

**Влияние чрескожной электростимуляции спинного мозга
на коррекцию двигательных функций у больных
с нарушениями церебрального кровообращения**

*R. N. Yakupov, Y. M. Balykin, V. V. Mashin, V. O. Gurbanov,
M. A. Yatmanova, S. S. Ananiev, M. V. Balykin*

**INFLUENCE OF ENDERMAL SPINE CORD ELECTROSTIMULATION ON
THE CORRECTION OF LOCOMOTOR FUNCTIONS IN PATIENTS WITH
CEREBRAL CIRCULATION DISORDERS**

Целью исследования явилась оценка влияния неинвазивной электрической стимуляции спинного мозга в проекции поясничного утолщения в реабилитации двигательных функций пациентов, перенесших инсульты головного и спинного мозга. Сеансы чрескожной электростимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) проводились ежедневно, шесть раз в неделю (18 сеансов). Длительность одного сеанса варьировала в диапазоне 5—35 мин на разных этапах курса. Полученные данные свидетельствуют, что курс ЧЭССМ приводит к повышению чувствительности нейронных сетей поясничных спинномозговых сегментов, подтверждением чего служат снижение порогов вызванных моторных ответов (ВМО). Rectus femoris и m. tibialis anterior, увеличение его амплитудных характеристик.

Использование различных по частоте (1,30 Гц) и силе электрических стимулов, вариаций продолжительности (до 30 мин), их воздействия в ходе курса ЧЭССМ показали изменения возбудимости нейронных структур на уровне сегментарного аппарата спинного мозга, снижение спастичности и улучшение двигательных функций.

The aim of the study is to evaluate the influence of non-invasive electric stimulation of the spine cord in the lumbar enlargement projection on the rehabilitation of locomotor functions in patients that undergone the apoplectic attack and spinal stroke. The sessions of endermal electrostimulation of the spinal cord (EESSC) took place daily six times a week (18 sessions). The length of a session varied from 5 to 35 minutes at different stages of the course. The data show that the course of endermal electrostimulation of the spinal cord leads to the enhancement of the sensibility of neural networks of lumbar cerebrospinal segments. It is proved by the reduction of the thresholds of evoked motor responses m. Rectus femoris and m. tibialis anterior, and the increase of its amplitude characteristics.

The use of electric stimuli of various frequency (1,30 Hz) and power, variations of the length (up to 30 min) of their effect in the course of EESSC showed the change in the excitability of neural structures at the level of segmental apparatus of the spinal cord, reduction of statics and improvement of locomotor functions.

Ключевые слова: электрическая стимуляция, спинной мозг, генераторы шагательных движений, вызванные моторные ответы.

Keywords: electric stimulation, spinal cord, step movement generator, evoked motor responses.

Широкая распространенность церебральных и цереброспинальных патологий связана с многочисленными нарушениями двигательных функций, что требует поиска новых методов реабилитации этих больных. Ранее показано, что у больных с хроническим поражением спинного мозга эпидуральная электрическая стимуляция поясничного утолщения способна вызывать шагательный паттерн ЭМГ-активности в мышцах ног [13] и инициировать локомоторно-подобные движения при облегченном положении ног больного [9]. Было показано, что электростимуляция спинного мозга может эффективно использоваться в качестве лечения и социальной реабилитации спинальных больных [4]. Сравнительно недавно был предложен неинвазивный способ воздействия на нейронные структуры поясничного утолщения с использованием чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), что открыло перспективу использования ЧЭССМ для изучения механизмов регуляции локомоций у здоровых испытуемых и лиц с нарушениями двигательных функций [2; 7; 8]. Проведенное нами ранее исследование показало эффективность использования трехнедельного курса чрескожной электростимуляции спинного мозга для воздействия на нейронные сети поясничных отделов спинного мозга здоровых испытуемых [10]. Однако вопрос о возможности использования неинвазивной электростимуляции в реабилитации больных с нарушениями двигательных функций, ее режимы и механизмы воздействия на структуры спинного мозга остается открытым. В рамках проведенного исследования была поставлена цель: оценить возможности неинвазивной (чрескожной) электростимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) в проекции поясничного утолщения в реабилитации больных с двигательными нарушениями, перенесшими инсульт.

Методы исследования

Исследование проводилось на базе ГУ «Центральная клиническая медико-санитарная часть» г. Ульяновска. В исследовании приняли участие 10 пациентов обоего пола с двигательными нарушениями, в неврологическом статусе которых отмечались моно- и парапарезы нижних конечностей, связанные с нарушениями церебрального кровообращения. Возраст пациентов составил от 32 до 70 лет. Из них 40 %—женщины, 60 % составили мужчины. В соответствии с принципами Хельсинской декларации у всех пациентов было получено информированное письменное согласие испытуемых на участие в исследованиях.

Во время электростимуляции испытуемые располагались в положении лежа на кушетке специализированного аппаратно-программного комплекса для чрескожной электростимуляции спинного мозга и механотерапии с биологической обратной связью, разработанного для лечения пациентов с вертебро-спинальной патологией (ООО Косима). Согласно инструкции испытуемые должны были лежать спокойно и не препятствовать (не способствовать) мышечным ответам, вызванными электрической стимуляцией спинного мозга.

Стимулирующий электрод (катод) в виде диска диаметром 2,5 см, изготовленный из токопроводящего пластика (Lead-Lok, Sandpoint, США), фиксировали по средней линии позвоночника на уровне T11 и T12 между остистыми отростками. Индифферентные электроды (анод) — пластины овальной формы — располагались симметрично на коже над гребнем подвздошных костей. В качестве воздействия использовали биполярные электрические стимулы длительностью 0,5 мс, величину тока подбирали индивидуально для каждого испытуемого в зависимости от уровня порога. Частота электростимуляции спинного мозга составляла 1 и 30 Гц.

Сеансы чрескожной электростимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) проводились ежедневно, шесть раз в неделю (18 сеансов). Длительность одного сеанса варьировала в диапазоне 5—35 мин на разных этапах курса.

Для оценки возбудимости нервно-мышечных структур до и после курса ЧЭССМ регистрировали вызванные моторные ответы (ВМО) мышц *m. Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior* с помощью восьмиканального электромиографа «Нейро-МВП-8» (фирма «Нейрософт», Россия). Для регистрации ВМО биполярные накожные электроды с межэлектродным расстоянием 2 см были установлены на мышцах *m. Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior* — на брюшках мышц посередине между началом и местом их прикрепления, с ориентацией вдоль волокон мышцы. ВМО регистрировались во время одиночной стимуляции спинного мозга при пороговой интенсивности тока. Показатели ВМО рассчитывались с помощью специализированной программы. В электронейромиографических (ЭНМГ) исследованиях были изучены пороги ВМО, средняя (Аср.) и максимальная амплитуды (Амакс.) ВМО.

Статистическая обработка данных производилась с применением пакета стандартных компьютерных программ (Statistika).

Результаты исследований и их обсуждение

При чрескожной стимуляции спинного мозга в области T11—T12 позвонков одиночными стимулами, в мышцах ног вызывались моторные ответы, характеристики которых совпадали с результатами, полученными ранее [12;14].

В результате проведенного электронейромиографического тестирования до и после курса электрической стимуляции был обнаружен ряд отличий в величинах параметров, вызванных моторных ответов (ВМО) мышц *Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior*, указывающих на изменения рефлекторной возбудимости мотонейронного пула нижних конечностей. Установлено, что после проведенного курса ЧЭССМ у испытуемых отмечается снижение порогов возбудимости и увеличение амплитудных характеристик ВМО тестируемых мышц.

В таблицах 1 и 2 представлены характеристики исходного уровня биоэлектрической активности мышцы *m. Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior* и их изменение после курса ЧЭССМ.

Таблица 1

Биоэлектрическая активность ВМО m. Rectus femoris до и после курса ЧЭССМ (M ± m)

Показатели	До курса ЧЭССМ	После курса ЧЭССМ
Порог, мА	72,2 ± 0,65	69,5 ± 0,60*
Аср, мВ	2,37 ± 0,13	2,45 ± 0,15
Амакс, мВ	2,90 ± 0,21	3,07 ± 0,16

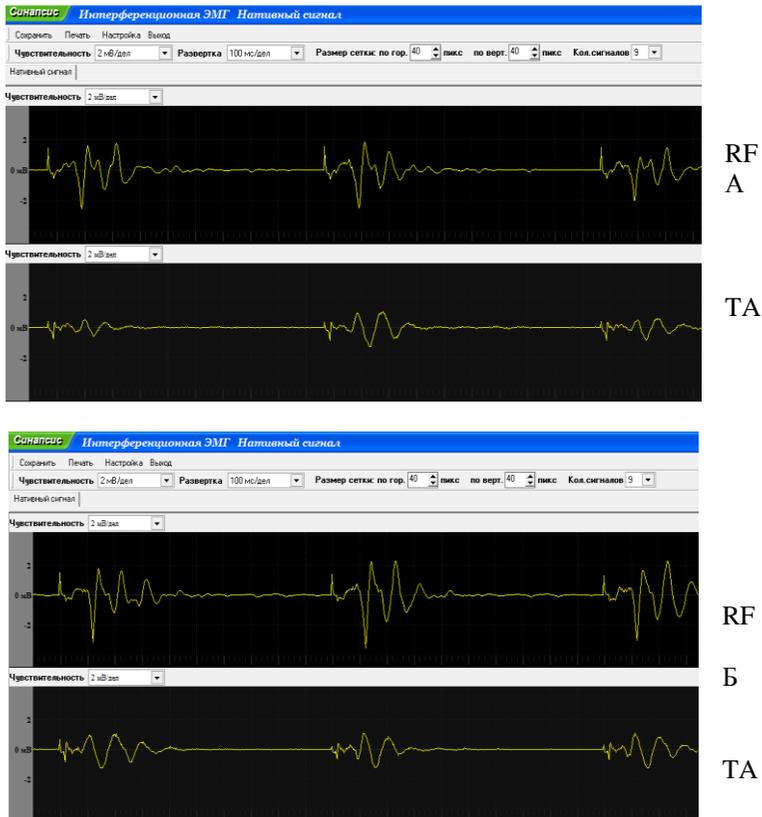
Примечание: * различия достоверны по сравнению с контролем (до курса ЧЭССМ) при $p \leq 0,05$.

Таблица 2

Биоэлектрическая активность ВМО *m. Tibialis anterior*
до и после курса ЧЭССМ ($M \pm m$).

Показатели	До курса ЧЭССМ	После курса ЧЭССМ
Порог, мА	$76,4 \pm 0,69$	$73,9 \pm 0,48^*$
Аср, мВ	$2,01 \pm 0,14$	$2,14 \pm 0,12$
Амакс, мВ	$2,20 \pm 0,19$	$2,35 \pm 0,21$

Примечание: *различия достоверны по сравнению с контролем (до курса ЧЭССМ) при $p \leq 0,05$.



Двигательные ответы *m. Rectus femoris* (RF) и *m. Tibialis anterior* (TA)
на ЧЭССМ частотой 1 Гц при интенсивности 70 мА. Показаны ответы
мышц до (А) и после курса ЧЭССМ (Б)

Результаты исследования показали, что после завершения курса ЧЭССМ имеет место снижение порогов ВМО тестируемых мышц. Так, порог ВМО *m. Rectus femoris* снизился на 3,3 %, *m. Tibialis anterior* на 3,8 %. Имеются сведения, что при эпидуральной [7] и накожной электростимуляции спинного мозга в области поясничного утолщения в накожной проекции T11—T12 инициируются механизмы произвольных шагательных движений, активность разных моторных пулов мышц ног, при активации входящих в спинной мозг афферентов дорсальных корешков, с их моно- и полисинаптическими проекциями к моторным ядрам [2]. Результаты наших исследований показали, что после курса ЧЭССМ имеет место изменение вызванного моторного ответа на пороговые электрические стимулы (рис.).

При этом средняя амплитуда ВМО *m. Rectus femoris* увеличилась на 3,3 %, максимальная на 5,8 % (табл. 1). Сходные данные отмечались и в *m. Tibialis anterior*: средняя амплитуда увеличилась на 6,4 %, максимальная на 6,8 % (табл. 2).

Полученные данные свидетельствуют, что курс ЧЭССМ приводит к повышению чувствительности нейронных сетей поясничных спинномозговых сегментов, подтверждением чего служат снижение порогов ВМО *m. Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior*, увеличение их амплитудных характеристик.

Заключение

Проведенное исследование показывает эффективность использования ЧЭССМ для воздействия на нейронные сети поясничных отделов спинного мозга пациентов с двигательными нарушениями, вызванными нарушениями церебрального кровообращения. Использование различных по частоте (1,30 Гц) и силе электрических стимулов, вариаций продолжительности (до 30 мин) их воздействия в ходе курса ЧЭССМ показали изменения возбудимости нейронных структур на уровне сегментарного аппарата спинного мозга, снижение спастичности и улучшение двигательных функций. При этом у пациентов отмечается улучшение психологического статуса и позитивная оценка курса восстановительного лечения.

Литература

1. Гехт Б. М. Теоретическая и клиническая электромиография. Л.: Наука, 1990. 229 с.
2. Городничев Р. М., Пивоварова Е. А., Пухов А. и др. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 46—56.
3. Команцев В. Н. Заболотных В. А. Методические основы клинической электромиографии: руководство для врачей. СПб., 2001. 349 с.

4. Макаровский А. Н., Гарбуз А. Е., Герасименко Ю. П. и др. // Травматология и ортопедия России. 1995. № 6. С. 16—20.
5. Макаровский А. Н., Олейник В. В., Балькин Ю. М и др. Эпидуральная многоканальная электростимуляция спинного мозга в системе хирургического лечения вертеброгенных спинномозговых расстройств // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 3. С. 61—67.
6. Меерсон Ф. З., Пшенинкова М. Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 252 с.
7. Мошонкина Т. Р., Мусиенко П. Е., Богачева И. Н. и др. Регуляция локомоторной активности при помощи эпидуральной и чрескожной электрической стимуляции спинного мозга у животных и человека // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 3. С. 129—137.
8. Мусиенко П. Е., Богачева И. Н., Савохин А. А. и др. Инициация локомоторной активности у децеребрированных и спинальных кошек при неинвазивной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга // Физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2013. Т. 98. № 8. С. 917—927.
9. Патент РФ № 2204423. Способ лечения больных с хроническим поражением спинного мозга / Шапкова Е. Ю., Мушкин А. Ю., Гуторко В. А. // Бюлл. № 20 от 20.05.2003.
10. Якупов Р. Н., Балькин Ю. М., Нурмангазиев Р. Б. Изменение свойств нейронных структур поясничных спинномозговых сегментов при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: www.science-education.ru/121-18367 (дата обращения: 03.04.2016).
11. Angeli C. A., Edgerton V. R., Gerasimenko Y. P. et al. Altering spinal cord excitability enables voluntary movements after chronic complete paralysis in humans // Brain, a journal of neurology. 2014. Vol. 137. Issue 5. P. 1394—1409.
12. Courtine G., Harkema S. J., Dy C. J. et al. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans // J.Physiol. 2007. V. 582 P. 1125.
13. Dimitrijevic M., Gerasimenko Y., Pinter M. Evidence for a spinal central pattern generator in humans // Ann. NY Acad. Sci. 1998. V. 860. P. 360.
14. Dy C. J., Gerasimenko Y. P., Edgerton V. R. et al. Phasedependent modulation of percutaneously elicited multisegmental muscles responses after spinal cord injury // Journal of Neurophysiology. 2010. V. 103. P. 2808.
15. Gerasimenko Y., Gorodnichev R., Puhov A. et al. Initiation and modulation of locomotor circuitry output with multisite transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord in noninjured humans // Journal of Neurophysiology 1 February 2015. Vol. 113. № 3. P. 834—842.