

Л. В. Рощина, А. А. Челноков, д-р биол. наук, доц.
ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», г. Великие Луки, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СИЛОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ГОЛЕНИ

Введение. Накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что методика электрической стимуляции спинного мозга человека широко применяется для выяснения физиологических механизмов адаптации (пластичности) к спортивной деятельности различной направленности [1], инициации активности генератора шагательных движений [2], а также для целенаправленного изменения скоростно-силовых способностей спортсменов [3]. При исследовании влияния электростимуляции спинного мозга на двигательные способности использовались двухфазные стимулы прямоугольной формы, заполненные несущей частотой 10 кГц. Такие параметры стимуляции не вызывают значительных болевых ощущений. В связи с этим представлялось интересным изучить особенности изменений моторной системы человека при стимуляции спинного мозга однополярными стимулами прямоугольной формы, которые широко применяются в электрофизиологических исследованиях.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 21 здоровых испытуемых мужского пола в возрасте от 19 до 23 лет. Испытуемым в положении лежа на кушетке в течение 20 минут с помощью электронейромиографа «Нейро-МВП-8» (ООО «Нейрософт», Россия, 2006) наносилась чрескожная электрическая

стимуляция спинного мозга прямоугольными монополярными стимулами на уровне грудных T₁₁-T₁₂ позвонков. Активный стимулирующий электрод накладывался по средней линии позвоночника между остистыми отростками приведенных выше позвонков. Билатерально над гребнями подвздошных костей располагались индифферентные электроды. У разных испытуемых сила стимула устанавливалась в диапазоне от 20-30% от индивидуального порога вызванного моторного ответа медиальной икроножной мышцы. В первые 10 минут стимуляции сила стимула составляла 30 мА, а затем – 40 мА. Длительность стимула составляла 0,5 мс, частота следования стимулов – 10 Гц.

Для регистрации мышечной силы испытуемым предлагалось выполнить подошвенное сгибание стопы (изометрический тип сокращения) на мультисуставном лечебно-диагностическом комплексе «Biodex Multi-Joint System Pro-3» (USA, 2006). Мышечное сокращение отслеживалась визуально испытуемым на мониторе персонального компьютера. Расчетная величина максимального момента сил (ММС) определялась для каждого испытуемого из трех максимальных сокращений с интервалом отдыха в 30 секунд. При анализе данных учитывался максимальный показатель из трех проб.

У испытуемых до и после нанесения чрескожной электрической стимуляции поясничного утолщения спинного мозга на 1-ой, 5-ой, 10-ой, 20-ой, 30-ой минутах регистрировались: максимальный момент силы, поверхностная ЭМГ медиальной икроножной и передней большеберцовой мышц при реализации максимального усилия, а также их моторные ответы, вызываемые однократной электростимуляцией спинного мозга (ВМО) названных выше мышц. Регистрация биопотенциалов скелетных мышц голени осуществлялась поверхностными накожными электродами. Анализировались амплитуда и число турнов (поворотов) ЭМГ.

Также нами было изучены изменения амплитуды моторных ответов, вызываемых воздействием пороговых и максимальных электромагнитных стимулов на моторную зону коры головного мозга. ТМС (стимулятор «Magstim Rapid 2») головного мозга наносилась в области представления исследуемых мышц с использованием угловой катушки (диаметр 110 мм). Регистрацию и анализ амплитуды ВМО медиальной икроножной и передней большеберцовой мышц осуществляли при пороговой ($55,37 \pm 2,73\%$) и максимальной ($95,00 \pm 2,50\%$) силе ТМС. Стимулы наносились до и после 20-минутной электрической стимуляции спинного мозга на 1, 10, 20, 30 минутах последствия.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica 10.0.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследований показали, что сразу на 1 минуте после окончания 20-минутной чрескожной электростимуляции спинного мозга наблюдалось достоверное увеличение ММС (таблица 1). В этом случае прирост величины мышечной силы по отношению к фону составлял 13,17 Н·м ($p < 0,05$). Установлено, что амплитуды ЭМГ и ВМО медиальной икроножной и передней большеберцовой мышц проявляли тенденцию к повышению на 1 минуте после окончания электрической стимуляции спинного мозга, однако, статистически значимых различий не наблюдалось ($p > 0,05$, таблица 1).

Как видно из данных таблицы 1, величина ММС через 5, 10, 20, 30 минут после прекращения длительной стимуляции спинного мозга достоверно повышалась на 5 и 10 минутах по отношению к фоновым значениям (таблица 1). Непосредственно величина ММС по отношению к фоновому уровню достоверно повысилась на 15,40 Н·м ($p < 0,05$) и 17,03 Н·м ($p < 0,05$), соответственно. Снижение величины мышечной силы практически до значений без стимуляции спинного мозга отмечалось на 20 и 30 минутах после окончания электростимуляции ($p > 0,05$).

Значения амплитуды ЭМГ и ВМО медиальной икроножной мышцы после воздействия электрической стимуляцией спинного мозга свидетельствуют о достоверном увеличении амплитуды ЭМГ на 5 минуте ($p < 0,05$), а амплитуды ВМО – на 10 минуте ($p < 0,05$). Напротив, амплитуда ЭМГ и ВМО передней большеберцовой мышцы после

воздействия электрической стимуляцией на спинной мозг не претерпевала каких-либо статистически значимых изменений ($p > 0,05$, таблица 1).

Таблица 1 – Показатели функционального состояния моторной системы до и после воздействия длительной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга ($M \pm SE, n=13$)

Условия регистрации		Показатели				
		ММС (Н·м)	ЭМГ МИМ (мкВ)	ВМО МИМ (мВ)	ЭМГ ПБМ (мкВ)	ВМО ПБМ (мВ)
До стимуляции спинного мозга (ФОН)		124,51±6,07	384,72 ±59,92	2,38±0,49	134,25 ±38,32	0,38±0,05
После стимуляции спинного мозга	1-я минута	137,68±7,52*	431,47 ±67,32	2,52±0,39	115,63 ±21,52	0,38±0,07
	5-я минута	139,97±7,45*	448,41 ±70,56*	2,97±0,48	107,49 ±23,59	0,38±0,07
	10-я минута	141,60±5,84*	424,68 ±54,40	3,21±0,55*	100,12 ±24,26	0,42±0,06
	20-я минута	136,48±8,06	423,50 ±67,22	2,96±0,46	131,01 ±39,00	0,32±0,05
	30-я минута	125,42±5,22	412,44 ±46,84	2,23±0,50	141,91 ±30,84	0,37±0,05

Примечание: $P < 0,05^*$ – достоверные различия между величинами до и после воздействия (Kruskal-Wallis test Anova). МИМ – медиальная икроножная мышца, ПБМ – передняя большеберцовая мышца.

Можно предположить, что увеличение показателей силы мышцы голени под влиянием длительной электрической стимуляции спинного мозга определяется преимущественно модификацией моторной команды, следующей из коры головного мозга к мотонейронному пулу икроножной мышцы, активность которой обеспечивает выполнение исследуемого двигательного действия - подошвенного сгибания стопы. Такая модификация также может быть связана со специфичностью супраспинальных возбуждающих и тормозных влияний на интернейроны Ia и Ib спинального уровня при выполнении исследуемого произвольного движения [4].

Для подтверждения выдвинутого нами предположения о влиянии нисходящих влияний от коры головного мозга на силовые способности скелетных мышц, отражающиеся в приросте максимального момента сил и электронейромиографической активности мышц голени после длительной электрической стимуляции поясничного утолщения спинного мозга, были проведены дополнительные исследования по изменению амплитуды моторных ответов, вызываемых воздействием пороговых и максимальных электромагнитных стимулов на моторную зону коры до и после воздействия длительной электрической стимуляции спинного мозга.

Результаты анализа амплитуды моторных ответов мышцы-агониста голени, вызываемых пороговой и максимальной стимуляцией коры головного мозга, показали, что после 20-минутной электрической стимуляции спинного мозга отмечалось достоверное увеличение амплитуды ВМО медиальной икроножной мышцы на 1 и 10 минутах ($p < 0,05$) по отношению к величинам, зарегистрированным до стимуляции (таблица 2). В то же время амплитуда ВМО передней большеберцовой мышцы, вызываемая пороговой и максимальной электромагнитной стимуляцией коры головного мозга не претерпевала статистически значимых изменений и практически оставалась на том же уровне, как и до воздействия электрической стимуляции на спинной мозг. Эти данные указывают на более выраженное усиление нисходящих потоков из коры головного мозга на мотонейронное ядро мышцы-агониста после длительного электростимуляционного воздействия на спинной мозг.

Таблица 2 – Амплитуда ВМО медиальной икроножной и передней большеберцовой мышц, вызываемых ТМС коры головного мозга, до и после длительной электрической стимуляции поясничного утолщения спинного мозга ($M \pm SE, n=8$)

Сила стимула	До стимуляции спинного мозга (ФОН)	После стимуляции спинного мозга (мин.)			
		1	10	20	30
Пороговая МИМ	0,039 $\pm$ 0,01	0,071 $\pm$ 0,02*	0,077 $\pm$ 0,03*	0,054 $\pm$ 0,01	0,042 $\pm$ 0,07
Максимальная МИМ	0,196 $\pm$ 0,05	0,240 $\pm$ 0,07*	0,270 $\pm$ 0,04*	0,229 $\pm$ 0,03	0,189 $\pm$ 0,03
Пороговая ПБМ	0,119 $\pm$ 0,03	0,213 $\pm$ 0,07	0,210 $\pm$ 0,06	0,175 $\pm$ 0,05	0,152 $\pm$ 0,04
Максимальная ПБМ	0,668 $\pm$ 0,23	0,862 $\pm$ 0,23	0,808 $\pm$ 0,27	0,771 $\pm$ 0,19	0,765 $\pm$ 0,22

Примечание: $p < 0,05^*$ (Student T-test) – достоверность различий между соответствующими параметрами и их исходными величинами.

Заключение. Длительная чрескожная электростимуляция спинного мозга позволяет целенаправленно изменять состояние моторной системы и силовые возможности человека.

Литература

1. Ланская, О.В. Пластичность шейных и пояснично-крестцовых спинальных нейронных сетей двигательного контроля при занятиях спортом / О.В. Ланская и др. // Теория и практика физической культуры. – 2015. - № 6. – С. 14-16.
2. Gerasimenko, Y.P. Initiation and modulation of locomotor circuitry output with multisite transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord in noninjured humans / Gerasimenko Y.P. et al // J Neurophysiol. - 2015. - P. 834-842.
3. Михайлова, Е.А. Повышение эффективности маховых движений при беге посредством чрескожной электрической стимуляции спинного мозга / Е.А. Михайлова и др. // Теория и практика физической культуры. – 2015. - № 6. – С. 29-31.
4. Федоров, С.А. Влияние длительной электрической стимуляции спинного мозга на силовые возможности скелетных мышц / С.А. Федоров, Р.М. Городничев, А.А. Челноков, // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2017. - №1. – С. 123-130.