé J. The effects of transcranial magnetic stimulation on vibratory-induced presynaptic inhibition of the soleus H reflex. *Exp Brain Res*. 2012;220(3—4): 223—30.
  20. Matsugi A, Mori N, Uehara S, Kamata N, Oku K, Okada Y, Kikuchi Y, Mukai K, Nagano K. Effect of cerebellar transcranial magnetic stimulation on soleus Ia presynaptic and reciprocal inhibition. *Neuroreport*. 2015;26(3). R.139—43.
  21. Rossi A, Decchi B. Changes in Ib heteronymous inhibition to soleus motoneurons during cutaneous and muscle nociceptive stimulation in humans. *Brain Res*. 1997;774: 55—61.
  22. Barrué-Belou S, Marque P, Duclay J. Supraspinal Control of Recurrent Inhibition during Anisometric Contractions. *Med Sci. Sports Exerc*. 2019;51(11): 2357—65.

*Ответственный за переписку:* Рощина Людмила Васильевна, старший преподаватель кафедры физиологии и спортивной медицины, Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, пл. Юбилейная, д. 4, корп. 1, 182100, Псковская обл, г. Великие Луки, Российская Федерация  
E-mail: ljudaschina@yandex.ru.

Рощина Л.В. ORCID ID: 0000-0002-7647-2106

Гладченко Д.А. SPIN-код: 7541-0760, ORCID ID: 0000-0001-6041-3614

Пивоварова Е.А. SPIN-код: 7959-0855, ORCID ID: 0000-0002-9547-3956

Челноков А.А. SPIN-код: 4706-8513, ORCID ID: 0000-0003-0502-5752

*Corresponding Author:* Roshchina Lyudmila, senior lecturer of the department of physiology and sports medicine, Velikiye Luki state Academy of physical education and sports, Yubileynaya square, 4, building.1. 182100 Pskov region, Velikie Luki, Russian Federation.

E-mail: ljudaschina@yandex.ru.

Roshchina L.M. ORCID ID: 0000-0002-7647-2106

Gladchenko D.A. ORCID ID: 0000-0001-6041-3614

Pivovarova E.A. ORCID ID: 0000-0002-9547-3956

Chelnokov A.A. ORCID ID: 0000-0003-0502-5752